Universidade de São Paulo
Faculdade de Saúde Pública

**A evolução da qualidade das águas do rio Paraíba do
Sul**

Denise Mecunhe Rosa

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
2012

A evolução da qualidade das águas no rio Paraíba do Sul

Denise Mecunhe Rosa

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Saúde Pública da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Saúde Pública.

Área de concentração: Saúde Ambiental

Orientador: Prof. Dr. Wanderley da Silva Paganini

São Paulo
2012

É expressamente proibida a comercialização deste documento, tanto na sua forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano da dissertação.

Dedico a Deus, por me dar de presente uma segunda chance...

...e aos meus pais, Fernando e Fátima, pelo
infinito amor, dedicação e paciência.

AGRADECIMENTOS ESPECIAIS

À minha irmã Juliana, por todo o amor, atenção e dedicação e, principalmente, pelo nossa eterna amizade.

Ao meu marido, Luís Fernando, pelo amor e paciência, por me incentivar a prosseguir e realizar meus objetivos.

Às minhas queridas amigas Luciana Nalim e Danielle Polowsky, por tudo que passamos e aprendemos juntas, e por estarem sempre ao meu lado, me ajudando.

Ao Prof. Dr. Wanderley da Silva Paganini, meu orientador, por toda atenção, paciência, motivação e dedicação, por me ensinar lições valiosas sobre a vida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço inicialmente a Márcia Regina Mastrocola, Juan Pastrana Fraga e Romualdo Hirata, da Pöyry Tecnologia, por terem permitido e incentivado a realização deste curso.

Agradeço a todas as pessoas que conheci ao longo deste trabalho, e especialmente Ana Paula, Camila, Carlos Roberto, Cláudia, Cristiano, Marilda, Miriam, Patrícia, Paulo, Sulamita, Odimara e Ana, participantes do Grupo de Orientação Coletiva conduzido pelo Prof. Wanderley Paganini, um espaço onde além da troca de experiências, formamos um grupo de amigos. Agradeço também a Marilda de Souza Soares, da CETESB, pela ajuda no levantamento das informações.

Agradeço especialmente a Oto Elias Pinto, superintendente da SABESP no Vale do Paraíba, pela atenção e pelas informações prestadas.

Finalmente, agradeço ao Roberto Messias Moraes, gerente de divisão RVOC da SABESP no Vale do Paraíba, pela valiosa ajuda no levantamento dos dados.

RESUMO

Rosa DM. A evolução da qualidade das águas no rio Paraíba do Sul. São Paulo (BR); 2012. [Dissertação de Mestrado – Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo Brasil].

A presença de uma série de usos que envolvem o consumo intensivo da água é consequência direta do intenso processo de industrialização e urbanização, bem como do crescimento populacional. As estações de tratamento de esgoto funcionam como uma barreira ambiental aumentando os múltiplos usos das águas de um manancial. Esta melhoria na qualidade reduz as doenças de veiculação hídrica que é abastecida por estas águas. Visando contribuir com a melhor visualização do assunto, propõe-se analisar a evolução da qualidade das águas durante 29 anos no rio Paraíba do Sul, considerando o impacto do crescimento populacional e os efeitos advindos da implantação das ETEs na extensão paulista do rio. Os parâmetros selecionados foram oxigênio dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio, demanda química de oxigênio, fósforo e série de nitrogênio, além do índice de qualidade das águas, índice de qualidade das águas para fins de abastecimento público, índice de qualidade das águas para proteção da vida aquática e das comunidades aquáticas e índice de estado trófico, obtidos no Relatório de Qualidade das Águas Interiores do Estado de São Paulo, publicado anualmente pela CETESB. Os resultados obtidos indicam que a redução do aporte de esgoto doméstico sem tratamento nas águas, quando priorizado os trechos onde o impacto atinge maior amplitude associado à morfologia do rio, a recuperação da qualidade das águas, em termos de DBO, DQO e OD, alcança maior extensão. Em termos de nitrogênio e fósforo, é necessário adotar medidas de redução na fonte.

Palavras-chave: crescimento populacional, qualidade das águas, estação de tratamento de esgoto.

ABSTRACT

Rosa DM. The evolution of water quality in the Paraíba do Sul River. São Paulo (BR); 2012. [Dissertation – Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo Brasil].

There are a number of uses that involve the water consumption that are direct consequences of the industrialization and urbanization intensive process, as well as population growth. The sewage treatment plants serve as environmental barriers increasing the multiple uses of water. This improvement in water quality reduces the risk of spreading diseases to the public that are served by these waters. To contribute with a better view of the subject, it is proposed to analyze the evolution of water quality within 30 years in the flow of the Paraíba do Sul River, considering the impact of population growth and the effects arising from the implementation of sewage treatment plants in the extension of the river. The selected parameters to be analyzed were dissolved oxygen, biochemical oxygen demand, chemical oxygen demand, phosphorus and nitrogen series, besides the water quality index (IQA), the water quality for public supply index (IAP), the water quality for protection of aquatic life and communities index (IVA) and trophic state index (IET), obtained in the Inland Waters Quality of São Paulo State Report, published annually by CETESB. The results indicate that reducing the inflow of untreated sewage waters, when prioritizing the stretches where the impact reaches higher amplitude associated with the morphology of the river, the recovery of water quality in terms of BOD, COD and OD, reaches greater extension. In terms of nutrients, such as nitrogen and phosphorus, it is necessary to adopt measures to reduce them at source.

Keywords: population growth, water quality, sewage treatment plant.

ÍNDICE

1 INTRODUÇÃO	1
2 OBJETIVOS	5
2.1 OBJETIVO GERAL	5
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	5
3 REVISÃO DA LITERATURA	6
3.1. SAÚDE E SANEAMENTO	6
3.1.1 Definições	6
3.1.2 Evolução Histórica da Relação Saneamento e Saúde	8
3.1.3 Relação Saúde-Saneamento: Marcos Legais no Brasil	9
3.1.4 Efeitos da Degradação dos Recursos Hídricos sobre a Saúde Humana	13
3.1.5 Números no Brasil Relacionados a Saneamento e Doenças de Veiculação Hídrica.	17
3.2 TRATAMENTO DE ESGOTO	24
3.2.1 Definição	24
3.2.2 Importância da Caracterização do Esgoto Bruto	26
3.2.3 Sistemas de Tratamento de Esgoto	29
3.2.4 Tratamento Terciário	43
3.3. GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS	44
3.3.1 Plano de Recursos Hídricos	44
3.3.2 Enquadramento dos Corpos d'Água	45
3.3.3 Outorga de Uso	47
3.3.4 Cobrança pelo Uso das Águas	49
3.3.5 Sistema de Informações de Recursos Hídricos	53
3.3.6 A Gestão de Recursos Hídricos no Estado de São Paulo	54
3.4 MONITORAMENTO DAS ÁGUAS	55
3.4.1 A Rede de Monitoramento da CETESB no Estado de São Paulo	57
3.5 VARIÁVEIS DE QUALIDADE DAS ÁGUAS	59
3.5.1 Variáveis Físicas	60
3.5.2 Variáveis Químicas	65
3.5.3 Variáveis Microbiológicas	79

3.5.4 Variáveis Hidrobiológicas	81
3.6 INDICADORES DE QUALIDADE.....	82
3.6.1 Índice de Qualidade das Águas - IQA.....	83
3.6.2 Índice de Qualidade de Água para Fins de Abastecimento Público - IQA	84
3.6.3 Índice do Estado Trófico - IET	86
3.6.4 Índices de Qualidade das Águas para Proteção da Vida Aquática e de Comunidades Aquáticas	88
4 DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	90
4.1 DEFINIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	90
4.2 CARACTERIZAÇÃO DA BACIA DO RIO PARAÍBA DO SUL	90
4.2.1 Usos e Demandas de Água na Bacia do Rio Paraíba do Sul.....	95
4.2.2 Tratamento de Esgoto.....	99
4.3 UGRHI 2 PARAÍBA DO SUL.....	100
4.3.1 Características Gerais.....	100
4.3.2 Climatologia	103
4.3.3 Recursos Hídricos	106
4.3.4 Subterrânea	108
4.3.5 Panorama do Tratamento de Esgoto na UGRHI 2.....	113
5 MATERIAIS E MÉTODOS.....	115
5.1 VARIÁVEIS ESTUDADAS	115
5.1.1 Atividade Urbana.....	116
5.1.2 Atividade Agrícola	116
5.1.3 Contribuição de Esgoto Sanitário Bruto.....	117
5.1.4 Parâmetros Avaliados na Coluna d'Água	117
5.1.5 Identificação e Localização dos Pontos de Amostragem da CETESB..	118
5.1.6 Identificação e Localização das Estações de Tratamento de Esgoto....	122
5.1.7 Lógica do Estudo no Rio Paraíba do Sul	125
6 RESULTADOS E DISCUSSÕES	129
6.1 EVOLUÇÃO DAS VARIÁVEIS.....	129
6.1.1 Concentração Populacional Total e Urbana	129
6.1.2 Número de Indústrias na UGRHI 02.....	141
6.1.3 Atividade Agrícola	145
6.1.4 Avaliação das Contribuições do Esgoto Sanitário Bruto	149

6.1.5 Qualidade das Águas do Rio Paraíba do Sul na UGRHI 02	156
6.2 RELAÇÃO ENTRE AS VARIÁVEIS	180
6.2.1 Período P1 (1986 a 1990)	182
6.2.2 Período P2 (1991 a 1995)	195
6.2.3 Período P3 (1996 a 2000)	207
6.2.4 Período P4 (2001 a 2006)	220
6.2.5 Período P5 (2006 a 2010)	235
7 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	251
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	256
9 CURRÍCULO LATTES	266

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Índices de atendimento de água e esgotos Brasil, classificado por região geográfica, no ano de 2009.....	18
Tabela 2 - Evolução do número de moradias com acesso a rede de esgoto no Brasil, por estado, em mil moradias, entre os anos de 1960 e 2008.....	21
Tabela 3 - Número de internações por doenças gastrintestinais infecciosas, população, incidência e déficit de esgoto, por região do Brasil, no ano de 2009.....	22
Tabela 4 - Mortalidade proporcional por doença diarreica aguda em menores de 5 anos de idade, nas regiões brasileiras, nos anos de 1990, 1995, 2000, 2004 e 2009.....	23
Tabela 5 - Caracterização do esgoto sanitário bruto.	27
Tabela 6 - Concentração média de DBO, em mg/L, em alguns tipos de efluentes industriais.	28
Tabela 7 - Valores de cobrança pelo uso das águas na bacia do rio Paraíba do Sul, no ano de 2010.....	52
Tabela 8 - Valores arrecadados com a cobrança pelo uso das águas do rio Paraíba do Sul, em reais, nos anos de 2003, 2006, 2009 e 2011.....	52
Tabela 9 - População total, em habitantes, dos municípios inseridos na bacia do rio Paraíba do Sul, nos estados de São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais, no o ano de 2010.	95
Tabela 10 - Demanda de água para uso doméstico, em m ³ /s, dos municípios inseridos na bacia do rio Paraíba do Sul, agrupado por estado, no ano de 2008.....	96
Tabela 11 - Área irrigada, em ha, dos municípios inseridos na bacia do rio Paraíba do Sul, agrupado por estados, nos anos de 1995 e 1996.....	98
Tabela 12 - Demanda de água para fins industrial, em m ³ /s, nos municípios que fazem parte da bacia do rio Paraíba do Sul, agrupado por estado, no ano de 2010.	98
Tabela 13 - Principais características dos reservatórios da UGRHI 2.....	107
Tabela 14 - Vazões de referência do rio Paraíba do Sul, em m ³ /s, dentro dos limites territoriais da UGRHI 2.	110
Tabela 15 - Disponibilidade hídrica do rio Paraíba do Sul dentro do limite territorial da UGRHI 2 e do estado de São Paulo, no ano de 2009.....	111
Tabela 16 - Demanda de água, disponibilidade hídrica e balanço (demanda X disponibilidade) em 2009, na UGRHI 2.....	112
Tabela 17 - Dados sobre concessão, coleta e tratamento de esgoto e carga poluidora (total e remanescente) nos municípios da UGRHI 2, no ano de 2010.	114

Tabela 18 - Total de pontos das redes da CETESB na UGRHI 2, no ano de 2010.	119
Tabela 19 - Localização dos pontos da CETESB na UGRHI 2 considerados nesta pesquisa.	120
Tabela 20 - População total e urbana nos municípios da UGRHI 2, no período de 1981 a 1985.	130
Tabela 21 - População total e urbana nos municípios da UGRHI 2, no período de 1986 a 1990.	131
Tabela 22 - População total e urbana nos municípios da UGRHI 2, no período de 1991 a 1995.	132
Tabela 23 - População total e urbana nos municípios da UGRHI 2, no período de 1996 a 2000.	133
Tabela 24 - População total e urbana nos municípios da UGRHI 2, no período de 2001 a 2005.	134
Tabela 25 - População total e urbana nos municípios da UGRHI 2, no período de 2006 a 2010.	135
Tabela 26 - Evolução da taxa de crescimento populacional, em %, nos municípios da UGRHI 2, nos períodos de 1980 a 1991; 1991 a 2000 e 2000 a 2010.	137
Tabela 27 - Evolução do número de estabelecimentos industriais, nos municípios da UGRHI 2, entre os anos de 1991 e 2010.	143
Tabela 28 - Produção (em toneladas) e área colhida (em hectares) por gênero agrícola, na UGRHI 2 no ano de 2010.	147
Tabela 29 - População urbana (em habitantes) e quantidade potencial de DBO no esgoto sanitário bruto (em t/d), na UGRHI 2 nos anos de 1981, 1985, 1990, 1995, 2000, 2005 e 2010.	150
Tabela 30 - População urbana (em habitantes) e quantidade potencial de DQO no esgoto sanitário (em t/d), na UGRHI 2 nos anos de 1981, 1985, 1990, 1995, 2000, 2005 e 2010.	152
Tabela 31 - População urbana (em habitantes) e quantidade potencial de fósforo no esgoto sanitário bruto (em t/d), na UGRHI 2 nos anos de 1981, 1985, 1990, 1995, 2000, 2005 e 2010.	153
Tabela 32 - População urbana (em habitantes) e quantidade potencial de nitrogênio orgânico no esgoto sanitário bruto (em t/d), na UGRHI 2 nos anos de 1981, 1985, 1990, 1995, 2000, 2005 e 2010.	154
Tabela 33 - População urbana (em habitantes) e quantidade potencial de nitrogênio amoniacal no esgoto sanitário bruto (em t/d), na UGRHI 2 nos anos de 1981, 1985, 1990, 1995, 2000, 2005 e 2010.	155
Tabela 34 - Concentração média anual de DBO, em mg/L, no rio Paraíba do Sul, no período entre 1981 e 1990.	157
Tabela 35 - Concentração média anual de DBO, em mg/L, no rio Paraíba do Sul, no período entre 1991 e 2000.	158
Tabela 36 - Concentração média anual de DBO, em mg/L, no rio Paraíba do Sul, no período entre 2001 e 2010.	158

Tabela 37 - Concentração média quinquenal de DBO, em mg/L, nas águas do rio Paraíba do Sul para o período de 1981 a 2010.	159
Tabela 38 - Concentração média anual de DQO, em mg/L, no rio Paraíba do Sul, no período entre 1981 e 1990.	160
Tabela 39 - Concentração média anual de DQO, em mg/L, no rio Paraíba do Sul, no período entre 1991 e 2000.	160
Tabela 40 - Concentração média anual de DQO, em mg/L, no rio Paraíba do Sul, no período entre 2001 e 2010.	160
Tabela 41 - Concentração média quinquenal de DQO, em mg/L, nas águas do rio Paraíba do Sul para o período de 1981 a 2010.	161
Tabela 42 - Concentração média anual de OD, em mg/L, no rio Paraíba do Sul, no período entre 1981 e 1990.	162
Tabela 43 - Concentração média anual de OD, em mg/L, no rio Paraíba do Sul, no período entre 1991 e 2000.	162
Tabela 44 - Concentração média anual de OD, em mg/L, no rio Paraíba do Sul, no período entre 2001 e 2010.	163
Tabela 45 - Concentração média quinquenal de OD, em mg/L, nas águas do rio Paraíba do Sul para o período de 1981 a 2010.	163
Tabela 46 - Concentração média anual de fósforo, em mg/L, no rio Paraíba do Sul, no período entre 1981 e 1990.	164
Tabela 47 - Concentração média anual de fósforo, em mg/L, no rio Paraíba do Sul, no período entre 1991 e 2000.	165
Tabela 48 - Concentração média anual de fósforo, em mg/L, no rio Paraíba do Sul, no período entre 2001 e 2010.	165
Tabela 49 - Concentração média quinquenal de fósforo, em mg/L, nas águas do rio Paraíba do Sul para o período de 1981 a 2010.	166
Tabela 50 - Concentração média anual de nitrogênio total, em mg/L, no rio Paraíba do Sul, no período entre 1981 e 1990.	167
Tabela 51 - Concentração média anual de nitrogênio total, em mg/L, no rio Paraíba do Sul, no período entre 1991 e 2000.	167
Tabela 52 - Concentração média anual de nitrogênio total, em mg/L, no rio Paraíba do Sul, no período entre 2001 e 2010.	167
Tabela 53 - Concentração média quinquenal de nitrogênio total, em mg/L, nas águas do rio Paraíba do Sul para o período de 1981 a 2010.	168
Tabela 54 - Concentração média anual de nitrito, em mg/L, no rio Paraíba do Sul, no período entre 1981 e 1990.	169
Tabela 55 - Concentração média anual de nitrito, em mg/L, no rio Paraíba do Sul, no período entre 1991 e 2000.	169
Tabela 56 - Concentração média anual de nitrito, em mg/L, no rio Paraíba do Sul, no período entre 2000 e 2010.	169
Tabela 57 - Concentração média quinquenal de nitrito, em mg/L, nas águas do rio Paraíba do Sul para o período de 1981 a 2010.	170
Tabela 58 - Concentração média anual de nitrato, em mg/L, no rio Paraíba do Sul, no período entre 1981 e 1990.	171

Tabela 59 - Concentração média anual de nitrato, em mg/L, no rio Paraíba do Sul, no período entre 1991 e 2000.....	171
Tabela 60 - Concentração média anual de nitrato, em mg/L, no rio Paraíba do Sul, no período entre 2001 e 2010.	172
Tabela 61 - Concentração média quinquenal de nitrato, em mg/L, nas águas do rio Paraíba do Sul para o período de 1981 a 2010.....	172
Tabela 62 - Concentração média anual de nitrogênio amoniacal, em mg/L, no rio Paraíba do Sul, no período entre 1981 e 1990.....	173
Tabela 63 - Concentração média anual de nitrogênio amoniacal, em mg/L, no rio Paraíba do Sul, no período entre 1991 e 2000.	173
Tabela 64 - Concentração média anual de nitrogênio amoniacal, em mg/L, no rio Paraíba do Sul, no período entre 2001 e 2010.	174
Tabela 65 - Concentração média quinquenal de nitrogênio amoniacal, em mg/L, nas águas do rio Paraíba do Sul para o período de 1981 a 2010.	175
Tabela 66 - IQA no rio Paraíba do Sul, no período entre 1981 e 1990.	175
Tabela 67 - IQA no rio Paraíba do Sul, no período entre 1991 e 2000.	176
Tabela 68 - IQA no rio Paraíba do Sul, no período entre 2001 e 2010.	176
Tabela 69 - Média quinquenal do IQA nas águas do rio Paraíba do Sul para o período de 1981 a 2010.....	177
Tabela 70 - IAP no rio Paraíba do Sul, no período entre 2002 e 2010.....	178
Tabela 71 - IVA no rio Paraíba do Sul, no período entre 2002 e 2010.....	179
Tabela 72 - IET no rio Paraíba do Sul, no período entre 2002 e 2010.....	180
Tabela 73 - Distância dos municípios localizados na calha do rio Paraíba do Sul em relação a nascente, em km.	182
Tabela 74 - Estações de tratamento de esgoto sanitário implantadas na UGRHI 2, no período P1.	184
Tabela 75 - Estações de tratamento de esgoto sanitário implantadas na UGRHI 2, no período P2 (1990 a 1995).	196
Tabela 76 - Estações de tratamento de esgoto sanitário implantadas na UGRHI 2, no período P3 (1996 a 2000).....	208
Tabela 77 - Estações de tratamento de esgoto sanitário implantadas na UGRHI 2, no período P4 (2001 a 2006).	221
Tabela 78 - Estações de tratamento de esgoto sanitário implantadas na UGRHI 2, no período P5 (2006 A 2010).	237

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Investimentos em saneamento básico no Brasil, em R\$ milhões, entre os anos de 2003 e 2008.....	20
Figura 2 - Diagrama do processo de lodos ativados convencional.....	33
Figura 3 - Diagrama do processo de lodos ativados com aeração prolongada.....	34
Figura 4 - Diagrama do processo de lodos ativados com aeração prolongada em batelada.....	36
Figura 5 - Exemplos de biomedica utilizada nos MBR.....	37
Figura 6 - Diagrama do processo australiano.....	38
Figura 7 - Diagrama do processo de lagoa aerada seguida de lagoa de decantação.....	40
Figura 8 - Diagrama do processo de filtros biológicos.....	41
Figura 9 - Evolução da captação de água do rio Paraíba do Sul após a implantação da cobrança pelo uso das águas.....	53
Figura 10 - Unidades de gerenciamento de recursos hídricos no estado de São Paulo.....	54
Figura 11 - Classificação das UGRHI do estado de São Paulo, de acordo com a sua vocação.....	55
Figura 12 - Vista aérea do rio Paraíba do Sul, no trecho fluminense.....	91
Figura 13 - Mapa político –administrativo da bacia do rio Paraíba do Sul.....	92
Figura 14 - Meandros do rio Paraíba do Sul, no estado de São Paulo.....	93
Figura 15 - Ocupação urbana da cidade de São José dos Campos próximo a calha do rio Paraíba do Sul.....	94
Figura 16 - Rizicultura nas margens do rio Paraíba do Sul.....	97
Figura 17 - Mapa da localização da UGRHI 2 – Paraíba do Sul.....	100
Figura 18 - Municípios da UGRHI 2 classificados rurais, urbanos e em transição, conforme definições do IPEA, no ano de 2009.....	101
Figura 19 - Precipitação média mensal, em mm/mês, na UGRHI 2, no período de 1961 a 2009.....	105
Figura 20 - Precipitação anual média, em mm/ano, nos municípios da UGRHI 2, para o período de 1990 até 2009.....	105
Figura 21- Principais afluentes do rio Paraíba do Sul na UGRHI 2.....	106
Figura 22 - Localização dos reservatórios da UGRHI 2.....	108
Figura 23 - Gráfico das vazões $Q_{95\%}$ e $Q_{7,10}$, do rio Paraíba do Sul no trecho paulista.....	110
Figura 24 - Vazão outorgada, em m^3/s , para uso doméstico, industrial e agrícola, no ano de 2009.....	111
Figura 25 - Representação esquemática dos pontos de monitoramento da CETESB localizados no caudal do rio Paraíba do Sul e seus afluentes.....	121
Figura 26 - Diagrama unifilar dos pontos de lançamento de esgoto dos municípios da UGRHI 2.....	124

Figura 27 - Diagrama unifilar da UGRHI 2 indicando a localização dos pontos de lançamento de esgoto sanitário e dos pontos de amostragem da CETESB.	127
Figura 28 - Taxa de crescimento total e urbano, em %, na UGRHI 2, no período de 1981 a 2010.	136
Figura 29 - População urbana nos compartimentos da UGRHI 2, nos anos 1985, 1990, 2000, 2005 e 2010.	139
Figura 30 - Classificação dos municípios da UGRHI 2 em relação a seu porte, nos anos de 1981, 1991, 2001 e 2010.	140
Figura 31 - Número de indústrias por compartimento da UGRHI 2, nos anos de 1990, 1995, 2000, 2005 e 2010.	144
Figura 32 - Evolução do uso agrícola do solo na UGRHI 02, em hectares, no período de 1995/1996 a 2007/2008.	146
Figura 33 - Distribuição das atividades agrícolas, por município na UGRHI 2, em % de área ocupada no ano de 2010.	148
Figura 34 - Uso do solo na UGRHI 2, no ano de 2010, em porcentagem.	149
Figura 35 - Carga potencial de DBO no esgoto sanitário bruto, em ton/d, em cada compartimento do rio Paraíba do Sul, nos anos de 1981, 1985, 1990, 1995, 2000, 2005 e 2010.	151
Figura 36 - Carga potencial de DQO no esgoto sanitário bruto, em ton/d, em cada compartimento do rio Paraíba do Sul, nos anos de 1981, 1985, 1990, 1995, 2000, 2005 e 2010.	152
Figura 37 - Carga de fósforo potencial no esgoto sanitário bruto, em ton/d, em cada compartimento do rio Paraíba do Sul, nos anos de 1981, 1985, 1990, 1995, 2000, 2005 e 2010.	153
Figura 38 - Carga de nitrogênio orgânico no esgoto sanitário bruto, em ton/d, em cada compartimento do rio Paraíba do Sul, nos anos de 1981, 1985, 1990, 1995, 2000, 2005 e 2010.	155
Figura 39 - Carga de nitrogênio amoniacal no esgoto sanitário bruto, em ton/d, em cada compartimento do rio Paraíba do Sul, nos anos de 1981, 1985, 1990, 1995, 2000, 2005 e 2010.	156
Figura 40 - Distribuição da população urbana nos municípios localizados na calha do rio Paraíba do Sul, para os anos de 1985 e 1990.	183
Figura 41 - Localização do corpo receptor de esgoto tratado das ETEs implantadas na UGRHI 2, no período P1 (1986 a 1990).	185
Figura 42 - Evolução da carga de DBO produzida, removida e remanescente, em kg/d, na UGRHI 2 nos anos de 1985 e 1990.	186
Figura 43 - Concentração de DBO, em mg/L, no rio Paraíba do Sul, no período P1 (1986 a 1990).	187
Figura 44 - Concentração de DQO, em mg/L, no rio Paraíba do Sul, no período P1 (1985 a 1990).	188
Figura 45 - Concentração de OD, em mg/L, no rio Paraíba do Sul, no período P1 (1985 a 1990).	189
Figura 46 - Concentração de fósforo, em mg/L, no rio Paraíba do Sul, no período P1 (1985 A 1990).	190

Figura 47 - Concentração de amônia, em mg/L, no rio Paraíba do Sul, no período P1 (1986 a 1990).....	191
Figura 48 - Concentração de nitrogênio total, em mg/L, no rio Paraíba do Sul, no período P1 (1986 A 1990).	192
Figura 49 - Concentração de nitrito, em mg/L, no rio Paraíba do Sul, no período P1 (1985 A 1990).	193
Figura 50 - Concentração de nitrato, em mg/L, no rio Paraíba do Sul, no período P1 (1985 A 1990).....	193
Figura 51 - IQA no rio Paraíba do Sul, no período P1 (1985 A 1990).	194
Figura 52 - Distribuição da população urbana nos municípios localizados na calha do rio Paraíba do Sul, para os anos de 1986, 1990 e 1995.	195
Figura 53 - Localização do corpo receptor de esgoto tratado das ETEs implantadas na UGRHI 2, no período P2 (1991 a 1995).....	197
Figura 54 - Carga de DBO produzida, removida e remanescente, em kg/d, na UGRHI 2 nos períodos 1985, 1990 (P1) e 1995 (P2).	198
Figura 55 - Concentração de DBO, em mg/L, no rio Paraíba do Sul, no período P2 (1990 a 1995).	199
Figura 56 - Concentração de DQO, em mg/L, no rio Paraíba do Sul, no período P2 (1990 a 1995).	200
Figura 57 - Concentração de OD, em mg/L, no rio Paraíba do Sul, no período P2 (1990 a 1995).....	201
Figura 58 - Concentração de fósforo, em mg/L, no rio Paraíba do Sul, no período P2 (1990 a 1995).....	202
Figura 59 - Concentração de amônia, em mg/L, no rio Paraíba do Sul, no período P2 (1990 a 1995).....	203
Figura 60 - Concentração de nitrogênio total, em mg/L, no rio Paraíba do Sul, no período P2 (1990 a 1995).....	204
Figura 61 - Concentração de nitrito, em mg/L, no rio Paraíba do Sul, no período P2 (1990 a 1995).	205
Figura 62 - Concentração de nitrato, em mg/L, no rio Paraíba do Sul, no período P2 (1990 a 1995).	205
Figura 63 - IQA nas águas do Paraíba do Sul, no período P2 (1991 a 2000).	206
Figura 64 - Distribuição da população urbana nos municípios localizados na calha do rio Paraíba do Sul, para os anos de 1985, 1990,1995 e 2000.	207
Figura 65 - Localização do corpo receptor de esgoto tratado das ETEs implantadas na UGRHI 2, no período P3 (1996 a 2000).	210
Figura 66 - Carga de DBO produzida, removida e remanescente, em kg/d, na UGRHI 2, nos anos 1985, 1990 (P1), 1995 (P2) e 2000 (P3).....	211
Figura 67 - Concentração de DBO, em mg/L, no rio Paraíba do Sul, no período P3.	212
Figura 68 - Concentração de DQO, em mg/L, no rio Paraíba do Sul, no período P3.	212
Figura 69 - Concentração de OD, em mg/L, no rio Paraíba do Sul, no período P3 (1996 a 2000).....	214

Figura 70 - Concentração de fósforo, em mg/L, no rio Paraíba do Sul, no período P3 (1996 a 2000).....	215
Figura 71 - Concentração da amônia, em mg/L, no rio Paraíba do Sul, no período P3 (1996 a 2000).....	216
Figura 72 - Concentração de nitrogênio total, em mg/L, no rio Paraíba do Sul, no período P3 (1996 a 2000).....	217
Figura 73 - Concentração de nitrito, em mg/L, no rio Paraíba do Sul, no período P3 (1996 a 2000).	218
Figura 74 - Concentração de nitrato, em mg/L, no rio Paraíba do Sul, no período P3 (1996 a 2000).	218
Figura 75 - IQA nas águas do rio Paraíba do Sul, no período P3 (1995 a 2000). .	219
Figura 76 - Distribuição da população urbana nos municípios localizados na calha do rio Paraíba do Sul, para os anos de 1985, 1990 (P1), 1995 (P2), 2000 (P3) e 2005 (P4).	220
Figura 77 - Localização do corpo receptor de esgoto tratado das ETES implantadas na UGRHI 2, no período P4 (2001 a 2006).	223
Figura 78 - Carga de DBO produzida, removida e remanescente, em kg/d, na UGRHI 2 nos anos 1985, 1990 (P1), 1995 (P2), 2000 (P3) e 2005 (P4).	224
Figura 79 - Concentração de DBO, em mg/L, no rio Paraíba do Sul, no período P4 (2000 a 2005).	225
Figura 80 - Concentração de DQO, em mg/L, no rio Paraíba do Sul, no período P4 (2000 a 2005).	225
Figura 81 - Concentração de OD, em mg/L, no rio Paraíba do Sul, no período P4 (2000 A 2005).	227
Figura 82 - Concentração do fósforo, em mg/L, no rio Paraíba do Sul, no período P4 (2000 a 2005).	228
Figura 83 - Concentração de amônia, em mg/L, no rio Paraíba do Sul, no período P4 (2000 a 2005).	229
Figura 84 - Concentração de nitrogênio total, em mg/L, no rio Paraíba do Sul, no período P4 (2000 a 2005).	230
Figura 85 - Concentração de nitrito, em mg/L, no rio Paraíba do Sul, no período P4 (2000 a 2005).....	231
Figura 86 - Concentração de nitrato, em mg/L, no rio Paraíba do Sul, no período P4 (2000 a 2005).....	231
Figura 87 - IQA nas águas do rio Paraíba do Sul no período P4 (2001 a 2005). ..	232
Figura 88 - IAP nas águas do rio Paraíba do Sul no período P4 (2001 a 2005)....	233
Figura 89 - IVA nas águas do rio Paraíba do Sul no período P4 (2001 a 2005)....	234
Figura 90 - IET nas águas do rio Paraíba do Sul no período P4 (2001 a 2005)....	235
Figura 91 - Distribuição da população urbana nos municípios localizados na calha do rio Paraíba do Sul, para os anos de 1985, 1990 (P1), 1995 (P2), 2000 (P3), 2005 (P4) e 2010 (P5).	236
Figura 92 - Localização dos pontos de lançamento de esgoto tratado das estações de tratamento de esgoto implantadas no período P5 (2006 a 2010). .	238

Figura 93 - Carga de DBO produzida, removida e remanescente, em kg/d, na UGRHI 2 nos anos 1985, 1990 (P1), 1995 (P2), 2000 (P3), 2005 (P4) e 2010 (P5).....	239
Figura 94 - Concentração do DBO, em mg/L, no rio Paraíba do Sul, no período P5 (2006 a 2010).....	240
Figura 95 - Concentração do OD, em mg/L, no rio Paraíba do Sul, no período P5 (2006 a 2010).....	241
Figura 96 - Concentração do fósforo, em mg/L, no rio Paraíba do Sul, no período P5 (2006 a 2010).....	243
Figura 97 - Concentração do amônia, em mg/L, no rio Paraíba do Sul, no período P5 (2006 a 2010).	244
Figura 98 - Concentração do nitrogênio total, em mg/L, no rio Paraíba do Sul, no período P5 (2006 a 2010).	245
Figura 99 - Concentração do nitrito, em mg/L, no rio Paraíba do Sul, no período P5 (2006 a 2010).....	246
Figura 100 - Concentração do nitrato, em mg/L, no rio Paraíba do Sul, no período P5 (2006 a 2010).	246
Figura 101 - IQA nas águas do rio Paraíba do Sul no período P5 (2006 a 2010).	247
Figura 102 - IAP nas águas do rio Paraíba do Sul no período P5 (2006 a 2010)..	248
Figura 103 - IVA nas águas do rio Paraíba do Sul no período P5 (2006 a 2010)..	249
Figura 104 - IET nas águas do rio Paraíba do Sul no período P5 (2006 a 2010)..	250

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Relação entre o método de transmissão e doença.....	16
Quadro 2 - Classificação das águas doces, conforme a resolução CONAMA n° 357/2005.....	47
Quadro 3 - Informações sobre a rede de monitoramento da CETESB, no estado de São Paulo.	58
Quadro 4 - Parâmetros monitorados da qualidade das águas na rede da CETESB.	59
Quadro 5 - Classificação dos sólidos presentes na coluna d'água.	64
Quadro 6 - Concentração de nitrogênio amoniacal nas águas doces conforme a resolução CONAMA n° 357/2005.	73
Quadro 7 - Principais fontes de metais nas águas naturais.	79
Quadro 8 - Classificação da qualidade das águas de acordo com o IQA.	83
Quadro 9 - Composição do IAP.	85
Quadro 10 - Padrões da CETESB para a avaliação das águas conforme o IAP.	85
Quadro 11 - Classificação do grau de trofia das águas conforme o IET.	87
Quadro 12 - Padrões de avaliação da água de acordo com o IVA.	89
Quadro 13 - Classificação climática dos municípios da UGRHI 2, com base na proposta de Koeppen.	104
Quadro 14 - Significado dos resultados de um balanço hídrico, com base na classificação da ONU, para avaliar a disponibilidade de água.....	112
Quadro 15 - Pontos da CETESB que tiveram o código alterado.....	120
Quadro 16 - Identificação dos pontos da CETESB representados na figura 25....	122
Quadro 17 - Ano de implantação, localização e nome da estação de tratamento de esgoto da UGRHI 2 consideradas na pesquisa.....	123
Quadro 18 - Descrição dos pontos de lançamento de esgoto dos municípios desta pesquisa, de acordo com a figura 26.....	125
Quadro 19 - Divisão do rio Paraíba do Sul adotado nesta pesquisa.....	126
Quadro 20 - Classificação dos períodos considerados na pesquisa.	181

1 INTRODUÇÃO

A qualidade das águas é representada por um conjunto de características, geralmente mensuráveis, de natureza química, física e biológica. Elas devem ser mantidas dentro de certos limites para que os ecossistemas aquáticos e os múltiplos usos da água não sejam comprometidos.

Segundo VON SPERLING (1996), as características de uma determinada água têm relação direta com o uso e a ocupação do solo da bacia hidrográfica. As atividades humanas podem alterar esta qualidade de várias formas, especialmente pelo aporte de resíduos líquidos nos corpos hídricos. Estes lançamentos podem ser de forma concentrada, pelo descarregamento de esgoto num ponto do rio, ou de forma dispersa (ou difusa), a exemplo da aplicação de fertilizantes no solo que possuem altas concentrações de nitrogênio e fósforo, sendo que uma parcela destes nutrientes é absorvida pelos vegetais enquanto que o excedente é arrastado pelas chuvas para os rios ou penetra no solo, alcançando os lençóis subterrâneos. Outro exemplo de poluição difusa é a disposição incorreta de resíduos sólidos no solo, que também contribui para a introdução de compostos na água.

Segundo a Norma Brasileira NBR 9648 (ABNT, 1986) esgoto sanitário é o despejo líquido constituído de esgotos doméstico e industrial, água de infiltração e a contribuição pluvial. Segundo esta norma, o esgoto doméstico é composto pelo despejo líquido resultante do uso da água para higiene e necessidades fisiológicas humanas. Esgoto industrial é o despejo líquido resultante dos processos industriais. Já a água de infiltração é toda água proveniente do subsolo, indesejável ao sistema separador e que penetra nas canalizações. A contribuição pluvial é a parcela do deflúvio superficial absorvida pela rede de esgoto sanitário.

Os esgotos domésticos apresentam na sua composição consideráveis concentrações de matéria orgânica e nutrientes, especialmente o fósforo e o nitrogênio. De acordo com JORDÃO E PESSÔA (2009), a matéria orgânica

apresenta a seguinte composição: proteína (40%), carboidratos (25 a 50%), gorduras e óleos (10%), ureia, surfactantes, fenóis e pesticidas (10%). A quantificação da matéria orgânica presente nas águas e esgotos utiliza métodos diretos e indiretos, a exemplo da demanda química de oxigênio (DQO), demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e oxigênio dissolvido (OD).

Em relação aos nutrientes presentes neste tipo de esgoto, os detergentes polifosfatados empregados em larga escala doméstica representam uma importante fonte de fósforo. Já as concentrações de nitrogênio orgânico ocorrem devido à presença de proteínas e as concentrações de nitrogênio amoniacal são resultantes da hidrólise da ureia na água (CETESB, 2008).

A matéria orgânica e os nutrientes presentes no esgoto doméstico estão associados à poluição das águas. Estes compostos são fundamentais para os ecossistemas aquáticos, porém, quando em excesso, causam o aumento exagerado do número de algas e, conseqüentemente, o processo de eutrofização.

Desta forma, a demanda de oxigênio e os nutrientes são importantes parâmetros de caracterização dos efeitos da poluição das águas por despejos orgânicos, sendo classificados como indicadores de qualidade das águas.

Pode-se afirmar, portanto, que a qualidade das águas é suscetível ao desenvolvimento econômico, a ampliação das atividades humanas, ao crescimento das cidades, ao processo de industrialização e urbanização (QUEVEDO, 2007).

O monitoramento e enquadramento dos recursos hídricos são importantes ferramentas que indicam as tendências de variação da qualidade das águas e estabelecem metas a serem atingidas para adequar o manancial aos usos preponderantes.

A avaliação da qualidade dessas águas com base nas atividades humanas desenvolvidas na bacia hidrográfica direciona a adoção de ações prioritárias para a melhoria contínua da qualidade das águas (Bessa, 2002).

No Brasil, a resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente, CONAMA, nº 430, de 13 de maio de 2011, estabelece as diretrizes para o lançamento

de efluentes nos corpos d'água, com o intuito de defender seus níveis de qualidade, avaliados por condições e padrões específicos. Além disso, a saúde e o bem-estar humano, bem como o equilíbrio ecológico aquático, não devem ser afetados pela deterioração da qualidade das águas.

Segundo a Organização Pan Americana de Saúde, OPAS, cerca de 85% das doenças conhecidas são de veiculação hídrica (OPAS, 2001). Dados do Sistema de Informações Hospitalares do Sistema Único de Saúde, DATASUS (BRASIL, 2007), demonstraram que, no período de 2000 a 2005, ocorreram, a cada ano, cerca de 700.000 internações hospitalares no Brasil provocadas por doenças relacionadas à água e à falta de saneamento básico.

As doenças de veiculação hídrica podem ser transmitidas diretamente pela água, provocadas pela ingestão de água contaminada contendo bactérias ou vírus patogênicos. Podem ser causadas pelo contato de água contaminada na pele ou nos olhos, e também por parasitas encontrados em organismos que nela vivem. Insetos vetores com ciclo de vida aquático também são outra fonte de transmissão desta classe de doenças (OPAS, 2001).

Das principais doenças de veiculação hídrica, tem-se amebíase, giardíase, gastroenterite, febre tifoide e paratifóide, hepatite infecciosa e cólera. Indiretamente, a água também está ligada à transmissão de verminoses, como esquistossomose, ascaridíase, teníase, oxiuríase e ancilostomíase. Alguns vetores, como o mosquito *Aedes aegypti*, que se relacionam com a água, podem transmitir a dengue e outras doenças.

Uma das formas de minimizar os efeitos da poluição das águas à saúde pública e ao meio ambiente é através da coleta e do tratamento de esgotos antes de seu lançamento no corpo receptor, visto que grande parte dos contaminantes presentes neste meio é removida nas Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs) através de processos químicos, físicos e biológicos, possibilitando a disposição final em condições seguras (PAGANINI, 2008).

Em termos de saúde pública, o principal benefício à população e ao meio ambiente é a redução do número de doenças de veiculação hídrica na

medida em que são disponibilizados mananciais de abastecimento de melhor qualidade. Além disso, a manutenção da qualidade da água também permite a ampliação de seus usos.

Nesta pesquisa não serão consideradas as fontes de poluição difusas que contribuem para a degradação da qualidade das águas do rio Paraíba do Sul, como por exemplo a disposição inadequada do lixo, o assoreamento de rios causado pelo desmatamento, o uso indevido e não controlado de agrotóxicos e a ocupação desordenada do solo.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo desta pesquisa é analisar a evolução da qualidade das águas nos últimos trinta anos no caudal do rio Paraíba do Sul, considerando os impactos do crescimento populacional e os efeitos advindos da implantação das Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs) na qualidade das águas da extensão paulista.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Relacionar o crescimento populacional das cidades do Vale do Paraíba Paulista com o aporte de carga orgânica, representado pela DBO, DQO e OD e também de nutrientes, através da série de nitrogênio e do fósforo, no rio Paraíba do Sul no período de 1981 a 2010;
- b) Avaliar o comportamento dos índices de qualidade das águas com relação ao crescimento populacional da região;
- c) Avaliar os impactos da implantação das Estações de Tratamento de Esgoto em relação à qualidade das águas.

3 REVISÃO DA LITERATURA

3.1. SAÚDE E SANEAMENTO

3.1.1 Definições

O conceito de saúde elaborado pela Organização Mundial da Saúde, OMS, divulgado na carta de princípios de 7 de abril de 1948 (considerado o Dia Mundial da Saúde), reconhece o direito à saúde e a obrigação do Estado na promoção e proteção da mesma. Nesta definição, “Saúde é o estado do mais completo bem-estar físico, mental e social e não apenas a ausência de enfermidade” (OMS, 1948).

No ano de 1977, Christopher Boorse definiu a saúde como a ausência de doença. Neste conceito, a classificação dos seres humanos como saudáveis ou doentes seria uma questão objetiva, relacionada ao grau de eficiência das funções biológicas, sem necessidade de juízos de valor (FILHO e JUCÁ, 2002).

A Constituição Federal Brasileira, do ano de 1988, no artigo nº 196, diz que: “A saúde é direito de todos e dever do Estado, garantido mediante políticas sociais e econômicas que visem a redução do risco de doença e de outros agravos e ao acesso universal e igualitário às ações e serviços para a promoção, proteção e recuperação” (BRASIL, 1988).

Além das ações de prevenção e assistência, a atuação sobre os fatores determinantes da saúde é relevante. Este é o propósito da Promoção da Saúde.

GUIMARÃES e col. (2007) destacam que o conceito de Promoção de Saúde proposto pela OMS na Conferência de Ottawa, em 1986, é visto como o princípio orientador das ações de saúde em todo o mundo. Nele, pressupõe-

se que um dos fatores determinantes da saúde são as condições ambientais.

A palavra sanear significa tornar são, sadio, saudável. A OMS define saneamento como o controle de todos os fatores do meio físico do homem, que exercem ou podem exercer efeitos nocivos sobre o bem estar físico, mental e social (OPAS, 2011).

De acordo com esse conceito, é evidente a importância do saneamento enquanto abordagem preventiva e de promoção da saúde, a partir do enfoque ambiental.

No Brasil, a Lei Federal nº 11.445/2007 define saneamento como o conjunto de serviços, infraestruturas e instalações operacionais de abastecimento de água potável, desde a captação até as ligações prediais e respectivos instrumentos de medição. O sistema de esgoto, constituído pelas infraestruturas e instalações desde as ligações prediais até o seu lançamento final no meio ambiente também faz parte da definição de saneamento da lei. Soma-se a isto a limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos, incluindo as atividades de coleta, transporte, transbordo, tratamento e destino final do lixo doméstico e do lixo originário da varrição e limpeza de logradouros e vias públicas, além da drenagem e do manejo das águas pluviais urbanas (BRASIL, 2007).

De outra forma, pode-se dizer que saneamento constitui-se de um conjunto de ações que visam proporcionar níveis crescentes de salubridade ambiental em determinado espaço geográfico, em benefício da população que habita o mesmo. Essas ações, quando corretamente implementadas, podem produzir uma série de efeitos positivos sobre o bem-estar e a saúde das populações beneficiadas.

3.1.2 Evolução Histórica da Relação Saneamento e Saúde

A relação saúde e saneamento é antiga. De acordo com Capra, citado por HELLER (1997), a partir do século IV a.C. já existiam relatos da civilização greco-romana referente a práticas sanitárias que visavam reduzir as doenças. O livro “Ares, águas e lugares” foi um exemplo da tentativa de apresentar as relações causais de fatores do meio físico com doenças.

Na Idade Média, a perda das conquistas alcançadas, principalmente em relação à construção das cidades, à higiene urbana, ao suprimento de água e afastamento de esgoto, resultou na disseminação de epidemias, a exemplo da varíola, da cólera, da lepra e do tifo, que dizimaram aproximadamente 25 milhões de pessoas (KLIGERMAN, 2001).

No ano de 1388, o Ato inglês proibiu a poluição dos canais urbanos e, em 1453, leis rígidas de proteção dos mananciais foram promulgadas em Augsburg, com o intuito de proteger os corpos d’água que abasteciam a população (MASCARENHAS e RAMOS, 1996; KLIGERMAN, 2001).

O período de investigação da relação entre saneamento e saúde teve início no século XIX. Em 1846, o sanitarista Chardwick defendeu a importância do saneamento com base na teoria miasmática (HELLER, 1997).

Em 1854 John Snow, considerado o pai da Epidemiologia, comprovou cientificamente a associação entre a fonte de água consumida pela população de Londres e a incidência de cólera (ROUQUAYROL e FILHO, 2009; KLIGERMAN, 2001).

A implantação de sistemas coletivos de saneamento apontou reflexos na saúde da população. O aumento do acesso da população à água potável, introduzidas no município Massachusetts (Estados Unidos) no período de 1885 e 1940, resultou no decréscimo da mortalidade por febre tifoide. Na França, a esperança de vida aumentou entre os anos de 1840 e 1900, período posterior ao incremento do sistema de abastecimento de água e coleta de esgoto (HELLER, 1997).

Segundo Cairncross citado por HELLER (1998), na década de 60, os benefícios do saneamento na saúde passaram a ser questionados, prevalecendo o argumento de que os custos de implantação dos sistemas de tratamento de água e esgoto eram superiores a outras medidas primárias, a exemplo de programas de vacinação, aleitamento materno entre outros.

No ano 1981, a ONU declarou a Década Internacional do Abastecimento de Água e do Esgotamento Sanitário (HUTTLY, 1990), incentivando as ações de saneamento em defesa a saúde e ao meio ambiente.

Estes avanços se deram também em decorrência de um vasto conjunto de efeitos indiretos que influenciaram na melhoria da saúde mediante modificações da esfera social, econômica e educacional, com consequente efeito no estilo de vida (CVJETANOVIC, 1986). Todavia, é inegável o papel dos efeitos diretos produzidos pelas referidas intervenções na ocorrência de doenças, por contribuírem na elevação do nível de higiene pessoal e comunitário da população (OPAS, 2004).

3.1.3 Relação Saúde-Saneamento: Marcos Legais no Brasil

Ao longo dos anos, a saúde pública e o saneamento sofreram influências do desenvolvimento político e econômico da constituição do estado brasileiro.

No período colonial, as ações de saneamento eram realizadas em nível individual, devido à ausência de grandes aglomerações humanas, a abundância de recursos hídricos, o baixo potencial poluidor da produção de esgotos e as boas condições de autodepuração dos cursos d'água (REZENDE e HELLER, 2002). As obras, entretanto, atendiam apenas a uma parte da população, caracterizando um quadro precário das condições sanitárias da época, resultando em epidemias (OPAS, 2004).

Um dos poucos registros sobre a atenção das autoridades de saúde do Brasil com relação à qualidade da água para consumo humano surgiu na

década de 1920, com a criação do Departamento Nacional de Saúde Pública (DNSP), instituído pela Lei nº 3.987, com base na “Reforma Carlos Chagas” que reorganizou os serviços de saúde do país (BRASIL, 1920). O DNSP era composto por três diretorias: diretoria dos serviços sanitários do Distrito Federal, a diretoria de defesa sanitária marítima e fluvial e a diretoria de saneamento rural (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2004).

Em 1942, foi criado o Serviço Especial de Saúde Pública, SESP, por intermédio de um acordo entre os governos brasileiro e norte americano, com o intuito de sanear os vales dos rios Amazonas e Doce.

Este objetivo foi expandido e, no início da década de 50, o SESP (transformado posteriormente em Fundação de Serviços de Saúde Pública, FSESP, vinculada ao Ministério da Saúde), começou a assinar convênios com os municípios para financiamento, construção e operação de Sistemas de Abastecimento de Água (SAA) e Sistemas de Esgotamento Sanitário (SES), em municípios e localidades urbanas e rurais (OPAS, 2004).

O crescimento populacional e a urbanização consolidavam-se no Brasil. Enquanto isso, a infraestrutura não acompanhou este crescimento.

Em 1961, o Governo Federal regulamentou a Lei nº 2.314/1954, que estabeleceu as normas gerais sobre defesa e proteção da saúde, promulgando o Código Nacional de Saúde, por meio do Decreto nº 4.9974/1961. Este Código incorpora novos objetos à área de abrangência da vigilância sanitária, entre elas o saneamento e proteção ambiental (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2004).

Em dezembro de 1962, o governo do presidente João Goulart lançou o Plano Trienal. Neste plano, o saneamento constava nas diretrizes gerais para o setor de saúde. Desta forma, as medidas no campo do saneamento básico visavam reduzir as epidemias. Ao Ministério da Saúde cabia apoiar os programas de saneamento básico, enquanto o Departamento Nacional de Saúde realizava o levantamento do atendimento dos sistemas de abastecimento de água. O tratamento de esgoto não foi citado neste plano (LUCENA, 2006).

No ano de 1965, quando o Brasil era governado pelo presidente Castello Branco, foi criado o Programa Nacional de Abastecimento de Água, que visava atender 70% da população urbana nacional e o Programa Nacional de Esgotos Sanitários, que objetivava atender a 30% da população urbana até 1973 (IPEA, 1995), objetivos que não foram alcançados.

A Lei nº 5.318, de 26 de setembro de 1967, criou o Conselho Nacional de Saneamento, CONSANE, com a função principal de planejar, coordenar e controlar a política de saneamento, que deveria ser formulada juntamente com a Política Nacional de Saúde (LUCENA, 2006).

O Fundo de Financiamento para Saneamento, FISANE, também foi criado no ano de 1967. O Fundo de Garantia por Tempo de Serviço, FGTS, criado pela Lei nº 5.107 de 13 de setembro de 1966, foi relevante para o financiamento do setor de água e esgoto (BRASIL, 1966).

Em princípio, o FGTS financiava apenas questões voltadas à política habitacional. Todavia, a arrecadação crescente deste fundo e a necessidade de uma política nacional de saneamento resultaram, no ano de 1969, no Decreto Lei nº 949, que autorizou o uso do FGTS nas operações de financiamento de saneamento (IPEA, 1995).

Em 1971, formulou-se o Plano Nacional de Saneamento, PLANASA, que até a década de 1980 constituiu-se na política federal de saneamento do país. O PLANASA privilegiou as ações de abastecimento de água e esgotamento sanitário, principalmente de áreas urbanas, para fazer frente à ampla industrialização do país e à consequente urbanização, que se deu a partir da década de 1970 (OPAS, 2004).

Alicerçada na Lei nº 6.229/1975 que dispunha sobre o Sistema Nacional de Saúde e na Conferência Pan Americana sobre qualidade de água realizada na cidade de São Paulo, em outubro de 1975, o governo brasileiro promulgou o Decreto Federal nº 7.9367/1977 atribuindo ao Ministério da Saúde a competência de elaborar normas e o padrão de potabilidade de água para consumo humano a serem adotados em todo o território nacional (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2004).

Além disto, pelo texto legal, cabia também ao Ministério, em articulação com outros órgãos e entidades, a elaboração de normas sanitárias sobre proteção de mananciais (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2004).

A Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, que dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, visou controlar o lançamento de poluentes no meio ambiente, proibindo o lançamento em níveis nocivos ou perigosos para os seres humanos e outras formas de vida (BRASIL, 1981).

Antes da promulgação da Constituição Federal de 1988, o Ministério da Saúde, havia institucionalizado, em 1986, o “Programa Nacional de Vigilância de Qualidade de Água para Consumo Humano” aprovado pelo Decreto Federal n.º 92.752/1986 (BRASIL, 1986).

Em 1988 a nova Constituição Federal estabeleceu o princípio de que Saúde é um direito de todos e dever do Estado (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2004). Segundo o artigo 23, inciso XX, a União, estados, Distrito Federal e municípios devem, em conjunto, “promover programas de construção de moradia e melhoria das condições habitacionais e de saneamento básico” (BRASIL, 1998).

Os dispositivos legais regulatórios do Sistema Único de Saúde, SUS, foram editados posteriormente à promulgação da Constituição Federal, a exemplo a Lei nº 8.080/1990 (Lei Orgânica da Saúde), que reforçava a responsabilidade do setor saúde no que se refere à fiscalização das águas destinadas ao consumo humano (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2004).

A reforma administrativa do Ministério da Saúde, de 1990, contemplou a criação da Fundação Nacional de Saúde, FUNASA, por meio da fusão de vários órgãos do Ministério, inclusive a FSESP (LUCENA, 2006).

Portaria do Ministério da Saúde nº 1.469/2000 estabeleceu os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Em 2004, a Portaria MS nº 1.469, de 29 de dezembro de 2000, foi revogada pela Portaria MS n.º 518, de 25 de março de 2004 e posteriormente pela Portaria nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011 (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2004; BRASIL, 2005; BRASIL, 2011).

Lei nº11.445/2007 regulamentou o setor de saneamento no Brasil. Esta Lei estabelece que os titulares dos serviços de saneamento básico, prefeitos e administradores públicos, devem formular as políticas públicas de saneamento a partir da elaboração de um Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB), que define a gestão do saneamento em âmbito local (LUCENA, 2006).

Considerando que a saúde e o bem-estar humano, bem como o equilíbrio ecológico aquático não devem ser afetados pela deterioração da qualidade das águas, a Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005, dispôs sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento dos corpos de água superficiais, e também estabeleceu as condições e padrões de lançamento de efluentes nos corpos receptores (CONAMA, 2005).

A Resolução CONAMA nº 430/2011 complementou e alterou a Resolução nº 357/2005, dispondo sobre as condições e padrões do lançamento de efluentes. Conforme esta Lei, os efluentes não poderão conferir ao corpo receptor características de qualidade em desacordo com as metas obrigatórias progressivas, intermediárias e finais, do seu enquadramento (CONAMA, 2011).

3.1.4 Efeitos da Degradação dos Recursos Hídricos sobre a Saúde Humana

Os grandes sanitaristas do século XIX foram os primeiros que apontaram cientificamente a relação existente entre o saneamento ambiental e os mecanismos de determinação do processo saúde-doença (ROSEN, 1994).

A intrínseca relação entre saneamento e condições de saúde foi paulatinamente sendo comprovada, tanto em termos práticos quanto científicos.

Para Huttly, citado por HELLER e col. (1997), as diversas medidas de saneamento relativas ao acesso à água de boa qualidade e ao tratamento e disposição final adequado das excretas reduziram a incidência de doenças infecto parasitárias nos países industrializados. Nos chamados países em desenvolvimento, entretanto, essas doenças ainda são responsáveis pela morbidade e mortalidade, especialmente entre crianças, o que pode ser atribuído ao sistema de saneamento inadequado (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2004).

De acordo com Esrey e Habitch citado por HELLER e col. (1997) alguns tipos de serviços básicos são potencialmente capazes de produzir benefícios sobre a saúde de crianças, a exemplo o fornecimento de água potável, o aumento na quantidade de água de abastecimento e o provimento de medidas sanitárias para disposição segura das excretas humanas.

ROSEN (1994), em revisão sobre doenças relacionadas ao saneamento e impacto dessas medidas sobre a saúde, afirma que, embora substanciais, as medidas de saneamento provocam um impacto sobre a saúde de natureza complexa, que nem sempre pode ser facilmente visualizado ou compreendido em sua totalidade.

Quanto ao impacto dos recursos hídricos sobre a saúde, o relatório *Safer Water for Better Health*, SWBH, publicado pela OMS no ano de 2008, presume que um décimo dos problemas globais gerados por doenças poderiam ser obtidos com um melhor uso e gerenciamento dos recursos hídricos (WHO, 2008).

Pesquisas revelam que 80% de todas as moléstias e mais de um terço dos óbitos nos países em desenvolvimento sejam causados pelo consumo de água contaminada (RODRIGUES e MALAFAIA, 2009).

HELLER (1997) afirma que as doenças relacionadas ao saneamento estão diretamente ligadas a inexistência ou precariedade do esgotamento sanitário e a não disponibilidade de água em quantidade suficiente e qualidade adequada ao consumo humano.

Segundo Grabow, citado por RODRIGUES e MALAFAIA, (2009), as enfermidades diarreicas de natureza infecciosa são especialmente

responsáveis por milhares de mortes em todo o mundo, o que torna primordial a avaliação da qualidade microbiológica dos recursos hídricos. Tais enfermidades, que incluem doenças severas como a febre tifoide e a diarreia aguda, são causadas principalmente por microrganismos patogênicos de origem entérica, animal ou humana, contraídos basicamente pela rota fecal-oral, ou seja, pela ingestão de água ou de alimento contaminado por água poluída com fezes.

KATO e col. (2007) relatam que os agentes químicos utilizados nas atividades industriais, na exploração mineral e na produção agrícola, quando imprópriamente manuseados e depositados, também afetam a saúde humana e a ambiental. A exposição humana a tais agentes químicos pode resultar em diversos danos à saúde das populações.

Nos países industrializados são produzidos e utilizados aproximadamente 85 mil agentes químicos. Menos de 45% desses agentes foram submetidos a testes toxicológicos básicos, e menos de 10% estudados quanto a efeitos tóxicos sobre organismos em desenvolvimento (RODRIGUES e MALAFAIA, 2009).

Além de prejudicar a saúde da população, o comprometimento da qualidade dos mananciais eleva os investimentos na implantação e na operação das estações de tratamento de água e de esgoto.

VARGAS (1999) ressalta que nos países em desenvolvimento, o lançamento constante de esgoto doméstico sem tratamento ou com tratamento inadequado é o principal responsável pela poluição dos mananciais.

A compreensão das relações entre saneamento, saúde pública e meio ambiente constitui, portanto, uma importante ferramenta para o desenvolvimento de um modelo de planejamento ambiental, social e econômico.

3.1.4.1 Doenças de Veiculação Hídrica

Doenças de veiculação hídrica são aquelas causadas pela presença de microrganismos patogênicos (bactérias, vírus, e parasitas) na água utilizada para diferentes usos.

As doenças podem ser transmitidas diretamente pela água, provocadas pela ingestão de água contaminada por urina ou fezes, humanas ou de animais, contendo bactérias ou vírus patogênicos. Podem ser provocadas por má higiene pessoal ou contato de água contaminada na pele ou nos olhos. Também podem ser causadas por parasitas encontrados em organismos que vivem na água ou insetos vetores com ciclo de vida na água (OPAS, 2001b). O quadro 1 relaciona o método de transmissão pela água com o tipo da doença.

Quadro 1 - Relação entre o método de transmissão e doença.

Transmissão	Doença
Pela água	Cólera Febre tifoide Leptospirose Giardíase Amebíase Hepatite infecciosa Diarreia aguda
Por meio de vetores que se relacionam com a água	Malária Dengue Febre amarela Filariose Esquistossomose Leishmaniose
Pela falta de limpeza e higienização com a água	Escabiose Pediculose Tracoma Tricuríase Enterobíase Ancilostomíase Ascaridíase Esquistossomose

Fonte: OPAS, 2001.

Muitas doenças que atingem os seres humanos resultam da contaminação das águas por esgotos domésticos e industriais, e também de contaminação das regiões com intensa atividade agrícola e pecuária. Além disso, as doenças de veiculação hídrica aumentam em intensidade e distribuição nas regiões com alta concentração populacional e com a ampliação de despejos de atividades industriais (RODRIGUES e MALAFAIA, 2009).

A maioria das mortes por diarreias no mundo, 88%, é causada por sistemas inadequados de saneamento, sendo que mais de 99% destas mortes ocorrem em países em desenvolvimento, e aproximadamente 84% delas afetaram as crianças (UNICEF, 2009).

A UNICEF (2009) aponta a diarreia como sendo a segunda maior causa de mortes em crianças menores de cinco anos de idade. Estima-se que 1,5 milhões de crianças menores de cinco anos morrerão a cada ano vítimas de doenças diarreicas, sobretudo em países em desenvolvimento, em grande parte devido à falta de saneamento.

Nos domicílios os níveis de contaminação se elevam devido à precariedade das instalações hidráulico-sanitárias, a falta de manutenção dos reservatórios e o manuseio inadequado da água (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2004).

3.1.5 Números no Brasil Relacionados a Saneamento e Doenças de Veiculação Hídrica.

3.1.5.1 Tratamento de Água e Esgoto

O atendimento dos serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário no Brasil está ainda distante da universalização pretendida e necessária.

Os índices médios nacionais de atendimento da população total (urbana e rural), identificados pelo Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento, SNIS, no ano de 2009, foram de 81,2% para o abastecimento de água e de 43,2% para a coleta de esgotos (SNIS, 2011).

Considerando somente a população urbana, os dados do SNIS (2011) evidenciaram um elevado atendimento pelos serviços de água, com índice médio nacional igual a 94,7%, enquanto que na coleta de esgotos esse índice foi de 50,6%. A tabela 1 sintetiza os índices de abastecimento de água e de coleta e tratamento de esgoto por região, no Brasil, no ano de 2009 (SNIS, 2011).

Tabela 1 - Índices de atendimento de água e esgotos Brasil, classificado por região geográfica, no ano de 2009.

Região	Índice de Atendimento (%)				Índice de tratamento dos esgotos gerados (%)
	Água		Coleta de Esgoto		Total
	Total	Urbano	Total	Urbano	
Norte	57,6	72,0	5,6	7,0	11,2
Nordeste	68,0	89,4	18,9	25,6	34,5
Sudeste	90,3	97,6	66,6	72,1	36,1
Sul	86,7	98,2	32,4	38,3	31,1
Centro-oeste	89,5	95,6	44,8	49,5	41,6
Total	81,2	94,7	43,2	50,6	34,6

Fonte: SNIS, 2011.

Quanto à coleta de esgotos (rural e urbano), os dois estados com melhores índices (acima de 70%) foram o São Paulo e o Distrito Federal, enquanto que na pior faixa (abaixo de 10%) situaram-se quatro estados: Rondônia, Pará, Amapá e Piauí. Na segunda melhor faixa (entre 40,1 e 70,0%) ficaram os estados de Minas Gerais, Rio de Janeiro e Paraná (SNIS, 2011).

A pesquisa do SNIS (2011) englobou 4.627 cidades atendidas com os serviços de água e 1.468 com serviços de esgoto, o que significa 83,1% e 26,4%, respectivamente, do total dos municípios brasileiros. Sua representatividade fundamenta-se no fato dos municípios pesquisados com serviços de água somarem de 154 milhões de pessoas no ano de 2008, ou seja, 97,6% da população brasileira. No caso dos serviços de esgoto, a população representava 121 milhões, ou 76,9% do total do país.

É importante notar que houve avanços no saneamento básico nos últimos anos. Desde 2003, a parcela da população atendida pela rede de água passou de 73% para 81%. Em termos absolutos, a população não atendida registrou queda, passando de 48,2 milhões para 41,8 milhões, portanto 6,4 milhões de pessoas foram incluídas no sistema de abastecimento de água nesse período (FGV, 2010).

O acesso à rede de esgotamento sanitário avançou no mesmo período de 34% para quase 44% da população, levando o déficit de acesso a se reduzir para 114,2 milhões. Esses avanços foram possíveis em razão do aumento do investimento nas redes de abastecimento de água e de esgoto.

A FGV (2010) divulgou que, a preços de 2008, os investimentos para melhoria e expansão da rede de abastecimento de água passaram de R\$ 1,3 bilhão em 2003 para R\$ 2,2 bilhões em 2008, um aumento de 12% ao ano. Na rede de esgotamento sanitário, o ritmo de expansão de recursos foi menor, uma vez que foram investimentos de R\$ 1,8 bilhão em 2003 e, no ano de 2008, investiu-se R\$ 2,6 bilhões. A figura 1 apresenta o valor investido em saneamento básico no Brasil, no ano de 2008.

Figura 1 - Investimentos em saneamento básico no Brasil, em R\$ milhões, entre os anos de 2003 e 2008.

Fonte: FGV, 2010.

Conforme o SNIS, o Brasil ainda investe muito pouco em saneamento, o que torna a universalização distante. Estudos revelam que deveriam ser investidos 0,63% do PIB neste setor, mas efetivamente são investidos apenas 0,22% (SNIS, 2011). Além disso, menos de 30% das obras do PAC Saneamento foram concluídas até 2010 (FGV, 2010).

Em relação ao número de moradias ligadas a rede de esgoto, a tabela 2 a seguir apresenta a evolução do número de acesso a rede de esgoto no Brasil entre os anos de 1960 e 2008 (FGV, 2009).

Tabela 2 - Evolução do número de moradias com acesso a rede de esgoto no Brasil, por estado, em mil moradias, entre os anos de 1960 e 2008.

Estado	1960	1970	1980	1991	2000	2008
Rondônia	-	-	1,9	4,9	12,8	16,9
Acre	-	-	-	3,2	25,2	68,4
Amazonas	-	-	-17,4	44,6	114,2	210,7
Roraima	-	-	1,8	3,8	8,0	23,8
Pará	7,7	8,4	25,3	49,5	96,9	209,7
Amapá	0,7	0,8	1,4	2,9	6,1	9,1
Tocantins	-	-	-	-	7,7	62,6
Maranhão	5,6	5,3	30,0	70,0	113,8	251,2
Piauí	0,1	0,6	3,2	6,7	26,5	45,0
Ceará	5,3	4,3	18,7	85,0	376,9	789,2
Rio Grande do Norte	3,4	5,8	11,0	36,1	111,0	185,8
Paraíba	8,3	9,3	39,0	87,0	245,5	471,2
Pernambuco	30,8	47,9	112,5	246,2	674,3	1140,9
Alagoas	0,8	4,1	11,5	37,8	99,3	174,4
Sergipe	3,2	2,7	6,4	55,8	121,5	271,2
Bahia	39,2	38,5	125,0	173,8	1094,2	1975,3
Minas Gerais	244,8	371,4	966,2	2069,5	3249,3	4788,0
Espírito Santo	25,1	32,1	93,2	265,3	473,1	660,3
Rio de Janeiro	458,3	659,8	1420,0	1580,1	2659,1	4326,1
São Paulo	746,3	835,0	2945,6	6105,6	8466,2	11757,0
Paraná	41,4	62,0	208,5	447,0	1003,3	2022,5
Santa Catarina	10,1	8,8	27,4	48,7	292,3	1026,0
Rio Grande do Sul	121,9	153,5	240,1	281,1	834,3	1949,0
Mato Grosso do Sul	-	6,9	18,5	37,4	66,66	136,7
Mato Grosso	3,7	-	12,8	25,1	101,1	235,6
Goiás	6,9	27,9	61,5	265,7	424,5	660,9
Distrito Federal	4,5	33,1	100,7	284,6	457,2	651,5

FONTE: FGV, 2010.

3.1.5.2 Doenças de Veiculação Hídrica

A Fundação Getúlio Vargas, juntamente com o Instituto Brasileiro de Economia, relacionou o número de internações por infecção gastrointestinais aos índices de acesso a esgotamento sanitário, em todas as regiões do Brasil, no ano de 2009 (FGV, 2010).

Segundo este relatório, foram notificadas mais de 462 mil internações por infecções gastrintestinais em todo o país. Aproximadamente 206 mil foram classificadas como “diarreia e gastroenterite de origem infecciosa presumível”, pouco mais de 10 mil casos como “amebíase, shigelose ou cólera” e 246

mil como “outras doenças infecciosas intestinais” (FGV, 2010). A tabela 3 apresenta o resultado desta pesquisa.

Tabela 3 - Número de internações por doenças gastrintestinais infecciosas, população, incidência e déficit de esgoto, por região do Brasil, no ano de 2009.

Região	Casos	População (mil habitantes)	Incidência (casos por mil habitantes)	Déficit relativo de esgoto
Norte	80.842	15.385,7	5,25	87,6%
Nordeste	231.599	53.495,4	4,33	63,8%
Sudeste	67.062	80.714,9	0,83	16,3%
Sul	50.587	27.649,5	1,83	35,2%
Centro-Oeste	32.277	13.798,3	2,34	64,8%
Total	462.367	191.043,9	2,42	40,9%

Fonte: FGV, 2010.

Este estudo revela que a maior parte dessas internações ocorreram nas regiões com menor acesso ao esgotamento sanitário, que são as regiões Norte e Nordeste.

Na região Norte, foram registrados 17% das internações no Brasil. A taxa de incidência foi de 5,25 casos por mil habitantes no ano, um valor 2,2 vezes mais que a média nacional. Vale destacar que na região Norte está o déficit relativo de saneamento mais intenso do país, sendo que 88% das moradias não tinham acesso à rede coletora de esgoto (FGV, 2010).

No Sudeste, onde o déficit de coleta de esgoto é relativamente menor, atingia a 16% das moradias em 2008. A taxa de incidência de internações por infecções gastrintestinais foi de 0,83 internações para cada mil habitantes no ano.

Outro indicador que pode ser utilizado para relacionar saneamento e saúde é a mortalidade proporcional por doença diarreica aguda em menores de 5 anos de idade.

Este indicador corresponde ao percentual dos óbitos por doença diarreica aguda em relação ao total de óbitos de menores de cinco anos de idade, na população residente em determinado espaço geográfico, no ano considerado (RIPSA, 2008).

A tabela 4 apresenta a mortalidade proporcional por doença diarreica aguda em menores de 5 anos de idade no Brasil.

Tabela 4 - Mortalidade proporcional por doença diarreica aguda em menores de 5 anos de idade, nas regiões brasileiras, nos anos de 1990, 1995, 2000, 2004 e 2009.

Região	1990	1995	2000	2004	2009
Norte	19,0	9,2	5,0	4,9	2,5
Nordeste	12,6	13,0	6,7	6,2	4,3
Sudeste	8,2	5,4	2,6	1,9	1,1
Sul	9,5	5,8	3,2	2,1	1,3
Centro Oeste	9,7	6,8	4,5	3,9	3,2

Fonte: SIM, 2010.

Pela tabela 4, é possível observar que o percentual de óbitos por doença diarreica aguda vem declinando progressivamente em todas as regiões brasileiras. Nas regiões Norte e Nordeste, mesmo tendo apresentado grande redução, os valores permanecem em patamares elevados como provável impacto do sistema de saneamento inadequado (RIPSA, 2008).

Este indicador reflete, portanto, as condições socioeconômicas e de saneamento, bem como as ações de atenção à saúde da criança.

Estes fatos denotam que os investimentos públicos na área de saneamento não resultam apenas no aumento da qualidade de vida da população, mas também implicam na redução de gastos com tratamento médico no sistema público de saúde, liberando recursos para outras áreas. Para cada R\$ 1,00 gasto com saneamento básico, é gerado uma economia de R\$ 4,00 no sistema corretivo de saúde (OPAS, 2011).

A extrema desigualdade social existente no Brasil contribui para que existam grandes áreas de pobreza e com precária infraestrutura de saneamento e de saúde, com índices relativamente elevados de mortalidade infantil e de morbidade e mortalidade por causas evitáveis, a exemplo das doenças diarréicas e das parasitoses intestinais (OPAS, 2001).

3.2 TRATAMENTO DE ESGOTO

3.2.1 Definição

O esgoto é formado por despejos oriundos das atividades humanas, além das contribuições de águas superficiais, águas pluviais e águas subterrâneas. Os esgotos são geralmente classificados em dois grupos: esgotos sanitários e esgotos industriais.

3.2.1.1 Esgoto Sanitário

O esgoto sanitário é constituído basicamente de esgoto domésticos e parcelas de águas pluviais, águas de infiltração e uma pequena parcela de efluentes industriais.

Segundo KATO e PIVELI (2005), as características quantitativas e qualitativas do esgoto sanitário variam em função de diversas variáveis, abrangendo desde o clima da região até a cultura da população.

3.2.1.2 Esgoto Doméstico ou Domiciliar

Os esgotos domésticos ou domiciliares, por definição, são aqueles de origem sanitária, provenientes principalmente das residências, pequenos estabelecimentos comerciais, instituições ou qualquer outra edificação que contenha instalações de banheiro, lavanderia, cozinha ou qualquer dispositivo de utilização de água para fins domésticos (JORDÃO E PESSÔA, 2009).

3.2.1.3 Esgoto Industrial

Os esgotos industriais são aqueles provenientes de qualquer utilização da água para fins industriais, adquirindo características em função do processo produtivo empregado (CAVALCANTI, 2012).

Nas indústrias as águas podem ser utilizadas de diversas formas, tais como: incorporação aos produtos; limpezas de pisos, tubulações e equipamentos; resfriamento; aspersão sobre pilhas de minérios; para evitar o arraste de finos; sobre áreas de tráfego para evitar poeiras; irrigação; lavagens de veículos; oficinas de manutenção; consumo humano e usos sanitários (CAVALCANTI, 2012).

As características deste tipo de esgoto variam essencialmente com o tipo da indústria e com o processo industrial utilizado.

3.2.2 Importância da Caracterização do Esgoto Bruto

Os corpos hídricos estão suscetíveis ao recebimento de variadas cargas de poluentes, decorrentes principalmente do lançamento de esgoto doméstico bruto e efluentes industriais, que impactam na sua qualidade.

A determinação das principais características dos esgotos, identificando suas propriedades físicas e seus principais constituintes químicos e biológicos é uma valiosa ferramenta que permite otimizar os processos de uma Estação de Tratamento de Esgoto, com o intuito de alcançar a qualidade adequada requerida pelo corpo receptor (KATO e PIVELI, 2005).

Mesmo com o desenvolvimento de diversas tecnologias, a caracterização qualitativa e quantitativa do esgoto bruto que será enviado à estação é essencial para se atinja um elevado grau de eficiência de remoção de contaminantes.

3.2.2.1 Caracterização do Esgoto Sanitário

Com base na literatura, as principais contribuições diárias médias de demanda bioquímica de oxigênio, demanda química de oxigênio, sólidos suspensos e série de nitrogênio no esgoto sanitário estão listadas na tabela 5.

Tabela 5 - Caracterização do esgoto sanitário bruto.

Parâmetro	Unidade	Variação
Demanda Bioquímica de Oxigênio	gp ⁻¹ d ⁻¹	50 – 120
Demanda Química de Oxigênio	gp ⁻¹ d ⁻¹	110 - 295
Sólidos suspensos totais	gp ⁻¹ d ⁻¹	60 - 150
Nitrogênio (como amônia)	gp ⁻¹ d ⁻¹	4 - 10
Nitrogênio (como nitrogênio Kjeldahl)	gp ⁻¹ d ⁻¹	9 - 21
Nitrogênio (como nitrogênio orgânico)	gp ⁻¹ d ⁻¹	4 - 10
Nitrito	gp ⁻¹ d ⁻¹	0,0
Nitrato	gp ⁻¹ d ⁻¹	0,0 – 0,5
Fósforo (como fósforo orgânico)	gp ⁻¹ d ⁻¹	0,9 – 1,8
Fósforo (como fósforo inorgânico)	gp ⁻¹ d ⁻¹	1,8 – 2,7
Fósforo total	gp ⁻¹ d ⁻¹	1,0 – 4,5

Fonte: METCALF & EDDY (2003), VON SPERLING (1996).

No Brasil, para a caracterização dos esgotos, adotam-se as contribuições per capita de 54 e 100 g/habitante.dia para a DBO e DQO, respectivamente (KATO e PIVELI, 2005; METCALF & EDDY, 2003).

As concentrações de fósforo variam muito com os hábitos socioeconômicos da população. Os detergentes e sabões em pó polifosfatados são importantes contribuintes de fósforo neste tipo de esgoto. O aumento do consumo de material proteico (carnes e peixes) pela população também influencia na concentração deste parâmetro (VAN HAANDEL e MARAIS, 1999). No Brasil, adota-se a concentração per capita de fósforo nos esgotos na ordem de 0,6 a 1,0 g/habitante.dia.

O nitrogênio apresenta-se predominantemente nas formas de nitrogênio orgânico, com contribuição per capita variando de 2,5 até 5,0 g/habitante.dia. Na forma de amônia a contribuição no esgoto é de 3,5 a 7,3 g/habitantes.dia (VON SPERLING, 1999).

Em termos de vazão, pode-se afirmar que os esgotos estão sujeitos às mesmas variações relativas ao consumo, oscilando de região para região, relacionando-se em grande parte com o poder aquisitivo da população (PIVELI, 2005). No Brasil, dados da literatura indicam uma vazão de contribuição de esgoto per capita típica de 160 L/habitante.dia, com um

coeficiente de retorno de esgoto igual a 0,8 em relação ao consumo de água (METCALF & EDDY, 2003; KATO e PIVELI, 2005).

3.2.2.2 Caracterização do Esgoto Industrial

As características físicas, químicas e biológicas dos efluentes industriais variam de acordo com o tipo de indústria, com o período de operação, com a matéria-prima e o processo produtivo utilizado. A tabela 6 apresenta informações gerais acerca da poluição orgânica gerada por alguns tipos de indústria.

Tabela 6 - Concentração média de DBO, em mg/L, em alguns tipos de efluentes industriais.

Gênero	Tipo	Concentração de DBO (mg/L)
Alimentícia	Conservas	6.000 – 7.000
	Doces	200 – 1.000
	Açúcar de cana	250 – 5.000
	Matadouros	15.000 – 20.000
	Laticínios com queijaria	500 – 4.000
Bebidas	Cervejaria	500 – 4.000
	Refrigerantes	600 – 2.000
Siderúrgica	Fundição	100 - 300
	Laminação	30 - 200
Papel e Celulose	Celulose	300 – 7.000
	Papel e Celulose	300 – 10.000
Indústria Química	Sabão	250 – 2.000
	PVC	800
Têxtil	Algodão	200 – 1.500
	Lã	500 - 600
	Tinturaria	2.000 – 5.000
	Polyester	1500 – 3.000

Fonte: JORDÃO E PESSÔA, 2009; VON SPERLING (1999).

3.2.3 Sistemas de Tratamento de Esgoto

O tratamento de esgotos é realizado, essencialmente, por processos biológicos, associados às operações físicas de concentração e separação de sólidos.

Processos puramente físico-químicos normalmente não são empregados por resultarem em maiores custos operacionais e menor eficiência na remoção de matéria orgânica biodegradável. Todavia, para algumas situações, eles são eficientes, a exemplo a remoção de nutrientes (JORDÃO E PESSÔA, 2009). Este tipo de tratamento pode ser aplicado isoladamente ou, principalmente, associado aos tratamentos biológicos como polimento.

Os processos de tratamento de esgoto são classificados em preliminar, primário, secundário e terciário, em função da eficiência das unidades.

3.2.3.1 Tratamento Preliminar

O tratamento preliminar de esgotos destina-se à remoção de sólidos grosseiros e areia. Os mecanismos básicos de remoção são de ordem física, como gradeamento e desaneração.

Esta etapa consiste na preparação do esgoto para o tratamento posterior, onde são removidos compostos que podem causar obstruções em tubulações, abrasão nas tubulações e tanques além de danos nos equipamentos (bombas e tubulações).

O gradeamento objetiva a remoção de sólidos grosseiros, a exemplo os materiais flutuantes (plásticos, papelão entre outros). Todo o material de dimensões maiores que o espaçamento entre as grades é retido. A remoção do material retido nas grades pode ser manual ou mecanizada (METCALF & EDDY, 2003).

Já o processo de desarenação promove a remoção de sólidos com características de sedimentação semelhantes à da areia, que se agrega ao esgoto devido à infiltração de água subterrânea na rede coletora bem como ao lançamento inadequado de resíduos na rede (JORDÃO E PESSÔA, 2009). O mecanismo de remoção da areia é basicamente a sedimentação.

3.2.3.2 Tratamento Primário

O tratamento primário remove uma parcela da matéria orgânica e dos sólidos em suspensão. Os processos usuais são, geralmente, a sedimentação e o peneiramento (PAGANINI, 2007).

Após o tratamento preliminar, os esgotos ainda apresentam uma elevada concentração de sólidos em suspensão. Uma parcela significativa destes sólidos em suspensão é composta de matéria orgânica (VON SPERLING, 1999).

A concentração dos sólidos em suspensão no esgoto governa o processo de sedimentação. Neste processo, o esgoto flui numa velocidade lenta através dos decantadores primários, permitindo que os sólidos, que possuem densidade maior que o líquido circundante, sedimente. A massa de sólido sedimentado, denominada lodo, é retirada do fundo do decantador através de tubulações ou raspadores mecânicos (JORDÃO E PESSÔA, 2009).

Nos decantadores primários, sob as condições de escoamento normalmente adotadas nos projetos, ocorre remoção de 40 a 60% de sólidos em suspensão dos esgotos sanitários, que corresponde à faixa de 30 a 40% da DBO (KATO e PIVELI, 2005).

3.2.3.3 Tratamento Secundário

O tratamento de esgoto secundário ou convencional objetiva a remoção dos orgânicos biodegradáveis e de uma parcela dos sólidos em suspensão. A estabilização da matéria orgânica é realizada biologicamente, sendo convertida em compostos mais simples.

A base do processo biológico é o contato efetivo do material orgânico com os microrganismos, que convertem a matéria orgânica em gás carbônico, água e material celular. Esta decomposição biológica requer a presença de oxigênio, além do controle de algumas variáveis, como pH, temperatura, tempo de contato, concentração de nutrientes entre outros (VON SPERLING, 1999).

Os processos biológicos empregados no tratamento de esgoto podem ser aeróbios, anaeróbios, anóxicos ou combinados entre si.

Os processos biológicos também podem ser classificados em função do tipo de reator, que pode ser de crescimento em suspensão na massa líquida ou de biomassa aderida. Nos reatores aeróbios, o próprio sistema de aeração mantém os sólidos biológicos em suspensão. Nos reatores de biomassa aderida, há introdução de material de enchimento (como areia, pedras ou plástico, dentre outros) que podem estar fixos ou móveis no reator. Este enchimento permite a aderência da biomassa, que cresce sob a forma de biofilme aderido ao meio inerte (PIVELI, 2000; VAN HAANDEL e MARAIS, 1999).

A classificação dos processos biológicos ocorre também em função da retenção ou não de biomassa. Nos processos em que a biomassa não é retida, o tempo de detenção hidráulica é equivalente à idade do lodo, que representa o tempo de permanência dos microrganismos no sistema. Desta forma, para que os microrganismos permaneçam durante um determinado período no reator, os esgotos deverão ser retidos pelo mesmo período, o que torna as dimensões do sistema elevadas (PIVELI, 2000; VAN HAANDEL e MARAIS, 1999). Nos reatores de crescimento em suspensão na massa

líquida, a retenção de biomassa é realizada através da recirculação do lodo sedimentado (VON SPERLING, 1996).

Já nos reatores de biomassa aderida, sejam de leito fixo ou móvel, a retenção de biomassa é realizada pela própria aderência dos microrganismos ao meio suporte, formando os biofilmes. Estes reatores são mais compactos quando comparados como os tanques dos sistemas que não retêm biomassa (PIVELI, 2000).

3.5.3.1 Principais Processos Biológicos Empregados no Tratamento Secundário de Esgotos Sanitários.

a. Lodos ativados

Segundo VAN HAANDEL e MARAIS (1999), no processo de lodos ativados convencional, os decantadores primários reduzem a quantidade de sólidos em suspensão e a carga orgânica afluenta ao tratamento biológico. Ocorre a introdução de ar no tanque através de aeradores de superfície ou difusores. Os sólidos biológicos crescem na forma de flocos e são mantidos em suspensão pelo equipamento de aeração. Não há meio suporte de biomassa.

Uma parcela do lodo separado nos decantadores secundários retorna para o tanque de aeração, enquanto o excesso de lodo é descartado (JORDÃO E PESSÔA, 2009; VON SPERLING, 1999). As principais etapas do sistema de lodos ativados convencional são:

- Tratamento preliminar;
- Decantadores primários;
- Tanques de aeração;
- Decantadores secundários.

O tempo de detenção do esgoto neste sistema é baixo, da ordem de 6 a 8 horas, reduzindo assim o volume do tanque (METCALF & EDDY, 2003).

O tempo de permanência dos sólidos no sistema é denominado idade do lodo. No processo convencional de lodos ativados, este valor oscila entre 4 e 10 dias. Segundo VON SPERLING (1999), este tempo de permanência dos sólidos garante uma elevada eficiência do processo, visto que a biomassa possui tempo suficiente para metabolizar a matéria orgânica. A figura 2 apresenta a configuração de um sistema de lodos ativados convencional.

Figura 2 - Diagrama do processo de lodos ativados convencional.

Fonte: PIVELI, 2007.

Existem algumas variações do sistema de lodos ativados, sendo que as principais são aeração prolongada e fluxo intermitente.

Na variação do processo de lodos ativados, conhecida por aeração prolongada, os decantadores primários não são incorporados ao processo. O tratamento biológico é dimensionado de forma a produzir um excesso de lodo mais mineralizado (PIVELI, 2007). As principais etapas do sistema de lodos ativados com aeração prolongada são:

- Tratamento preliminar;
- Tanques de aeração;
- Decantadores secundários.

Neste processo, a biomassa permanece no sistema por um período maior, da ordem de 20 a 30 dias. Para que este tempo seja atingido, é necessário que o volume do tanque de aeração seja maior, com detenção na ordem de 16 a 20 horas (METCALF & EDDY, 2003).

Há, portanto, menos matéria orgânica disponível por unidade de volume no tanque de aeração. Como consequência, as bactérias utilizam nos seus processos metabólicos a própria matéria orgânica componente de suas células (VON SPERLING, 1999). Esta matéria orgânica é convertida em gás carbônico e água, através da respiração.

Desta forma, a estabilização do lodo ocorre no próprio tanque de aeração, enquanto que no sistema de lodos ativados convencional, a estabilização ocorre separadamente, na etapa de tratamento do lodo. A figura 3, a seguir, apresenta a diagrama do processo de lodos ativados com aeração prolongada.

Figura 3 - Diagrama do processo de lodos ativados com aeração prolongada.

Fonte: PIVELI, 2007.

PIVELLI (2007) afirma que, em situações onde ocorrem grandes flutuações de população e, conseqüentemente, de carga orgânica, a variante com aeração prolongada pode operar sob o regime de bateladas sequenciais.

Neste processo, o tanque de aeração é alimentado durante alguns períodos previamente estabelecidos, e a sedimentação ocorre em tanques que não estejam sendo alimentados por esgotos, não sendo, portanto necessária a utilização de decantadores secundários (VON SPERLING, 1999). Um sistema de lodos ativados com aeração prolonga operando em bateladas, fica reduzido a:

- Tratamento preliminar
- Tanques de aeração e decantação

Todo o processo de tratamento ocorre no tanque aeração, visto que o sistema opera através de ciclos com durações bem definidas. A eliminação dos decantadores ocorre devido à permanência da massa biológica no tanque durante todo o processo de tratamento (PIVELI, 2007).

Os ciclos normais de tratamento são: enchimento (entrada do esgoto no tanque); reação (aeração e mistura da massa líquida contida no tanque); sedimentação (separação dos sólidos em suspensão do esgoto tratado); esvaziamento (retirada do esgoto tratado do reator) e repouso (ajuste de ciclos e remoção do lodo excedente). A figura 4 apresenta o diagrama do processo de lodos ativados com aeração prolongada em batelada.

Figura 4 - Diagrama do processo de lodos ativados com aeração prolongada em batelada.

Fonte: PIVELI, 2007

A combinação entre sistemas dos tipos biomassa líquida em suspensão (lodos ativados) e biomassa aderida (biofilme), recebe o nome de Bioreator de Membrana, MBR. O tanque de aeração do MBR utiliza todo seu volume para o crescimento da biomassa (aderida e suspensão) podendo não necessitar de recirculação do lodo ou até decantação secundária.

A maior concentração de biomassa no reator permite o aumento da decomposição da matéria orgânica carbonácea e da conversão de compostos nitrogenados, resultando em reatores biológicos com volume reduzido.

O MBR utiliza suportes plásticos, também denominados de biomedias, utilizados para maximizar a área superficial disponível para crescimento de biofilme ativo nos reatores. O material usual das biomedias é polietileno ou polipropileno. A figura 5 apresenta alguns tipos de biomedias.

Figura 5 - Exemplos de biomedina utilizada nos MBR.

Fonte: VEOLIA, 2011.

b. Lagoas de Estabilização e variações

As lagoas de estabilização são unidades construídas com a finalidade de tratar esgotos sanitários. Dentre os sistemas de estabilização, o processo de lagoa facultativa é o mais simples, dependendo de fenômenos naturais (JORDÃO E PESSÔA, 2009). Por esta razão, a estabilização da matéria orgânica se processa numa taxa lenta, sendo que o tempo de detenção do esgoto na lagoa é superior a 20 dias, resultando numa lagoa de grandes dimensões.

Este sistema é composto das seguintes etapas:

- Tratamento preliminar;
- Lagoas facultativa

A matéria orgânica em suspensão tende a sedimentar, formando o lodo de fundo. Este lodo sofre processo de decomposição por organismos anaeróbios. A fração não inerte permanece no fundo da lagoa (PIVELI, 2007).

Já a decomposição da matéria orgânica dissolvida ocorre através da atividade das bactérias facultativas. Estas bactérias utilizam a matéria orgânica como fonte de energia, alcançada através da respiração aeróbia

(VON SPERLING, 1999). A presença de oxigênio é suprida através fotossíntese realizada pelas algas, viabilizada entre a simbiose entre algas e bactérias, equilibrando assim o processo.

Uma alternativa a este processo é a lagoa anaeróbia seguida por uma lagoa facultativa, processo que é também denominado de sistema australiano. Este sistema é composto das seguintes etapas:

- Tratamento preliminar;
- Lagoa anaeróbia;
- Lagoas facultativas.

As bactérias anaeróbias têm uma taxa metabólica e de reprodução mais lenta do que as bactérias aeróbias facultativas. Desta forma, no tempo de detenção de 3 a 5 dias na lagoa aeróbia, a decomposição da matéria orgânica é parcial, em torno de 50 a 60% de remoção de DBO (VON SPERLING, 1999; METCALF & EDDY, 2003).

Apesar de insuficiente, este percentual de remoção alivia a carga de DBO que é enviada às lagoas facultativas, reduzindo assim sua dimensão. A economia de área é na ordem de 1/3 quando comparada apenas ao sistema de lagoas facultativas. A figura 6 apresenta o diagrama do sistema australiano.

Figura 6 - Diagrama do processo australiano.

Fonte: PIVELI, 2007.

Quando o foco do tratamento é um sistema predominantemente aeróbio com dimensões reduzidas, pode-se utilizar as lagoas aeradas facultativas (PIVELI, 2007). As principais unidades deste sistema são:

- Tratamento preliminar;
- Lagoas aeradas mecanicamente.

A principal diferença em relação à lagoa facultativa tradicional é quanto à forma de suprir oxigênio. Enquanto na lagoa facultativa a principal fonte de oxigênio é a fotossíntese das algas, nas lagoas aeradas facultativas os aeradores mecânicos suprem o meio com oxigênio (VON SPERLING, 1999). O nível de energia fornecido ao sistema pelos aeradores é suficiente para a oxigenação, não sendo capaz, porém, de manter os sólidos em suspensão na massa líquida. Os sólidos sedimentam no fundo da lagoa, onde são decompostos por bactérias anaeróbicas.

Uma forma de reduzir ainda mais a área ocupada pelas lagoas é através do aumento do nível de aeração, formando uma turbulência que mantém os sólidos suspensos no meio líquido (PIVELI, 2007). Este sistema recebe o nome de lagoas aeradas de mistura completa e é composto pelas seguintes unidades:

- Tratamento preliminar;
- Lagoas aeradas mecanicamente de mistura completa;
- Lagoa de decantação.

Em decorrência da maior concentração de bactérias no meio líquido, a eficiência do sistema é elevada e o volume da lagoa reduzido.

A biomassa em suspensão sai juntamente com o efluente tratado, sendo necessário, portanto, uma unidade de tratamento a jusante para promover a separação. Esta unidade recebe o nome de lagoa de decantação. Nela, os sólidos digeridos acumulam-se no fundo, onde são armazenados por

períodos de até 1 ano, para então serem removidos (VON SPERLING, 1999). A figura 7 apresenta o diagrama do processo descrito.

Figura 7 - Diagrama do processo de lagoa aerada seguida de lagoa de decantação.

Fonte: PIVELI, 2007.

c. Filtros biológicos

PIVELLI (2007) define o sistema de tratamento por filtro biológico aeróbio semelhante ao sistema de lodos ativados, porém com a substituição dos tanques de aeração pelos filtros biológicos. Assim, um sistema de tratamento de esgotos por filtros biológicos aeróbios é composto das seguintes unidades:

- Tratamento preliminar;
- Decantadores primários;
- Filtros biológicos aeróbios;
- Decantadores secundários.

O filtro biológico compreende, basicamente, um leito de material grosseiro sobre o qual os esgotos são aplicados na forma de jatos ou gotas. Após a aplicação, os esgotos percolam para os drenos de fundo. Esta percolção permite o crescimento bacteriano na superfície do material suporte,

formando uma película fixa, biofilme (VON SPERLING, 1999). Ao passar sobre o biofilme, o esgoto faz com que as bactérias entrem em contato com a matéria orgânica, promovendo a sua mineralização. A figura 8 apresenta este sistema.

Figura 8 - Diagrama do processo de filtros biológicos.

Fonte: PIVELI, 2007.

À medida que a biomassa cresce na superfície do material de enchimento, a velocidade de escoamento aumenta. Ao atingir um determinado valor, esta velocidade causa uma tensão de cisalhamento, que remove o material aderido. Este lodo segue para os decantadores secundários, onde é removido (PIVELI, 2007).

Nos sistemas de filtros biológicos de baixa carga, a quantidade de DBO aplicada é menor, reduzindo a disponibilidade de alimentos, que resulta numa estabilização parcial do lodo.

Já os filtros biológicos de alta carga são similares ao de baixa carga. A principal diferença é que o lodo não é estabilizado no filtro. Outra diferença é a existência de recirculação do efluente. Esta recirculação tem como objetivo principal manter a vazão constante, equilibrar a carga afluenta e aumentar a

concentração das bactérias e o contato das mesmas com a matéria orgânica (VON SPERLING, 1999).

d. Tratamento anaeróbio

O tratamento de esgotos sanitários também utiliza sistemas que incluem uma etapa de tratamento com um processo anaeróbio. O reator mais aplicado no Brasil é o reator conhecido por UASB (*upflow anaerobic sludge blanket*). Este sistema é composto por:

- Tratamento preliminar;
- Reator UASB.

Nestes reatores, a biomassa cresce dispersa no meio. Sua concentração é elevada, reduzindo assim o seu volume. O lodo gerado é estabilizado no próprio reator.

Como resultado da atividade anaeróbia, formam-se gases. Estes são coletados na superfície do reator e podem ser aproveitados na geração de energia (VON SPERLING, 1999).

Existem também sistemas mistos de tratamento de esgoto, que são constituídos de tratamento preliminar, reatores UASB e uma unidade complementar de tratamento constituída por um dos seguintes processos alternativos (PIVELI, 2007):

- Lodos ativados;
- Lagoas aeradas;
- Lagoas de estabilização.

3.2.4 Tratamento Terciário

O tratamento terciário remove os nutrientes e compostos tóxicos (que não são removidos no tratamento convencional), além de complementar a remoção de sólidos em suspensão e orgânicos biodegradáveis.

Inclui etapas específicas e diversas, de acordo com o grau de depuração que se deseja alcançar, caracterizando tratamentos para situações especiais, com o objetivo de completar o tratamento secundário, sempre que as condições locais exigirem um grau de depuração elevado (TRATAMENTO DE ÁGUA, 2012).

Os principais processos de tratamento de esgotos a nível terciário são:

- Remoção de sólidos dissolvidos:
 - osmose reversa;
 - troca iônica;
 - eletrodialise.
- Remoção de sólidos em suspensão:
 - macrofiltração;
 - microfiltração;
 - ultrafiltração;
 - nonofiltração.
- Remoção de compostos orgânicos:
 - ozonização;
 - carvão ativado.
- Desinfecção:
 - cloro; ozônio; dióxido de clor (ClO_2); permanganato de potássio; cloramidas; radiação ultravioleta entre outros.

3.3. GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS

PAGANINI (2007) relata que os processos destinados à preservação e à revitalização de um corpo d'água envolvem ações legais, ações de gerenciamento e controle ambiental, além de ferramentas de monitoramento de qualidade das águas e da aplicação de ações punitivas.

A Política Nacional de Recursos Hídricos, implementada através da Lei Federal nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, tem em um de seus objetivos assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de águas, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos. Esta política institui, no Art. 5º, os instrumentos de gestão de recursos hídricos, que são (BRASIL, 1997):

- Os planos de recursos hídricos;
- O enquadramento dos corpos de água em classes, segundo os usos preponderantes da água;
- A outorga dos direitos de uso de recursos hídricos;
- A cobrança pelo uso de recursos hídricos;
- O sistema de informações sobre recursos hídricos.

3.3.1 Plano de Recursos Hídricos

Os planos de bacias e os planos diretores de recursos hídricos, estaduais e nacional, são instrumentos de planejamento voltados à ordenação dos usos destes recursos. Eles são elaborados por bacia hidrográfica, por Estado e para o País.

A Resolução nº 17, de 29 de maio de 2001, do Conselho Nacional de Recursos Hídricos, CNRH, estabelece que os planos devam apresentar

metas progressivas e indicar soluções de curto, médio e longo prazos, compatíveis com seus programas e projetos (BRASIL, 2001).

Os planos de recursos hídricos devem apresentar o seguinte conteúdo mínimo (BRASIL, 1997):

- diagnóstico da situação atual dos recursos hídricos;
- análise da evolução do crescimento demográfico, da evolução de atividades produtivas e das modificações dos padrões de ocupação do solo;
- balanço entre disponibilidades e demandas futuras dos recursos hídricos, em quantidade e qualidade, com identificação de conflitos potenciais;
- metas de racionalização de uso, aumento da quantidade e melhoria da qualidade dos recursos hídricos disponíveis;
- medidas a serem tomadas, programas a serem desenvolvidos e projetos a serem implantados, para o atendimento das metas previstas;
- prioridades para outorga de direitos de uso de recursos hídricos;
- diretrizes e critérios para a cobrança pelo uso dos recursos hídricos;
- propostas para a criação de áreas sujeitas à restrição de uso, com vistas à proteção dos recursos hídricos.

Algumas bacias brasileiras já contam com seus planos de bacia, a exemplo a bacia do rio Paraíba do Sul.

3.3.2 Enquadramento dos Corpos d'Água

O enquadramento de corpos d'água estabelece o nível de qualidade a serem alcançado ou mantido ao longo do tempo. Mais do que uma simples classificação, o enquadramento deve ser visto como um instrumento de

planejamento, pois deve tomar como base os níveis de qualidade que deveriam possuir ou ser mantidos para atender às necessidades estabelecidas pela sociedade e não apenas a condição atual do corpo d'água em questão (ANA, 2011).

O enquadramento dos corpos d'água é um processo de planejamento do uso da água e do zoneamento de atividades, juntamente com ações para o controle da poluição.

No Brasil, o enquadramento de corpos de água em classes, segundo os usos preponderantes foi inicialmente instituídos pela Portaria MINTER no GM 0013 de 1976, que, em 1986, foi substituída pela Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente, CONAMA n.º 20. Esta resolução foi revogada e substituída pela Resolução CONAMA n.º 357, de 17 de março de 2005 (BRASIL, 1986; BRASIL, 2005) e complementada pela resolução CONAMA n.º 430/2011.

O enquadramento é, portanto, um instrumento de planejamento importante para garantir à água, um nível de qualidade que assegure seus usos preponderantes, além de reduzir os custos de combate à poluição das águas, mediante a adoção de ações preventivas permanentes (ANA, 2011).

O enquadramento é referência para os outros instrumentos de gestão de recursos hídricos (outorga e cobrança) e instrumentos de gestão ambiental (licenciamento e monitoramento).

3.3.2.1 Resolução CONAMA n.º 357/2005

A resolução CONAMA n.º 357/2005 estabeleceu um sistema de classificação das águas e enquadramento dos corpos hídricos relativos às águas doces, salobras e salinas. Esta resolução classificou as águas doces do território, segundo seus usos preponderantes, conforme é descrito no quadro 2.

Quadro 2 - Classificação das águas doces, conforme a resolução CONAMA nº 357/2005.

Classe	Destino das águas
Classe Especial	a) ao abastecimento para consumo humano, com desinfecção; b) à preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas; c) à preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral.
Classe 1	a) ao abastecimento para consumo humano após tratamento simplificado; b) à proteção das comunidades aquáticas; c) à recreação de contato primário (natação, esqui aquático e mergulho); d) à irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película; e) à criação natural e/ou intensiva (aquicultura) de espécies destinadas à alimentação humana.
Classe 2	a) ao abastecimento para consumo humano após tratamento convencional; b) à proteção das comunidades aquáticas; continua c) à recreação de contato primário (natação, esqui aquático e mergulho); d) à irrigação de hortaliças e de plantas frutíferas; e) à aquicultura e à atividade de pesca
Classe 3	a) ao abastecimento para consumo humano após tratamento convencional; b) à irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras; c) à pesca amadora; d) à recreação de contato secundário; e) à dessedentação de animais
Classe 4	a) à navegação; b) à harmonia paisagística

Fonte: BRASIL, 2005.

Para cada uma das classes, a resolução estabeleceu limites de alguns parâmetros, com base no uso preponderante das águas.

3.3.3 Outorga de Uso

A outorga de direito de uso ou interferência nos recursos hídricos é um dos instrumentos nos quais se baseia o sistema nacional de gestão dos recursos hídricos instituído pela Lei nº 9.433/1997 (BRASIL, 1997).

Este instrumento é uma autorização concedida pelo poder público, através de seu órgão responsável, aos usuários públicos ou privados, e tem como

objetivos garantir a qualidade e a quantidade dos recursos hídricos e o efetivo exercício do direito de acesso à água (RAMOS, 2007).

O poder público outorgante (União, Estados ou Distrito Federal) faculta ao outorgado, através de um ato administrativo, o uso de recurso hídrico, por prazo determinado, nos termos e nas condições expressas no respectivo ato.

O instrumento da outorga é aplicado, portanto para regularizar o uso da água, assegurando ao usuário o efetivo exercício do direito de acesso à água, bem como para realizar o controle quantitativo e qualitativo desse recurso (RAMOS, 2007).

A Lei Federal nº 9.433/1997, estabelece como sujeitos à outorga os seguintes usos da água (BRASIL, 1997):

- derivação ou captação de água para consumo final ou insumo de produção;
- extração de água de aquífero subterrâneo para consumo final ou insumo de produção;
- lançamento em corpo de água de esgotos e resíduos líquidos ou gasosos;
- aproveitamento dos potenciais hidrelétricos;
- outros usos que alterem o regime, a quantidade ou a qualidade da água.

A mesma lei estabelece que a emissão de outorga esteja condicionada às prioridades de uso estabelecidas nos Planos de Recursos Hídricos e ao enquadramento qualitativo dos corpos de água (BRASIL, 1997).

3.3.4 Cobrança pelo Uso das Águas

A definição de bem econômico está baseada nos princípios de escassez de um produto. Neste contexto, a utilização de água para a satisfação das necessidades resulta em custos.

Reconhecer a água como um bem econômico e dar ao usuário uma indicação de seu valor real é um dos objetivos da cobrança pelo uso da água. Além disso, a cobrança deve incentivar a racionalização de seu uso e obter recursos para o financiamento dos programas e parte das intervenções do plano de recursos hídricos.

A legislação e a regulamentação da cobrança da água no Brasil tiveram início no primeiro Código das Águas, de 1934, quando se formalizou o conceito de poluidor-pagador. A Política Nacional de Recursos Hídricos, instituída pela Lei nº 9.433/97 estendeu o conceito ao caso do usuário-pagador, montando o cenário para cobrança pelo uso da água (AGEVAP, 2010).

A Lei Federal nº 9.984/00, dentre suas ações, criou a Agência Nacional das Águas, ANA, determinando assim o arcabouço institucional para a implementação do sistema de cobrança pelo uso das águas nos rios de domínio da União (BRASIL, 2000).

As experiências de cobrança pelo uso da água no Brasil são ainda bastante restritas. A primeira bacia federal onde se iniciou a cobrança foi a Bacia do Rio Paraíba do Sul, em 2003, limitada, porém aos rios de domínio da União. Segundo a Lei Federal nº 10.881, de 9 de junho de 2004, compete à ANA operacionalizar a cobrança nos rios de domínio federal, além de repassar o valor integralmente à agência de águas da bacia. Esta agência, por sua vez, deve se responsabilizar por atingir as metas previstas no contrato de gestão assinado com a ANA (BRASIL, 2004).

A Resolução nº19 do CNRH, datada em 14 de março de 2002, aprovou a cobrança pelo uso das águas de domínio da União na bacia do rio Paraíba do Sul. Em dezembro 2005, através da Resolução CNRH nº 52, foi aprovada

a cobrança para as águas de domínio da União da Bacia do Piracicaba, Capivari e Jundiaí (BRASIL, 2005).

Este instrumento de gestão refere-se ao estabelecimento de um valor para a água, possibilitando que cada usuário avalie melhor o uso que faz dela. É fundamentalmente um instrumento de conscientização para a melhor gestão da água, resultante de um processo de negociação entre os diversos agentes e setores sociais de determinada bacia hidrográfica, no qual serão estabelecidos valores para os diversos usos e, conseqüentemente, implicará na arrecadação de recursos para financiamento de ações consideradas prioritárias para a melhoria dos aspectos quantitativos e qualitativos dos recursos hídricos, conforme estabelecido pelo Plano de Bacias, aprovado pelo respectivo Comitê de Bacias (SIGHRH, 2006).

3.3.4.1 Cobrança pelo Uso das Águas: Caso do Rio Paraíba do Sul

A Resolução nº19 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos, CNRH, instituída em 14 de março de 2002, aprovou a cobrança pelo uso dos recursos hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul (ANA, 2002).

Iniciada em março de 2003, a cobrança pelo uso da água bruta na bacia do rio Paraíba do Sul foi pioneira no cenário nacional por incidir, pela primeira vez, sobre águas de domínio da União e por possibilitar o início efetivo da gestão de uma bacia de rio federal (AGEVAP, 2010).

A implantação da cobrança pelo uso da água na bacia do rio Paraíba do Sul é complexa devido às peculiaridades jurídico-institucionais relativas aos recursos hídricos no Brasil, notadamente tendo em vista que existem águas de domínio da União e águas de domínio dos estados.

O arranjo global de implementação da cobrança na bacia do rio Paraíba do Sul envolve, diretamente, os seguintes órgãos e organismos (AGEVAP, 2010):

- ANA, Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) e Comitê de Integração da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul, CEIVAP, em estreita articulação com os outros comitês de bacia e com os estados para as águas de domínio da União;
- Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE), Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CERH-SP) e "Comitê paulista" (CBH-PS), para as águas de domínio paulista; no caso das águas mineiras, o Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM), o Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CERH-MG) e os Comitês das Bacias dos Afluentes Mineiros dos Rios Pomba e Muriaé e dos Rios Preto e Paraibuna.
- Para as águas de domínio do Estado do Rio de Janeiro, a Superintendência Estadual de Rios e Lagoas (SERLA), Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CERH-RJ), Comitê da Bacia do Rio Piabanha e outros comitês fluminenses que estão sendo instituídos.

A primeira formulação da cobrança teve início no ano de 2003 e estava concentrada nos setores industrial e de saneamento. No ano de 2004, foram aprovados os mecanismos de cobrança para o setor de mineração de areia em leito de rio e, no ano de 2005, aprovou-se o valor de cobrança pelo uso das águas transportas para a Bacia do Rio Guandu (AGEVAP, 2010).

Atualmente são cinco os segmentos participantes: a indústria, o saneamento, a agricultura (irrigantes), a geração hidrelétrica e a mineração. A cobrança aplica-se à captação, ao consumo e ao lançamento dos recursos hídricos utilizados, de acordo com os usos declarados e consolidados e com os mecanismos previstos nas deliberações do Comitê de Integração da Bacia Hidrográfica do rio Paraíba do Sul, CEIVAP. A tabela 7, a seguir, apresenta os valores de cobrança, que entraram em vigor a partir de 01 de janeiro de 2007.

Tabela 7 - Valores de cobrança pelo uso das águas na bacia do rio Paraíba do Sul, no ano de 2010.

Tipo de uso	Unidade	Valor (R\$)
Captação de água bruta	R\$/m ³	0,01
Consumo de água bruta	R\$/m ³	0,02
Lançamento de carga orgânica (DBO)	R\$/kg	0,07

Fonte: AGEVAP, 2010.

A tabela 8 apresenta o valor arrecadado, por setor, em reais, nos anos de 2003, 2006, 2009 e 2011 (ANA, 2012).

Tabela 8 - Valores arrecadados com a cobrança pelo uso das águas do rio Paraíba do Sul, em reais, nos anos de 2003, 2006, 2009 e 2011.

Sector de arrecadação	2003	2006	2009	2011
Indústria	R\$ 2.767.648,70	R\$ 1.595.640,56	R\$ 2.606.003,82	R\$ 18.491.617,09
Irrigação	R\$ 3.842,55	R\$ 1.216,06	R\$ 19.771,70	R\$ 14.964,56
Criação animal	...	R\$ 79,24	R\$ 75,16	R\$ 24,3
Aquicultura	...	...	R\$ 40.188,75	R\$ 1.179,01
Mineração	...	R\$ 19.368,47	...	R\$ 48.818,16
Outros Usos	R\$ 2.758,02	R\$ 13.477,11	R\$ 104.529,46	R\$ 71.714,55
Saneamento	R\$ 3.129.788,89	R\$ 5.099.362,24	R\$ 7.121.390,73	R\$ 6.937.103,82

Fonte: ANA, 2012

Os recursos financeiros da cobrança são aplicados na região onde foram arrecadados com base nos programas, projetos e obras previstos no Plano de Bacias aprovado pelo CEIVAP. O plano consiste em um programa de ações e investimentos para recuperação e preservação dos recursos

hídricos. A evolução da captação das águas do Paraíba do Sul após a implantação do sistema de cobrança está apresentada na figura 9.

Figura 9 - Evolução da captação de água do rio Paraíba do Sul após a implantação da cobrança pelo uso das águas.

Fonte: AGEVAP, 2010.

3.3.5 Sistema de Informações de Recursos Hídricos

Um sistema de informações de recursos hídricos agrupa dados relacionados à disponibilidade hídrica e aos usos da água com dados físicos e socioeconômicos, de modo a possibilitar o conhecimento integrado das inúmeras variáveis que limitam o uso da água na bacia (RAMOS, 2007).

Os princípios básicos para o funcionamento do Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos são:

- descentralização da obtenção e produção de dados e informações;
- coordenação unificada do sistema;
- acesso aos dados e informações garantido a toda sociedade.

3.3.6 A Gestão de Recursos Hídricos no Estado de São Paulo

AZEVEDO e col (2007), afirmam que na Constituição do Estado de São Paulo, a temática dos recursos hídricos conduz para a gestão descentralizada, participativa e integrada em relação às peculiaridades das bacias hidrográficas.

A partir da Lei Estadual nº 7.663, promulgada em 1991, ficou instituída a Política de Recursos Hídricos (SÃO PAULO, 1991). A Lei Estadual nº 9.034, do ano de 1994, aprovou o Plano Estadual de Recursos Hídricos e propôs a divisão do Estado de São Paulo em 22 Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos, UGRHI (SÃO PAULO, 1994). Atualmente o Estado conta com 21 Comitês de Bacias Hidrográficas, CBHs, legalmente constituídos, conforme apresentado na figura 10.

Figura 10 - Unidades de gerenciamento de recursos hídricos no estado de São Paulo.

Fonte: AZEVEDO e col. (2007).

A Lei Estadual nº 9.034/94 também classifica as UGRHI's de acordo com sua vocação econômica, que são: agropecuária, conservação, industrial. e em industrialização. Esta classificação está apresentada na figura 11.

Figura 11 - Classificação das UGRHI do estado de São Paulo, de acordo com a sua vocação.

Fonte: SÃO PAULO, 2004.

Nas unidades onde os processos de industrialização já se encontram consolidados, as denominadas UGRHs industriais, estão concentradas as três maiores regiões metropolitanas do Brasil, com elevada concentração industrial e que, juntas, já somam trinta milhões de habitantes (CETESB, 2009).

As UGRHs classificadas como agropecuárias, quando somadas suas áreas, são as maiores em termos de extensão territorial, ocupando uma área equivalente a 42% do Estado.

3.4 MONITORAMENTO DAS ÁGUAS

O estabelecimento de limites e parâmetros é de grande importância para a gestão e preservação da qualidade das águas. A efetivação de seus resultados, todavia, depende da realização dos trabalhos de monitoramento ao longo do tempo (QUEVEDO, 2009).

O monitoramento da qualidade das águas é um processo essencial à implementação dos instrumentos de gestão, uma vez que permite a obtenção de informações estratégicas, acompanhamento das medidas efetivadas, atualização dos bancos de dados e o direcionamento das decisões (MAGALHÃES, 2000). Este mesmo autor ressalta que uma sólida base de dados é imprescindível aos instrumentos de gestão, sob pena de tentar-se gerenciar o que não se conhece.

A definição dos objetivos de um programa de monitoramento relaciona-se à avaliação da qualidade das águas e sua adequação para os múltiplos usos requeridos e propostos e também para a indicação da necessidade da implementação de ações relativas à identificação de problemas específicos. Desta forma, os programas de monitoramento podem ser classificados, de acordo com o uso que se pretende dar aos dados gerados, como de planejamento ou de controle (PORTO, 1991).

STRASKRABA E TUNDISI (2000) relatam que o monitoramento da qualidade das águas permite o equacionamento de interações complexas envolvendo problemas de natureza biogeofísica, social e econômica.

O programa de monitoramento propiciará o conhecimento e a identificação de relações causa-efeito entre os usos e as atividades humanas e seus impactos sobre a qualidade das águas, tornando-se um dos componentes mais importantes para uma gestão ambiental integrada (MAGALHAES, 2000).

O monitoramento de parâmetros ambientais é, portanto, uma importante ferramenta para a gestão ambiental sob vários aspectos, visto que permite localizar as fontes poluidoras e identificar os fatores de riscos, de forma a auxiliar na adoção de medidas preventivas e corretivas (SETTI e col., 2000).

3.4.1 A Rede de Monitoramento da CETESB no Estado de São Paulo

A Rede de Monitoramento da Qualidade das Águas Interiores do Estado de São Paulo foi instituída em 1974, de acordo com a Lei Estadual nº118, de 29 de junho de 1973, sendo um de seus objetivos a avaliação da evolução da qualidade das águas interiores dos rios e reservatórios de São Paulo (PAGANINI, 2007; CETESB, 2009).

As informações resultantes do monitoramento possibilita o conhecimento das condições reinantes nos principais rios e reservatórios situados nas 22 Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHs), em que se divide o Estado de São Paulo de acordo com a Lei Estadual nº 9.034 de 27 de dezembro de 1994 (SÃO PAULO, 1994).

Os principais objetivos da rede de monitoramento das águas superficiais são (CETESB, 2010):

- Avaliar a evolução da qualidade das águas superficiais do Estado;
- Propiciar o levantamento das áreas prioritárias para o controle da poluição das águas, identificando trechos de maior degradação das águas de rios e estuários. Esta informação permite a adoção de ações preventivas e corretivas, a exemplo da construção de estações de tratamento de esgotos (ETEs);
- Subsidiar o diagnóstico e o 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 múltiplos usos;
- Dar subsídio técnico para a execução dos Planos de Bacia e Relatórios de Situação dos Recursos Hídricos, para a cobrança do uso da água e para o estudo do enquadramento dos corpos hídricos;
- Fornecer subsídios para a implementação da Política Nacional de Saneamento Básico (Lei nº 11.445/2007).

Em 1974, ano de início das operações da rede de monitoramento de águas doces superficiais, existiam 47 pontos de amostragem. Este número aumentou consecutivamente. No ano de 2010, a rede contava com 344 pontos de amostragem. A malha de pontos também passou por diversas adaptações, a exemplo a adequação das frequências de coletas, a inclusão de novas variáveis de qualidade e a avaliação do compartimento sedimentos (CETESB, 2010).

A rede de balneabilidade de rios e reservatórios, implantada no ano de 1994, através da medição das variáveis biológicas, informa as condições da água para a recreação de contato primário (banho) à população.

O controle das fontes poluidoras domésticas e industriais, bem como o controle da qualidade das águas destinada ao abastecimento público é avaliado em 13 pontos da Rede de Monitoramento Automática, que teve início no ano de 1998.

No ano de 2002, a CETESB incluiu no seu monitoramento a rede de monitoramento de sedimentos, com o objetivo de complementar o diagnóstico da qualidade das águas. Atualmente, a rede de monitoramento das águas doces é formada por 4 redes que permitem um melhor diagnóstico da qualidade das águas, visando seus múltiplos usos, conforme detalhado no quadro 3.

Quadro 3 - Informações sobre a rede de monitoramento da CETESB, no estado de São Paulo.

Rede de monitoramento	Início da Operação	Número de pontos	Frequência da amostragem	Variáveis
Rede básica	1974	344	Semestral/Bimestral	Físicas, Químicas e Biológicas
Rede de sedimento	2002	21	Anual	Físicas, Químicas e Biológicas
Balneabilidade de rios e reservatórios	1994	30	Semanal/ Mensal	Biológicas
Monitoramento automático	1998	13	Horária	Físicas, Químicas

Fonte: CETESB, 2010.

Os resultados obtidos com este trabalho são publicados anualmente no Relatório de Qualidade das Águas Interiores. O quadro 4 apresenta o conjunto de parâmetros físicos, químicos e microbiológicos. No ano de 2003, foram incluídos os índices de comunidade biológica e contagem de cianobactérias.

Quadro 4 - Parâmetros monitorados da qualidade das águas na rede da CETESB.

Temperatura da água	Resíduo total	Bário
Temperatura do ar	Resíduo não filtrável	Cadmo
pH	Fenóis	Chumbo
DBO	Cloreto	Cobre
DQO	Condutividade	Cromo total
Oxigênio Dissolvido	Turbidez	Níquel
Nitrogênio total	Cor	Mercúrio
Nitrogênio amoniacal	Surfactantes	Zinco
Nitrogênio Kjeldhal	Coliformes totais	Fósforo total
Nitrito	Coliformes termotolerantes	Ortofosfato solúvel
Nitrato	Ferro total	Manganês

Fonte: CETESB, 2010.

3.5 VARIÁVEIS DE QUALIDADE DAS ÁGUAS

A poluição das águas tem como origem diversas fontes, onde se destacam:

- Cargas pontuais de origem doméstica e industrial;
- Cargas difusas de origem urbana e agrícola.

A grande quantidade e as diferentes formas de aporte de poluentes que podem estar presentes nas águas superficiais tornam inexecutável a análise sistemática de todas essas substâncias.

BUENO e col. (2005) ressaltam que os processos que controlam a qualidade das águas, fazem parte de um complexo equilíbrio. Qualquer desequilíbrio na bacia hidrográfica pode resultar em alterações significativas. As características físicas e químicas da água funcionam como uma ferramenta de controle e monitoramento das atividades desenvolvidas em uma bacia hidrográfica.

A qualidade das águas pode ser expressa através de parâmetros, que traduzem as suas principais características físicas, químicas e biológicas. Estes parâmetros podem ser turbidez, cor, pH, condutividade elétrica, oxigênio dissolvido (OD), sólidos suspensos, demanda bioquímica por oxigênio (DBO), demanda química de oxigênio (DQO), entre outros (CETESB, 2009).

Desta forma, a qualidade da água pode ser entendida como um reflexo do efeito combinado dos processos que ocorrem ao longo dos cursos d'água.

3.5.1 Variáveis Físicas

3.5.1.1 Cor

A definição de cor em uma amostra de água está associada com o grau de redução de intensidade que a luz sofre ao atravessá-la devido à presença de sólidos dissolvidos, com destaque ao material em estado coloidal orgânico e inorgânico.

Os esgotos sanitários se caracterizam por apresentarem predominantemente matéria orgânica em estado coloidal (CETESB, 2008). Efluentes industriais também apresentam matéria orgânica coloidal, a exemplo dos que contêm taninos (efluentes de curtumes, por exemplo), anilinas (efluentes de indústrias têxteis, indústrias de pigmentos), lignina e

celulose (com destaque aos efluentes de indústrias de celulose e papel, da madeira).

Os compostos inorgânicos capazes de provocar os efeitos de matéria em estado coloidal são, principalmente, os óxidos de ferro e manganês, presentes em diversos tipos de solo. Outros metais presentes em efluentes industriais conferem-lhes cor, mas, em geral, íons dissolvidos apresentam baixa interferência na passagem da luz (KATO e PIVELI, 2005).

O problema maior de cor na água é, em geral, o estético, provocando repulsão na população por ela abastecida. O valor máximo permitido para a cor aparente na água potável é de 15 unidades Hazen, determinado pela Portaria nº 2.914, de 2011, do Ministério da Saúde (BRASIL, 2011).

Nas águas naturais, a cor está associada a problemas de estética, às dificuldades na penetração da luz e à presença de compostos recalcitrantes (de taxas de decomposição muito baixas) que, em geral, são tóxicos aos organismos aquáticos (KATO e PIVELI, 2005).

A Resolução nº 357 do Conselho Nacional de Meio Ambiente, CONAMA, de 2005, que dispõe sobre os níveis de qualidade das águas naturais do território brasileiro, a cor é um padrão de classificação de águas doces. Para águas classe 1, a cor verdadeira deve ser o nível de cor natural do corpo de água, em mg Pt/L. Nas águas de classes 2 e 3, o limite é de 75 mg Pt/L (BRASIL, 2005).

No entanto, a Resolução CONAMA nº 430/2011 não inclui a cor nos padrões de emissão de efluentes (BRASIL, 2011).

Os métodos tradicionais de remoção de cor das águas para abastecimento público são à base de coagulação e floculação. Nos esgotos, esta é uma etapa adicional do tratamento, via de regra físico-químico em nível terciário, com o emprego de coagulantes. Outros processos oxidativos podem ser aplicados, como por exemplo, o emprego da ozonização e a remoção da cor via radiação (METCALF e EDDY, 2003; KATO e PIVELI, 2005).

3.5.1.2 Turbidez

A turbidez de uma amostra de água é o grau de atenuação de intensidade que um feixe de luz sofre ao atravessá-la, devido à presença de sólidos em suspensão, tais como partículas inorgânicas (areia, silte, argila) e detritos orgânicos, tais como algas e bactérias, plâncton em geral.

A erosão das margens dos rios em estações chuvosas é um exemplo de fenômeno que resulta em aumento da turbidez das águas (CETESB, 2008). Os esgotos domésticos e diversos efluentes industriais também provocam aumento da turbidez das águas dos corpos d'água.

Nas águas naturais, a presença da turbidez provoca a redução de intensidade dos raios luminosos que penetram no corpo d'água, afetando as características do ecossistema presente, a exemplo da redução da fotossíntese de algas e vegetais aquáticos (KATO e PIVELI, 2005).

A turbidez é um parâmetro que indica a qualidade estética das águas para abastecimento público. O padrão de potabilidade da água exige turbidez de 5,0 UT (unidade de turbidez), conforme a Portaria nº 2.914 (BRASIL, 2011).

A resolução nº 357 do CONAMA, do ano de 2005, impõe limites de turbidez de 40 UNT para águas doces classe 1 e de 100 UNT para as classes 2 e 3 (BRASIL, 2005).

De acordo com a Resolução CONAMA nº 430/2011, a turbidez não é utilizada como um padrão de lançamento de esgoto. De acordo com VON SPERLING (1999), as medidas diretas dos valores de sólidos em suspensão e sólidos dissolvidos são mais adequadas.

3.5.1.3 Temperatura

Os corpos de água naturais apresentam variações sazonais e diárias, bem como estratificação vertical. A temperatura superficial é influenciada por diversos fatores, a exemplo da latitude, da altitude, da estação do ano, do período do dia, da taxa de fluxo e da profundidade (CETESB, 2008).

O aumento da temperatura provoca o aumento da velocidade das reações, principalmente as de natureza química e biológica (decomposição de compostos orgânicos). Todavia, a elevação da temperatura diminui a solubilidade de gases dissolvidos na água, em particular o oxigênio, base para a decomposição aeróbia. Estes dois fatores se superpõem, fazendo com que nos meses quentes de verão os níveis de oxigênio dissolvido nas águas poluídas sejam mínimos, provocando a mortandade de peixes e liberando odor (VON SPERLING, 1999).

A temperatura da água é normalmente superior à temperatura do ar, uma vez que o calor específico da água é bem maior do que o do ar. A elevação abrupta da temperatura em um corpo d'água geralmente é provocada por despejos industriais.

A Resolução nº 430/2011 do CONAMA determina a temperatura máxima de 40 °C para o lançamento de esgoto na rede coletora pública ou diretamente nas águas naturais. Nos lançamentos em águas naturais, esta resolução estabelece que não possa ocorrer variação superior a 3 °C com relação à temperatura de equilíbrio do corpo d'água.

3.5.1.4 Série de Sólidos

Em saneamento, sólidos nas águas correspondem a toda matéria que permanece como resíduo, após evaporação, secagem ou calcinação da

amostra a uma temperatura pré-estabelecida durante um tempo fixado (CETESB, 2008).

Os sólidos presentes nas águas são classificados em cinco frações, conforme seu tamanho e estado (suspensos e dissolvidos), pelas características químicas (fixos e voláteis) e pela sua decantabilidade (em suspensão sedimentáveis e não sedimentáveis). Esta classificação está indicada no quadro 5.

Quadro 5 - Classificação dos sólidos presentes na coluna d'água.

Fração de sólido	Definição
Sólidos totais	Resíduo que resta na cápsula após a evaporação em banho-maria de uma porção de amostra e sua posterior secagem em estufa a 103-105°C até peso constante.
Sólidos em suspensão	É a porção dos sólidos totais que fica retida em um filtro que propicia a retenção de partículas de diâmetro maior ou igual a 1,2 µm.
Sólidos Dissolvidos	É a porção dos sólidos totais que não fica retida em um filtro que propicia a retenção de partículas de diâmetro maior ou igual a 1,2 µm.
Sólidos Voláteis	É a porção dos sólidos (sólidos totais, suspensos ou dissolvidos) que se perde após a ignição ou calcinação da amostra a 550-600°C, durante uma hora para sólidos totais ou dissolvidos voláteis ou 15 minutos para sólidos em suspensão voláteis, em forno mufla. Representa uma estimativa da matéria orgânica nos sólidos.
Sólidos Fixos	É a porção dos sólidos (totais, suspensos ou dissolvidos) que resta após a ignição ou calcinação a 550-600°C após uma hora (para sólidos totais ou dissolvidos fixos) ou 15 minutos (para sólidos em suspensão fixos) em forno-mufla. Representa a matéria inorgânica ou mineral.
Sólidos Sedimentáveis	É a porção dos sólidos em suspensão que se sedimenta sob a ação da gravidade durante um período de uma hora, a partir de um litro de amostra mantida em repouso em um cone Imhoff.
Sólidos Não Sedimentáveis	É a porção dos sólidos em suspensão que não se sedimenta no cone Imhoff no período de uma hora.

Adaptado de VON SPERLING, 1999.

A determinação das frações de sólidos nas águas naturais e esgotos são fundamentais para o dimensionamento e controle das estações de tratamento.

No abastecimento público de água, a Portaria nº 2.914/2011 do Ministério da Saúde estabelece como padrão de potabilidade a concentração de 1.000 mg/L de sólidos totais dissolvidos (BRASIL, 2011).

A Resolução CONAMA nº 357/2005 estabelece o valor máximo de sólidos dissolvidos de 500 mg/L para as águas doces classe 1, 2 e 3 (BRASIL, 2005). Este critério também é válido para águas de irrigação, visto que o excesso de sólidos dissolvidos pode levar a salinização do solo (VON SPERLING, 1999).

A concentração de sólidos sedimentáveis nos efluentes finais descarregados pelas indústrias e sistemas públicos de tratamento é um parâmetro legislado.

A Resolução CONAMA nº 430/2011 estabelece como padrão de emissão de sólidos sedimentáveis a concentração de 1 mL/L, e ausência virtual no caso de lançamentos em lagos e lagoas cuja velocidade de circulação seja praticamente nula (BRASIL, 2011).

No Estado de São Paulo, o Decreto nº 8.468/76 determina o limite máximo de concentração de sólidos sedimentáveis em 1 mL/L para a descarga direta no corpo receptor e de 20 mL/L para a descarga no sistema público de esgotos provido de estação de tratamento (SÃO PAULO, 1978).

3.5.2 Variáveis Químicas

3.5.2.1 Oxigênio Dissolvido

O oxigênio se dissolve nas águas naturais proveniente da atmosfera, devido à diferença de pressão parcial. Esta taxa de introdução de oxigênio dissolvido em águas naturais através da superfície depende das características hidráulicas.

A taxa de reaeração superficial em uma cascata é maior do que a de um rio de velocidade normal, que por sua vez apresenta taxa superior à de uma represa, onde a velocidade normalmente é bastante baixa (CETESB, 2008). A fotossíntese das algas é outra fonte importante de oxigênio nas águas. Este fenômeno ocorre em maior extensão em águas poluídas (eutrofizadas), ou seja, nas águas onde a decomposição dos compostos orgânicos lançados levou à liberação de sais minerais no meio, especialmente os de nitrogênio e fósforo que compõem uma fonte de nutrientes para as algas (KATO e PIVELI, 2005).

A contribuição fotossintética de oxigênio só é expressiva após a decomposição de matéria orgânica através da simbiose entre algas e bactérias. A atividade dos protozoários é fundamental neste processo, visto que, além de decompositores, eles consomem as bactérias, clarificando as águas e permitindo a penetração de luz (CETESB, 2008).

Desta forma, águas poluídas são aquelas que apresentam baixa concentração de oxigênio dissolvido (devido ao seu consumo na decomposição de compostos orgânicos), enquanto que as águas limpas apresentam concentrações de oxigênio dissolvido elevadas, chegando até a um pouco abaixo da concentração de saturação (CETESB, 2008).

Nas águas naturais, o oxigênio também é indispensável para outros seres vivos, especialmente os peixes, já que a maioria das espécies não resistem a concentrações de oxigênio dissolvido inferiores a 4,0 mg/L.

O oxigênio dissolvido é o elemento principal no metabolismo dos microrganismos aeróbios presentes nas águas naturais ou e nos reatores biológicos das estações de tratamento de esgotos (VAN HAANDEL e MARAIS, 1999).

Nos modelos de autodepuração natural das águas, o balanço de oxigênio permite prever a concentração deste parâmetro em seus diversos pontos, possibilitando estimativa de eficiências necessárias na remoção de orgânicos biodegradáveis nas estações de tratamento de esgotos.

Para a qualificação da água potável, a concentração de oxigênio dissolvido não é um parâmetro exigido na Portaria nº 2.914/2011 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2011).

Na classificação das águas, a Resolução CONAMA nº 357/2005 estabelece a concentração de OD superior a 6 mg/L nos rios de classe 1, superior a 5 mg/L nos rios de classe 2 e as concentrações mínimas de 4 mg/L e 2 mg/L nos rios de classe 3 e 4 respectivamente (BRASIL, 2005).

3.5.2.2 Demanda Bioquímica de Oxigênio

Demanda Bioquímica de Oxigênio, DBO, de uma água é caracterizada como a quantidade de oxigênio necessária para oxidar a matéria orgânica por decomposição microbiana aeróbia para uma forma inorgânica estável.

Nas águas naturais a DBO representa o consumo potencial de oxigênio dissolvido que poderá ocorrer devido à estabilização dos compostos orgânicos biodegradáveis, o que poderá trazer os níveis de oxigênio nas águas abaixo dos exigidos pelos peixes, levando-os à morte (KATO e PIVELLI, 2005).

A DBO é determinada através da medição da quantidade de oxigênio consumido durante um determinado período de tempo, numa temperatura de incubação específica. No período de 5 dias, com temperatura de incubação de 20°C é referido como $DBO_{5,20}$ (CETESB, 2008).

A degradação bioquímica de compostos nas águas naturais ocorre através da respiração endógena. Nele, o processo metabólico dos microrganismos heterotróficos transforma os compostos orgânicos biodegradáveis em produtos finais mais estáveis, tais como água, gás carbônico, sulfatos, fosfatos, amônia, nitratos, entre outros (VAN HAANDEL & MARAIS, 1999). Nesse processo, o oxigênio da água é consumido enquanto a energia contida nas ligações químicas das moléculas decompostas é liberada.

Os microrganismos desempenham um importante papel no tratamento de esgotos, pois necessitam desta energia liberada, além dos nutrientes, para exercerem suas funções celulares, o que se denomina síntese celular. No caso da insuficiência da concentração de nutrientes no meio, os microrganismos passam a se alimentar do material das próprias células, até o rompimento da membrana celular (CETESB, 2008).

Os compostos para os quais os microrganismos são incapazes de produzir enzimas que possam romper suas ligações químicas são os resíduos não biodegradáveis ou recalcitrantes.

A principal fonte de matéria orgânica nas águas naturais nos dias de hoje é, na grande maioria, a descarga de esgotos sanitários e efluentes industriais.

No campo do tratamento de esgotos, a DBO é um parâmetro importante no controle da eficiência das estações, tanto de tratamentos biológicos aeróbios e anaeróbios, bem como físico-químicos (KATO e PIVELI, 2005).

Uma limitação da determinação da DBO é que a mesma indica apenas a fração biodegradável dos compostos orgânicos, uma vez que o processo é de natureza bioquímica. Este fato motivou o uso paralelo da demanda química de oxigênio, a DQO. A relação entre a DBO e a DQO de amostras de efluentes, principalmente os industriais, é bastante utilizada nas previsões das suas condições de biodegradabilidade.

A DBO é um parâmetro importante na classificação dos rios. Nas classes que correspondem às águas menos poluídas, exigem-se baixos valores máximos de DBO e elevados limites mínimos de oxigênio dissolvido. Desta forma, a legislação federal, com a Resolução nº 357/2005 do CONAMA, impôs os limites máximos de DBO de 3, 5 e 10 mg/L para as classe 1, 2 e 3 de água doce, respectivamente (BRASIL, 2005).

A Resolução CONAMA nº 430/2011 estabeleceu que para os efluentes oriundos do sistema de tratamento de esgoto sanitário, a $DBO_{5,20}$ máxima é de 120 mg/L, sendo que este limite só poderá ser ultrapassado no caso de efluente de sistema de tratamento com eficiência de remoção mínima de 60% de DBO, ou mediante estudo de autodepuração do corpo hídrico que

comprove atendimento às metas do enquadramento do corpo receptor (BRASIL, 2011).

Já para os efluentes de qualquer fonte poluidora, a Resolução CONAMA nº 430/2011 estabelece que estes somente poderão ser lançados diretamente no corpo receptor desde que ocorra a remoção mínima de 60% da DBO, sendo que este limite só poderá ser reduzido no caso de existência de estudo de autodepuração do corpo hídrico que comprove atendimento às metas do enquadramento do corpo receptor (BRASIL, 2011).

Algumas legislações Estaduais também determinam a concentração de DBO nos padrões de emissão de esgoto diretamente nos corpos d'água, A exemplo o Decreto Estadual nº 8.468/1978, do Estado de São Paulo, que determina a concentração máxima de DBO de esgotos diretamente nos corpos d'água de 60 mg/L ou uma eficiência global mínima do processo de tratamento na remoção de DBO₅ igual a 80% (SÃO PAULO, 1978).

3.5.2.3 Demanda Química de Oxigênio

É a quantidade de oxigênio necessária para oxidação da matéria orgânica de uma amostra por meio de um agente químico, como o dicromato de potássio (K₂Cr₂O₇). Neste processo, o carbono orgânico de um carboidrato, por exemplo, é convertido em gás carbônico e água (CETESB, 2009).

Enquanto a DBO está relacionada à estabilização bioquímica da matéria orgânica, a DQO representa a oxidação química. Como o poder de oxidação do dicromato é maior que o gerado pelos microrganismos, os resultados da DQO de uma amostra são superiores aos de DBO (PIVELI, 2007).

A DBO mede apenas a fração biodegradável. Quanto mais o valor da DBO se aproximar da DQO significa que mais biodegradável será o efluente, indicando maior facilidade para o tratamento biológico (PAGANINI, 2007). Valores muito elevados desta relação indicam grandes possibilidades de insucesso do tratamento biológico, uma vez que a fração biodegradável

torna-se pequena, além do efeito tóxico sobre os microrganismos exercido pela fração não biodegradável (PIVELLI, 2007).

O aumento da concentração de DQO num corpo d'água deve-se principalmente a despejos de origem industrial. A DQO é também um parâmetro indispensável nos estudos de caracterização de esgotos sanitários e de efluentes industriais.

Em termos de legislação, a DQO é um parâmetro secundário, uma vez que tanto a legislação federal quanto a do Estado de São Paulo não incluem este parâmetro nos limites de emissão de esgotos. A Resolução CONAMA nº 357/2005 também não inclui a DQO nos padrões de classificação das águas superficiais (BRASIL, 2005).

3.5.2.4 Série de Nitrogênio

No meio aquático, o nitrogênio pode ser encontrado nas seguintes formas: nitrogênio orgânico, nitrogênio amoniacal, nitrito e nitrato. As duas primeiras são formas reduzidas e as duas últimas, oxidadas. As etapas de degradação da poluição orgânica podem ser relacionadas com as formas de nitrogênio.

Nas zonas de autodepuração natural dos rios, distinguem-se as presenças de nitrogênio orgânico na zona de degradação, amoniacal na zona de decomposição ativa, nitrito na zona de recuperação e nitrato na zona de águas limpas (CETESB, 2008).

A atmosfera é uma fonte importante de nitrogênio nas águas superficiais, devido a mecanismos como a biofixação e a fixação química. Na primeira, bactérias e algas fixam o nitrogênio atmosférico em seus tecidos. Já na fixação química, a reação ocorre na presença de partículas contendo nitrogênio orgânico bem como para a dissolução de amônia e nitratos (KATO e PIVELI, 2005; CETESB, 2008).

Segundo a CETESB (2008), nas áreas agrícolas, o escoamento das águas pluviais pelos solos fertilizados também contribui para a presença de

diversas formas de nitrogênio nos mananciais. Já nas áreas urbanas, a drenagem das águas pluviais, associadas às deficiências do sistema de limpeza pública, constitui uma fonte difusa de contaminação por nitrogênio.

Os compostos de nitrogênio são caracterizados como macronutrientes, fundamentais em alguns processos biológicos. Quando descarregados nas águas naturais, conjuntamente com o fósforo e outros nutrientes presentes nos despejos, provocam o enriquecimento do meio, podendo torná-lo eutrofizado.

O crescimento explosivo de algas em águas de superfície pode resultar em distúrbios do meio aquático. Durante o dia, as algas são produtoras de oxigênio através da fotossíntese e durante a noite consomem oxigênio, através da respiração. Quando a concentração de algas se eleva, ocorre a depleção do oxigênio da água, ocasionando a morte de microrganismos e macrorganismos que dependem do oxigênio em seus processos metabólicos (VAN HAANDEL e MARAIS, 1999; CETESB, 2008).

A taxa de crescimento da vida aquática de superfície é determinada pela concentração limitada de nitrogênio e fósforo. As características das águas e do solo determinarão qual dos dois elementos eutrofizantes é limitante no meio. Se a introdução de nitrogênio em sua forma adequada (amônia) é limitada, esta substância pode ser produzida dentro da própria água de superfície, por certos organismos que sintetizam o mesmo a partir do nitrogênio molecular (VAN HAANDEL & MARAIS, 1999). A remoção do nitrogênio, portanto, não assegura o controle da eutrofização. Deve-se eliminar também o fósforo.

Os processos de tratamento de esgotos empregados atualmente no Brasil, na sua grande maioria em nível secundário, não contemplam a remoção de nutrientes, logo os efluentes finais tratados lançam elevadas concentrações de nitrogênio e fósforo nos corpos d'água.

3.5.2.3.1 Nitrogênio Amoniacal

O nitrogênio amoniacal pode ser um constituinte natural de águas superficiais e subterrâneas, resultante da decomposição da matéria orgânica.

Os esgotos sanitários constituem-se, em geral, na principal fonte de nitrogênio orgânico nos mananciais devido principalmente à presença de proteínas e nitrogênio amoniacal, como resultado da hidrólise da ureia na água (CETESB, 2008).

Alguns efluentes industriais também apresentam elevadas concentrações de nitrogênio orgânico e amoniacal, a exemplo indústrias químicas, petroquímicas, siderúrgicas, farmacêuticas, conservas alimentícias, matadouros, frigoríficos e curtumes (JORDÃO E PESSÔA, 2009; CETESB, 2008).

A amônia é um tóxico bastante restritivo à vida dos peixes, sendo que muitas espécies não suportam concentrações acima de 5 mg/L, sua capacidade de transporte de oxigênio fica reduzida. Além disso, a amônia provoca consumo de oxigênio dissolvido das águas naturais ao ser oxidada biologicamente (CETESB, 2008). Por estes motivos, a concentração de nitrogênio amoniacal é um parâmetro de classificação das águas naturais e um padrão de lançamento de esgoto.

A Resolução MS nº2.914/2011 estabelece a concentração máxima de 1,5 mg/L de amônia na água potável.

Em relação à classificação das águas, a legislação federal, CONAMA nº 357/2005, estabelece a concentração de nitrogênio amoniacal nas águas doces de acordo com o pH. O quadro 6 apresenta estas concentrações (BRASIL, 2005).

Quadro 6 - Concentração de nitrogênio amoniacal nas águas doces conforme a resolução CONAMA nº 357/2005.

Classe	Concentração de nitrogênio amoniacal
Classe 1	3,5 mg/L para pH < 7,5 2,0 mg/L para 7,5 < pH ≤ 8,0 1,0 mg/L para 8,0 < pH ≤ 8,5 0,5 mg/L para pH > 8,5
Classe 2	3,5 mg/L para pH < 7,5 2,0 mg/L para 7,5 < pH ≤ 8,0 1,0 mg/L para 8,0 < pH ≤ 8,5 0,5 mg/L para pH > 8,5
Classe 3	13,3 mg/L para pH < 7,5 5,6 mg/L para 7,5 < pH ≤ 8,0 2,2 mg/L para 8,0 < pH ≤ 8,5 1,0 mg/L para pH > 8,5

Fonte: BRASIL, 2005.

Para o lançamento de efluentes, a Resolução CONAMA nº 430/2011 estabelece a concentração máxima de 20 mg/L de nitrogênio amoniacal total (BRASIL, 2011) para efluente industrial. No esgoto doméstico, a concentração de nitrogênio amoniacal não é exigida como padrão de lançamento.

3.5.2.3.2 Nitrogênio Kjeldhal

O Nitrogênio Kjeldahl é a soma dos nitrogênios orgânico e amoniacal. Ambas as formas estão presentes em detritos de nitrogênio orgânico oriundos de atividades biológicas naturais. O nitrogênio Kjeldahl total pode contribuir para a completa abundância de nutrientes na água e sua consequente eutrofização.

3.5.2.3.3 Nitrito

O nitrito é uma das formas de nitrogênio que é encontrada em águas de superfície em pequena quantidade, pois é instável na presença de oxigênio. Ele é uma forma intermediária entre a amônia e o nitrato (nitrificação) ou entre nitrato e gás nitrogênio (desnitrificação).

A CETESB (2008) relata que a presença de nitritos em água indica processos biológicos ativos influenciados por poluição orgânica. Ele é encontrado na água como resultado da decomposição biológica, devido à ação de microrganismos sobre o nitrogênio amoniacal, ou também proveniente de aditivos oriundos de efluentes industriais (anticorrosivos de instalações industriais).

Em concentração elevada, o nitrito indica que a fonte de matéria orgânica presente na água encontra-se a pouca distância do ponto onde foi feita a amostragem para análise. O nitrito (NO^{2-}) é uma forma transitória, sendo rapidamente oxidado a nitratos (NO^{3-}). Sua persistência indica despejo contínuo de matéria orgânica (KATO e PIVELI, 2005).

As águas potáveis, de acordo com a Resolução MS nº2.914/2011, devem possuir concentração máxima de 1mg/L de nitrito (BRASIL, 2011).

Na classificação das águas doces, a Resolução CONAMA nº 357 estabelece a concentração de 1 mg/L de nitrito nos rios de classe 1,2,3 e 4 (BRASIL, 2005).

3.5.2.3.4 Nitrato

O nitrato é uma substância química derivada do nitrogênio que, em baixas concentrações, se encontra de forma natural na água e no solo (CETESB, 2008). Porém, essas concentrações podem ser alteradas devido ao uso

intensivo de fertilizantes na agricultura e à coleta e disponibilização inadequada dos esgotos domésticos (ROSSI et al., 2007).

Resultados de análise com altas concentrações de nitratos indicam que a matéria orgânica que entrou em contato com a água encontra-se totalmente decomposta. O nitrato (NO_3) ou nitrogênio nítrico é o último estágio da oxidação do nitrogênio. Esse fato não significa que a água esteja isenta de outros contaminantes (CETESB, 2008).

Os nitratos são tóxicos, podendo causar uma doença chamada metahemoglobinemia infantil, que é letal para crianças. (Nela, o nitrato reduz-se a nitrito na corrente sanguínea, competindo com o oxigênio livre, tornando o sangue azul). Por isso, o nitrato é padrão de potabilidade, sendo 10 mg/L o valor máximo permitido pela Portaria nº 2.914/2011 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2011).

A Resolução CONAMA nº 357/05 estabelece a concentração de 10 mg/L de nitrato nos rios classificados como 1,2,3 e 4 (BRASIL, 2005).

3.5.2.4 Fósforo

O fósforo pode se apresentar nas águas sob três formas diferentes: fosfatos orgânicos, ortofosfatos e polifosfatos.

Os fosfatos orgânicos são a forma em que o fósforo compõe moléculas orgânicas, a exemplo de detergentes (CETESB, 2009). Já os ortofosfatos são representados pelos radicais PO_4^{-3} , HPO_4^{-2} e H_2PO_4^- , que se combina com cátions, formando sais inorgânicos nas águas. Os polifosfatos ou fosfatos condensados são polímeros de ortofosfatos. Segundo KATO e PIVELI (2005) esta terceira forma não é muito importante nos estudos de controle de qualidade das águas naturais, visto que neste meio, os polifosfatos sofrem hidrólise, convertendo-se rapidamente em ortofosfatos.

A remoção de nutrientes das águas residuárias é uma medida importante para preservar a qualidade dos corpos d'água receptores de efluentes.

Assim como o nitrogênio, o fósforo também é um dos principais nutrientes para os processos biológicos. A presença de nitrogênio e fósforo, juntamente com o dióxido de carbono são condições necessárias para o crescimento de microrganismos autótrofos (VAN HANDELL e MARAIS, 1999). O excesso de fósforo em esgotos sanitários e efluentes industriais podem conduzir a processos de eutrofização das águas naturais.

A presença de fósforo em águas superficiais é atribuída a duas fontes principais. A primeira são as águas vindas de direta ou indiretamente de terras cultivadas e adubadas com fertilizantes químicos. A descarga de águas residuárias, principalmente esgoto doméstico, tratados ou não, compõe a segunda fonte (PIVELI, 2007).

A concentração de fósforo nas águas residuárias varia de acordo com os hábitos socioeconômicos da população contribuinte (VAN HANDELL & MARAIS, 1999). Os detergentes superfosfatados, empregados em larga escala domesticamente, constituem a principal fonte (15,5% de P_2O_5), além da própria matéria fecal, que é rica em proteínas.

Alguns efluentes industriais, como os provenientes de indústrias de fertilizantes, pesticidas, químicas em geral, conservas alimentícias, abatedouros, frigoríficos e laticínios também apresentam em sua composição fósforo em quantidades excessivas (QUEVEDO, 2009).

O fósforo constitui-se, portanto, em importante parâmetro de classificação das águas naturais, participando também na composição de índices de qualidade de águas. A Resolução nº 357 do CONAMA estabelece limites diferentes para a concentração de fósforo total em águas naturais, em função da forma em que ocorre o escoamento. Os ambientes lóticos são relativos às águas continentais moventes e os lênticos, às águas paradas, com movimento lento ou estagnada. Assim, para as águas doces classe 1 o limite é de 0,02 mg P/L para ambientes lênticos, 0,025 mg P/L para ambientes intermediários, com tempo de residência entre 2 e 40 dias e tributários diretos de ambiente lêntico e 0,1 mg P/L para ambiente lótico e tributário de ambientes intermediários (BRASIL, 2005).

O artigo 17 da Resolução CONAMA nº430/2011 estabelece que o órgão ambiental competente poderá definir padrões específicos para o fósforo no caso do lançamento de efluente num corpo receptor com registro histórico de floração de cianobactérias em trechos onde ocorre a captação de água para abastecimento público (BRASIL, 2011).

3.5.2.5 Fenóis

Os fenóis e seus derivados aparecem nas águas naturais através das descargas de efluentes industriais. As indústrias de processamento da borracha, de colas e adesivos, de resinas impregnantes, de componentes elétricos (plásticos) e as siderúrgicas, entre outras, são responsáveis pela presença de fenóis nas águas naturais (CETESB, 2009).

Os fenóis são tóxicos ao homem e aos organismos aquáticos. Desta forma, nas águas naturais, o padrão de emissão de esgoto que apresente compostos fenolíticos em sua composição é bastante restritivo, tanto na Legislação Federal quanto nas Legislações Estaduais.

A legislação Federal, Resolução nº 430/2011 do CONAMA, determina o limite de 0,5 mg/L de fenol como padrão de emissão de esgotos diretamente no corpo receptor (BRASIL, 2011).

Na legislação do Estado de São Paulo, devido ao grande número de indústrias ligadas a rede pública de esgoto que geram efluentes com compostos fenolíticos, o artigo 19-A do Decreto Estadual nº 8.468/1978, determina que o efluente gerado deve ser submetido a tratamento na unidade industrial, com o intuito de reduzir o índice de fenóis para uma concentração abaixo de 5,0 mg/L (SÃO PAULO, 1978).

3.5.2.6 Metais Pesados

Nas águas naturais, os metais podem se apresentar na forma de íons hidratados de complexos estáveis (como os formados com ácido húmico e fúlvico), de partículas inorgânicas formando precipitados que se mantêm em suspensão, podem ser absorvidos em partículas em suspensão que se mantêm na massa líquida, ou se misturam nos sedimentos de fundo (CETESB, 2009).

Os metais pesados constituem-se em padrões de potabilidade de água estabelecidos pela Portaria nº 2.914/2011 do Ministério da Saúde, em função dos diversos danos que podem causar à saúde (BRASIL, 2011).

Devido aos prejuízos que podem causar aos ecossistemas aquáticos, naturais ou de sistemas de tratamento biológico de esgotos, a Resolução CONAMA nº 357/05 incluiu os metais pesados nos padrões de classificação das águas naturais e de emissão de esgotos nos corpos d'água (BRASIL, 2005).

Alguns Estados também deliberam sobre padrões de lançamento de metais pesados, a exemplo a legislação do Estado de São Paulo, que define limites para as concentrações de metais pesados em efluentes descarregados na rede pública de esgotos de forma diferenciada dos limites impostos para os efluentes lançados diretamente nos corpos receptores, sendo o último mais rígido (CETESB, 2009).

As características das principais fontes de metais pesados nas águas superficiais são apresentadas no quadro 7.

Quadro 7 - Principais fontes de metais nas águas naturais.

Metal	Principal fonte
Chumbo	Está presente na água devido às descargas de efluentes industriais como, por exemplo, os efluentes das indústrias de acumuladores (baterias), bem como devido ao uso indevido de tintas e tubulações e acessórios à base de chumbo
Bário	O bário pode ocorrer naturalmente na água, na forma de carbonatos em algumas fontes minerais. Os compostos de bário são usados na indústria da borracha, têxtil, cerâmica, farmacêutica, entre outras.
Cobre	Cobre tem vários usos, como na fabricação de tubos, válvulas, acessórios para banheiro e está presente em ligas e revestimentos.
Cádmio	O cádmio se apresenta nas águas naturais devido às descargas de efluentes industriais, principalmente as de galvanoplastias. Produção de pigmentos, soldas, equipamentos eletrônicos, lubrificantes e acessórios fotográficos, bem como por poluição difusa causada por fertilizantes e poluição do ar local
Arsênio	É usado como inseticida, herbicida, fungicida, na indústria da preservação da madeira e em atividades relacionadas com a mineração e com o uso industrial de certos tipos de vidros, tintas e corantes.
Cromo hexavalente	O cromo é largamente empregado nas indústrias, especialmente em galvanoplastias, onde a cromação é um dos revestimentos de peças mais comuns. Pode ocorrer como contaminante de águas sujeitas a lançamentos de efluentes de curtumes e de circulação de águas de refrigeração, onde é utilizado para o controle da corrosão.
Alumínio	O alumínio é abundante nas rochas e minerais, sendo considerado elemento de constituição. Nas águas naturais doces e marinhas, entretanto, não se encontra concentrações elevadas de alumínio, sendo esse fato decorrente da sua baixa solubilidade, precipitando-se ou sendo absorvido como hidróxido ou carbonato.
Mercúrio	O mercúrio é usado na produção eletrolítica do cloro, em equipamentos elétricos, amalgamas e como matéria prima para compostos de mercúrio. No Brasil é largamente utilizado em garimpos para extração do ouro
Zinco	O zinco é também bastante utilizado em galvanoplastias na forma metálica e de sais tais como cloreto, sulfato, cianeto, etc.
Níquel	O níquel é também utilizado em galvanoplastias.
Chumbo	Chumbo tem ampla aplicação industrial, como na fabricação de baterias, tintas, esmaltes, inseticidas, vidros, ligas metálicas.

Adaptado de SPERLING,1996; CETESB,2008; METCALF&EDDY, 2002.

3.5.3 Variáveis Microbiológicas

Segundo JORDÃO e PESSÔA (2009), a identificação e a contagem de microrganismos presentes em corpos d'água são de interesse dos aspectos de saúde pública.

3.5.3.1 Coliformes Termotolerantes

As bactérias do grupo coliforme são consideradas os principais indicadores de contaminação fecal. O grupo coliforme é formado por um número de bactérias que inclui os gêneros *Klebsiella*, *Escherichia*, *Serratia*, *Erwenia* e *Enterobactéria*. As bactérias coliformes estão associadas com as fezes de animais de sangue quente e com o solo (LECT, 2012).

Os coliformes termotolerantes: bactérias gram-negativas, em forma de bacilos, oxidase-negativas, caracterizadas pela atividade da enzima β -galactosidase. Podem crescer em meios contendo agentes tenso-ativos e fermentar a lactose nas temperaturas entre 44°C e 45°C, com produção de ácido, gás e aldeído. Além de estarem presentes em fezes humanas e de animais homeotérmicos, ocorrem em solos, plantas ou outras matrizes ambientais que não tenham sido contaminados por material fecal (BRASIL, 2007).

A determinação da concentração dos coliformes assume importância como parâmetro indicador da possibilidade da existência de microorganismos patogênicos, responsáveis pela transmissão de doenças de veiculação hídrica, tais como febre tifoide, febre paratifóide, desintéria bacilar e cólera (LECT, 2012).

Em termos de coliformes termotolerantes, a Resolução CONAMA n° 357/05 estabelece que nos rios de classe 1 e 2 utilizados para recreação de contato primário deverão ser obedecidos os padrões de qualidade de balneabilidade, previstos na Resolução CONAMA n° 274/2000. Para os demais usos, deverão ser consideradas as seguintes concentrações:

- Classe 1: não deveser ser excedido um limite de 200 coliformes termotolerantes por 100 mililitros em 80% ou mais, de pelo menos 6 amostras, coletadas durante o período de um ano, com frequência bimestral;

- Classe 2: limite de 1.000 coliformes termotolerantes por 100 mililitros em 80% ou mais de pelo menos 6 (seis) amostras coletadas durante o período de um ano, com frequência bimestral;
- Classe 3: coliformes termotolerantes: para o uso de recreação de contato secundário não devera ser excedido um limite de 2500 coliformes termotolerantes por 100 mililitros em 80% ou mais de pelo menos 6 amostras, coletadas durante o período de um ano, com frequência bimestral. Para dessedentação de animais criados confinados não devera ser excedido o limite de 1000 coliformes termotolerantes por 100 mililitros em 80% ou mais de pelo menos 6 amostras, coletadas durante o período de um ano, com frequência bimestral. Para os demais usos, não devera ser excedido um limite de 4000 coliformes termotolerantes por 100 mililitros em 80% ou mais de pelo menos 6 amostras coletadas durante o período de um ano, com periodicidade bimestral.

3.5.4 Variáveis Hidrobiológicas

3.5.4.1 Clorofila a

Clorofila-a é o pigmento fotossintético presente em todos os organismos fitoplanctônicos sejam eucarióticos (algas) ou procarióticos (cianobactérias), e é utilizado como parâmetro de biomassa algal em diversos trabalhos, tanto nos experimentais quanto nas caracterizações de ambientes aquáticos e monitoramento da qualidade de água (KURODA, 2005).

A clorofila é um dos pigmentos responsáveis pelo processo fotossintético. A clorofila-a é a mais universal das clorofilas e representa, aproximadamente, de 1 a 2% do peso seco do material orgânico em todas as algas

planctônicas. Desta forma, é um indicador da biomassa algal no meio avaliado (CETESB, 2009).

KURODA (2005) informa que a clorofila-a relaciona-se diretamente com a quantidade de nutrientes, pois quanto maior a disponibilidade de nitrogênio e fósforo, maior a taxa de crescimento dos organismos e consequentemente maior a quantidade de clorofila-a no ambiente aquático. Desta forma, a clorofila-a é considerada a principal variável indicadora de estado trófico dos ambientes aquáticos.

3.6 INDICADORES DE QUALIDADE

Os índices e indicadores ambientais nasceram como resultado da crescente preocupação social com os aspectos ambientais do desenvolvimento, processo que requer um número elevado de informações em graus de complexidade cada vez maiores.

Dentre as principais vantagens dos índices destacam-se a facilidade de comunicação com o público leigo e o fato dos índices representarem uma média de diversas variáveis em um único número, na mesma unidade numérica. As desvantagens estão principalmente na perda da informação das variáveis individuais e das suas interações (CETESB, 2009).

O índice, apesar de fornecer uma avaliação integrada, jamais substituirá uma avaliação detalhada da qualidade das águas de uma determinada bacia hidrográfica.

3.6.1 Índice de Qualidade das Águas - IQA

O Índice de Qualidade das Águas, IQA, foi desenvolvido pela CETESB com o intuito de avaliar a qualidade das águas do estado de São Paulo. Este índice incorpora nove variáveis (coliformes fecais, pH, DBO, nitrogênio total, fósforo total, temperatura, turbidez, OD e resíduo total), consideradas relevantes para a avaliação da qualidade das águas, tendo como determinante principal a sua utilização para abastecimento público em geral, bem como para o gerenciamento das 22 unidades de gerenciamento de recursos hídricos do Estado de São Paulo.

O IQA é calculado pelo produto ponderado das qualidades de água correspondentes às variáveis que integram o índice. O valor obtido, variando numa escala de 0 a 100, classifica as águas de abastecimento. O quadro 8 relaciona o valor do IQA, obtido nos cálculos, com a qualidade do rio (CETESB, 2009).

Quadro 8 - Classificação da qualidade das águas de acordo com o IQA.

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

Fonte: CETESB, 2009

As variáveis de qualidade que fazem parte do cálculo do IQA refletem, principalmente, a contaminação dos corpos hídricos ocasionada pelo lançamento de esgotos domésticos. Este índice foi desenvolvido para avaliar a qualidade das águas, tendo como determinante principal a sua utilização

para o abastecimento público, considerando aspectos relativos ao tratamento dessas águas (PAGANINI, 2007).

Uma limitação importante do IQA consiste no fato do índice não contemplar algumas variáveis importantes para a determinação da qualidade da água, tais como metais pesados, compostos orgânicos com potencial mutagênico, número de células de cianobactérias e o potencial de formação de trihalometanos das águas de um manancial (CETESB, 2009).

3.6.2 Índice de Qualidade de Água para Fins de Abastecimento Público - IAP

O Índice de Qualidade da Água para Fins de Abastecimento Público, IAP, é aplicado nos pontos de amostragem dos rios e reservatórios que são utilizados para o abastecimento público.

O IAP é o produto da ponderação dos resultados atuais do IQA (Índice de Qualidade de Águas) e do ISTO (Índice de Substâncias Tóxicas e Organolépticas), que é composto pelo grupo de substâncias que afetam a qualidade organoléptica da água, bem como de substâncias tóxicas (CETESB, 2009). Este índice é composto por três grupos, conforme apresentado no quadro 9.

Quadro 9 - Composição do IAP.

Grupo	Parâmetros
IQA	Temperatura da Água, pH, oxigênio dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio, coliformes termotolerantes, nitrogênio total, fósforo total, resíduo total e turbidez.
ISTO	Potencial de formação de trihalometanos (PFTHM), número de células de cianobactérias, cádmio, chumbo, cromo total, mercúrio e níquel.
Grupo de variáveis que afetam a qualidade organoléptica	Ferro dissolvido, manganês, alumínio dissolvido, cobre dissolvido e zinco.

Fonte: CETESB, 2009.

A CETESB (2009) ressalta que, no cálculo do IAP, os parâmetros alumínio dissolvido, ferro dissolvido, manganês e potencial de formação de trihalometanos são obrigatórios. As demais variáveis não são essenciais, devido à baixa concentração na água e a frequência de análise semestral.

O IAP é calculado a partir do produto entre o IQA e o ISTO. O quadro 10 apresenta os níveis de qualidade das águas estabelecidos com base no cálculo do IAP.

Quadro 10 - Padrões da CETESB para a avaliação das águas conforme o IAP.

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

Fonte: CETESB, 2008.

3.6.3 Índice do Estado Trófico - IET

O Índice do Estado Trófico, IET, classifica os corpos d'água em diferentes graus de trofia, ou seja, avalia a qualidade da água quanto ao enriquecimento por nutrientes e seu efeito relacionado ao crescimento excessivo das algas ou ao aumento da infestação de macrófitas aquáticas (CETESB, 2008).

As variáveis que compõe este índice são clorofila-a e fósforo total, determinando o Índice do Estado Trófico para o fósforo, IET (Pt), e o Índice do Estado Trófico para a clorofila a, IET (CL). O quadro 11 apresenta a classificação do grau de trofia da água de acordo com o IET.

Quadro 11 - Classificação do grau de trofia das águas conforme o IET.

Níveis		
Estado Trófico	Ponderação	Significado
Ultraoligotrófico	$IET \leq 47$	Corpos d'água limpos, de produtividade muito baixa e concentrações insignificantes de nutrientes que não acarretam em prejuízos aos usos da água.
Oligotrófico	$47 < IET \leq 52$	Corpos d'água limpos, de baixa produtividade, em que não ocorrem interferências indesejáveis sobre os usos da água, decorrentes da presença de nutrientes.
Mesotrófico	$52 < IET \leq 59$	Corpos d'água com produtividade intermediária, com possíveis implicações sobre a qualidade da água, mas em níveis aceitáveis, na maioria dos casos.
Eutrófico	$59 < IET \leq 63$	Corpos d'água com alta produtividade em relação às condições naturais, com redução da transparência, em geral afetados por atividades antrópicas, nos quais ocorrem alterações indesejáveis na qualidade da água decorrentes do aumento da concentração de nutrientes e interferências nos seus múltiplos usos.
Supereutrófico	$63 < IET \leq 67$	Corpos d'água com alta produtividade em relação às condições naturais, de baixa transparência, em geral afetados por atividades antrópicas, nos quais ocorrem com frequência alterações indesejáveis na qualidade da água, como a ocorrência de episódios florações de algas, e interferências nos seus múltiplos usos.
Hipereutrófico	$IET > 67$	Corpos d'água afetados significativamente pelas elevadas concentrações de matéria orgânica e nutrientes, com comprometimento acentuado nos seus usos, associado a episódios florações de algas ou mortandades de peixes, com consequências indesejáveis para seus múltiplos usos, inclusive sobre as atividades pecuárias nas regiões ribeirinhas.

Fonte: CETESB, 2009.

A CETESB (2009) informa que o índice engloba a relação causa e efeito do processo de eutrofização das águas, visto que os resultados correspondentes ao fósforo representam uma medida do potencial de eutrofização das águas, uma vez que este nutriente atua como o agente causador do processo.

Já a avaliação correspondente à clorofila-a, deve ser considerada como uma medida da resposta do corpo hídrico ao agente causador, indicando o nível de crescimento de algas.

Na interpretação dos resultados, os pontos são classificados conforme os resultados obtidos para o IET anual. Devido à variabilidade sazonal dos processos ambientais sobre o grau de eutrofização de um corpo hídrico, esse processo pode apresentar variações no decorrer do ano, havendo épocas em que se desenvolve de forma mais intensa e outras em que pode ser mais limitado (CETESB, 2009). Nesse sentido, a determinação do grau de eutrofização médio anual de um corpo hídrico pode não identificar, de forma explícita, as variações que ocorreram ao longo do período anual.

3.6.4 Índices de Qualidade das Águas para Proteção da Vida Aquática e de Comunidades Aquáticas

O Índice de Qualidade das Águas para Proteção da Vida Aquática e de Comunidades Aquáticas, IVA, tem o objetivo de avaliar a qualidade das águas para fins de proteção da fauna e da flora.

O IVA leva em consideração a presença e a concentração de contaminantes químicos tóxicos, seu efeito sobre os organismos aquáticos (toxicidade) e duas das variáveis consideradas essenciais para a biota (pH e oxigênio dissolvido), parâmetros que são agrupados no Índice de Parâmetros Mínimos para a Preservação da Vida Aquática, IPMCA, e do IET (CETESB,

2009). Desta forma, o IVA fornece informações não só sobre a qualidade da água em termos ecotoxicológicos, como também sobre o seu grau de trofia. PAGANINI (2007) esclarece que o IPMCA é composto por dois grupos de parâmetros: o grupo de substâncias tóxicas (cobre, zinco, chumbo, cromo, mercúrio, níquel, Cadmo, surfactantes e fenóis). Neste grupo foram incluídas as variáveis que são atualmente avaliadas pela Rede de Monitoramento de Qualidade das Águas Interiores do Estado de São Paulo e que identificam o nível de contaminação por substâncias potencialmente danosas às comunidades aquáticas. Além disso, engloba também o grupo dos parâmetros essenciais (oxigênio dissolvido, pH e toxicidade). O valor resultante do índice descreve cinco classificações de qualidade, ilustradas no Quadro 12.

Quadro 12 - Padrões de avaliação da água de acordo com o IVA.

Níveis	
Categoria	Ponderação
Ótima	$IVA \leq 2,5$
Boa	$2,6 \leq IVA \leq 3,3$
Regular	$3,4 \leq IVA \leq 4,5$
Ruim	$4,6 \leq IVA \leq 6,7$
Péssima	$6,8 \leq IVA$

Fonte: CETESB, 2009.

A Resolução CONAMA n° 357/05 determina que a proteção das comunidades aquáticas esteja prevista para corpos d'água enquadrados nas classes 1, 2 e 3, sendo aplicável o IVA nestes ambientes (BRASIL, 2005).

4 DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

4.1 DEFINIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Conforme levantado no decorrer desta pesquisa, a qualidade das águas de um manancial está diretamente relacionada com as ações antrópicas.

Justifica-se a escolha do rio Paraíba do Sul em função da importância do mesmo para os estados de grande destaque econômico no Brasil: São Paulo, Minas Gerais e Rio de Janeiro. Além de abastecer uma parcela da população destes três municípios, ele também é utilizado para a produção de energia elétrica.

Para efeito desta pesquisa será abrangido o trecho paulista do rio Paraíba do Sul, em função da nascente deste rio estar localizada em São Paulo. Deste modo, cabe a este estado gerenciar seu trecho da bacia de forma que os consumidores a jusante tenham acesso à água deste rio em quantidade e qualidade adequadas.

4.2 CARACTERIZAÇÃO DA BACIA DO RIO PARAÍBA DO SUL

A Bacia do Rio Paraíba do Sul pertence à Região Hidrográfica do Atlântico-Sudeste. Este rio é de domínio da União, com parte da sua bacia nos Estados de São Paulo, Minas Gerais e Rio de Janeiro (SIGH, 2011).

Formado pela confluência dos rios Paraibuna e Paraitinga, o rio Paraíba do Sul nasce no Estado de São Paulo a cerca de 20 km, em linha reta, do Oceano Atlântico e percorre aproximadamente 1050 km antes de desembocar no mesmo oceano, em Atafona, distrito do município de São João da Barra, no Estado do Rio de Janeiro. Este rio é um divisor natural

entre os Estados de Minas Gerais e Rio de Janeiro (SIGH, 2011). A figura 12 apresenta uma visão do rio Paraíba do Sul, no trecho fluminense.

Figura 12 - Vista aérea do rio Paraíba do Sul, no trecho fluminense.

Fonte: PATRIANI e CUNHA, 2010.

A área da bacia do rio Paraíba do Sul é de, aproximadamente, 56.000 km², sendo 14.444 km² no estado de São Paulo, 20.700 km² em Minas Gerais e 20.900 km² no Rio de Janeiro, conforme mostra o mapa político-administrativo da bacia na figura 13 (ANA, 2001). Em termos de área, ela corresponde a aproximadamente 0,7% do total do País e a 6% do território da região Sudeste.

A bacia é limitada ao norte pelas bacias dos rios Grande e Doce e pelas serras da Mantiqueira, Caparaó e Santo Eduardo e a nordeste pela bacia do rio Itabapoana. Ao sul, o limite é formado pela Serra dos Órgãos e pelos trechos paulista e fluminense da Serra do Mar. A oeste, o limite é a bacia do rio Tietê, da qual é separada por meio de diversas ramificações dos maciços da Serra do Mar e da Serra da Mantiqueira.

Figura 13 - Mapa político –administrativo da bacia do rio Paraíba do Sul.

Fonte: ANA, 2001.

A bacia situa-se em uma das poucas regiões do país de relevo muito acidentado, chegando a 2.000 m nos pontos mais elevados, onde se destaca o Pico das Agulhas Negras, localizado no maciço do Itatiaia, ponto culminante da bacia, a 2.787m de altitude (ANA, 2001).

O curso superior estende-se desde a nascente até a cidade de Guararema (SP), a 572 m de altitude. Ao longo dos 317 km de extensão, este trecho possui declives acentuados, na ordem de 4,9 m/km. A figura 14 apresenta um trecho meandrado do rio Paraíba do Sul, no estado de São Paulo.

Figura 14 - Meandros do rio Paraíba do Sul, no estado de São Paulo.

Fonte: SOS RIOS, 2012.

No município de Guararema, inicia-se o curso médio superior, com 208 km de extensão. Este trecho é sinuoso e meandrado, atravessando terrenos sedimentares de grandes várzeas (ANA, 2001). A declividade média cai para 0,19 m/km e a altitude é de 515 m. Entre os municípios de Guararema e Jacareí, a sinuosidade é baixa, com corredeiras ao longo do mesmo. No

trecho entre Jacareí e Pindamonhangaba, a sinuosidade do rio aumenta e, conseqüentemente o gradiente de velocidade das águas se reduz. Entre Pindamonhangaba e Cachoeira Paulista, a distância entre as margens aumenta e a sinuosidade se reduz, aumentando a velocidade das águas. As corredeiras e trechos encachoeirados reaparecem.

O trecho entre os municípios de Cachoeira Paulista e São Fidélis (RJ) possui 408 km de extensão, sendo classificado como curso médio inferior (ANA, 2001). O rio apresenta-se encaixado e com trechos encachoeirados, com declividade média de 1,0 m/km e altitude na ordem de 20 m.

O trecho final do Paraíba, denominado curso inferior, estende-se de São Fidélis à foz, com 95 km de extensão e declividade média de 0,22 m/km, atravessando a Baixada Campista, extensa planície litorânea.

A região hidrográfica se caracteriza pelo enfoque industrial. O trecho da bacia referente à maioria dos municípios paulistas e do sul fluminense é o mais industrializado e urbanizado, denominado de macroeixo Rio - São Paulo, (SIGH, 2011). A figura 15 apresenta a ocupação urbana da cidade de São José dos Campos, no entorno do rio Paraíba do Sul.

Figura 15 - Ocupação urbana da cidade de São José dos Campos próximo a calha do rio Paraíba do Sul.

Fonte: SMA, 2011.

Em sua extensão existem 184 municípios, dos quais 39 estão inseridos no Estado de São Paulo, 57 no Rio de Janeiro e 88 em Minas Gerais. Dados oficiais do Censo 2010 do IBGE, apresentados na tabela 9, mostram que a população total era de, aproximadamente, 6,0 milhões de habitantes.

Tabela 9 - População total, em habitantes, dos municípios inseridos na bacia do rio Paraíba do Sul, nos estados de São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais, no o ano de 2010.

Estado	População 2010
São Paulo	1.994.369,0
Minas Gerais	1.627.828,0
Rio de Janeiro	2.803.164,0
Total	6.066.843,0

Fonte: IBGE, 2011.

4.2.1 Usos e Demandas de Água na Bacia do Rio Paraíba do Sul

A bacia do rio Paraíba do Sul é conhecida nacionalmente pelo elevado contingente populacional e pela importância econômica de sua indústria. O grande desenvolvimento da região, entretanto, impacta na disponibilidade de água da bacia (AGEAP, 2006).

Os principais usos da água do Paraíba do Sul são: abastecimento, diluição de esgotos, irrigação e geração de energia hidroelétrica e, em menor escala, a pesca, aquicultura, recreação e navegação.

O maior usuário das águas da bacia é a transposição, que retira dois terços da vazão regularizada do trecho paulista do rio Paraíba do Sul no seu trecho médio e também quase a vazão total de um afluente, o rio Piraí, para geração de energia elétrica no Complexo Hidrelétrico de Lajes, na vertente atlântica da Serra do Mar (Sistema Light- Guandu) e também para abastecimento da região metropolitana do Rio de Janeiro.

Esta transposição, implantada a partir de 1952, criou uma oferta hídrica relevante na bacia receptora do rio Guandu, que se tornou o principal manancial de abastecimento de água da Região Metropolitana do Rio de Janeiro e de diversas indústrias, termelétricas entre outras atividades (AGEVAP, 2007).

4.2.1.1 Demanda Doméstica

O rio Paraíba do Sul abastece os municípios dos três estados inseridos na sua bacia além da região metropolitana do Rio de Janeiro, através da transposição de 160 m³/s de água para o sistema Guandú. Segundo o Instituto Estadual do Ambiente (2010) cerca de 75% da população do estado Rio de Janeiro é abastecida pelas águas do Paraíba do Sul.

A tabela 10 apresenta a demanda estimada para atender às sedes municipais inseridos na bacia do Rio Paraíba do Sul, no ano de 2008. (AGEVAP, 2011).

Tabela 10 - Demanda de água para uso doméstico, em m³/s, dos municípios inseridos na bacia do rio Paraíba do Sul, agrupado por estado, no ano de 2008.

Trecho	Demanda de água (m ³ /s)
Mineiro	4,1
Fluminense	7,3
Paulista	6,3

Fonte: AGEVAP, 2011.

Vale ressaltar que apenas uma pequena parcela da vazão transposta do rio Paraíba do Sul para a bacia do rio Guandu é utilizada para o

abastecimento da população da região metropolitana do Rio de Janeiro. A maior é utilizada para a produção de energia elétrica e diluição de esgoto.

Aproximadamente 2/3 da vazão do rio ($160\text{m}^3/\text{s}$) são captados e bombeados na elevatória de Santa Cecília para as usinas do Sistema Light e, juntamente com uma vazão de até $20\text{m}^3/\text{s}$ desviada do rio Piraí, contribuem para o rio Guandu, onde se localizam a captação e a estação de tratamento de água (ANA, 2001).

4.2.1.2 Agricultura

A expressiva demanda hídrica do setor agropecuário concentra-se basicamente nas lavouras de arroz do Vale Paulista e de cana-de-açúcar da planície campista (trecho final da bacia), ambas utilizando o rio Paraíba do Sul para irrigação. A figura 16 apresenta um exemplo de rizicultura nas margens do rio Paraíba do Sul.

Figura 16 - Rizicultura nas margens do rio Paraíba do Sul.

Fonte: SMA, 2011.

A pecuária, apesar de ser o menor consumidor de água e representar menos de 1% da atividade econômica total da bacia, ocupa mais de 60% das terras, além de responder por grande parte dos desmatamentos e erosão dos solos. A área irrigada da bacia é de, aproximadamente, 123.734 ha, segundo o Censo Agropecuário do IBGE de 1995/96, com destaque ao cultivo de arroz irrigado (AGEVAP, 2007). A tabela 11 apresenta a área irrigada total dos três estados.

Tabela 11 - Área irrigada, em ha, dos municípios inseridos na bacia do rio Paraíba do Sul, agrupado por estados, nos anos de 1995 e 1996.

Trecho	Área Irrigada Total (ha)
Mineiro	21.191
Fluminense	66.397
Paulista	36.146

Fonte: AGEVAP, 2007.

4.2.1.3 Indústria

Os dados de consumo de água pelo setor industrial da bacia são apresentados na tabela 12, e foram extraídos do Plano de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Paraíba do Sul (SMA, 2012).

Tabela 12 - Demanda de água para fins industrial, em m³/s, nos municípios que fazem parte da bacia do rio Paraíba do Sul, agrupado por estado, no ano de 2010.

Trecho	Vazão captada (m³/s)
Mineiro	0,27
Fluminense	11,14
Paulista	2,24

Fonte: AGEVAP, 2012.

4.2.1.4 Energia

O potencial hidrelétrico inventariado da bacia corresponde a 1,7% do total brasileiro (IBGE, 2009). No ano de 2008, a potência instalada superava 1.500MW, incluindo usinas de pequeno e médio porte, operadas por diversas concessionárias (FCR, 2010).

O Sistema Light é constituído por um conjunto de obras hidráulicas destinadas à transposição de vazão de até 160m³/s do rio Paraíba do Sul para a vertente atlântica da Serra do Mar, com a finalidade de aproveitar o potencial elétrico propiciado pela queda de 295,50 metros (ANA, 2001), além de abastecer a região metropolitana do Rio de Janeiro.

Nesse sistema, a Usina Elevatória de Santa Cecília deriva as águas do Paraíba do Sul para o reservatório de Santana e, posteriormente, a Usina Elevatória de Vigário transfere as águas para o seu reservatório. Após ultrapassar a Serra do Mar, as águas descem por gravidade e alimentam as usinas de Nilo Peçanha, Fontes Nova e Pereira Passos (ANA, 2001).

4.2.2 Tratamento de Esgoto

O rio Paraíba do Sul e seus afluentes são os corpos receptores dos esgotos urbanos da bacia e, dessa forma, utilizados como meio de diluição. A ausência de tratamento dos esgotos sanitários na maioria das cidades constitui um dos principais fatores de degradação da qualidade dos recursos hídricos e, ainda, de riscos à saúde da população (ANA, 2001).

Os dados sobre coleta e tratamento de esgoto dos municípios da bacia do Rio Paraíba do Sul, segundo o Plano de Recursos Hídricos de 2007, demonstraram a seguinte situação (AGEVAP, 2007):

- Rio de Janeiro, com 69,6% da população com rede coletora e 7,5% com tratamento de esgoto;
- São Paulo com 89,9% da população com rede coletora e 32,3% com tratamento;
- Minas Gerais com 93,1% da população com rede coletora e 12% com tratamento.

4.3 UGRHI 2 PARAÍBA DO SUL

4.3.1 Características Gerais

A UGRHI 2 Paraíba do Sul localiza-se na região leste do território paulista, com 14.444 km² de área de drenagem. As bacias dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí (UGRHI 05) e Alto Tiête (UGRHI 06) constituem o limite oeste da UGRHI 02, enquanto a bacia do Litoral Norte (UGRHI 03) forma o limite sul. A figura 17 apresenta a localização desta UGRHI.

Figura 17 - Mapa da localização da UGRHI 2 – Paraíba do Sul.

Fonte: SMA, 2011.

Em 2011, a população da porção paulista da bacia hidrográfica era de, aproximadamente, 2 milhões de habitantes segundo informações da Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados, SEADE, dos quais pouco mais de 92% estavam concentrados no eixo que vai Guararema até Cachoeira Paulista (SEADE, 2011).

A evolução da taxa de crescimento populacional da UGRHI 02, no período de 2000 a 2010, foi de 1,33% a.a. A projeção da fundação SEADE é que a taxa de crescimento caia nos próximos 10 anos, atingindo 1,16 % no ano de 2025. São José dos Campos, Taubaté e Jacareí são os municípios mais populosos da região (SEADE, 2011).

A região do Vale do Paraíba abriga um dos maiores polos industriais do Brasil. Sua localização estratégica, entre São Paulo e Rio de Janeiro, contribuiu para a escolha da região como sede de muitos investimentos estatais e privados.

A atividade industrial tem um grande destaque na região, abrangendo os setores químico, metalúrgico, farmacêutico, de máquinas e equipamentos, celulose e papel, de autopeças, de eletrônicos, de plásticos, de telecomunicações, de equipamentos médicos, entre outros. Além disso, ela abriga centros de pesquisas importantes, a exemplo o Instituto Tecnológico de Aeronáutica e a Embraer. Suas atividades industriais, no ano de 2010, eram compostas por 4.459 unidades (SMA, 2011).

O setor agrícola desempenha um papel fundamental na economia do Vale do Paraíba Paulista, tanto pela geração de emprego e renda como pela posição de liderança da agricultura de alguns produtos no cenário brasileiro (IBGE, 2011).

O arroz, o milho, o caqui, o feijão e a banana são as culturas economicamente mais representativas em valor total da produção na UGRHI 02. A rizicultura representou no ano de 2007, 63,35% do valor total da produção do Estado de São Paulo (SEADE, 2011).

Os usos do solo rural do trecho paulista da Bacia do Rio Paraíba do Sul, no ano de 2008, estavam concentrados em áreas de pastagem, representando mais de 60% da sua superfície agrícola; em áreas de vegetação natural,

ocupando algo como 20%, e naquelas ocupadas por reflorestamentos, com aproximadamente 10%. Estas atividades se desenvolviam por 15,9 mil Unidades de Produção Agropecuária (UPAs) (SMA, 2011).

Dentre as atividades agrícolas predominantes na UGRHI 02, a pecuária ocupa um papel de destaque, especialmente a leiteira. A produção de leite no ano de 2007 foi responsável por 15,05% do total produzido no Brasil (SEADE, 2011).

4.3.2 Climatologia

O Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas a Agricultura (CEPAGRI), baseado na classificação climática proposta por Koeppen, que considera dados mensais de pluviosidade e temperatura do ar, dividiu os municípios da UGRHI 02 em três tipos climáticos, conforme apresentado no quadro 13, a seguir.

Quadro 13 - Classificação climática dos municípios da UGRHI 2, com base na proposta de Koeppen.

Tipo	Características	Municípios
Aw	Tropical chuvoso com inverno seco e mês mais frio com temperatura média superior a 18°C. O mês mais seco tem precipitação inferior a 60 mm e com período chuvoso que se atrasa para o outono.	Aparecida, Bananal, Cachoeira Paulista, Canas, Cruzeiro, Guaratinguetá, Lavrinhas, Lorena, Potim, Queluz
Am	Caracteriza o clima tropical chuvoso, com inverno seco em que o mês menos chuvoso tem precipitação inferior a 60 mm. O mês mais frio tem temperatura média superior a 18°C.	Arapeí, Areias, São José do Barreiro.
Cwa	Caracterizado pelo clima tropical de altitude, com chuvas no verão e seca no inverno e temperatura média do mês mais quente superior a 22°C.	Caçapava, Cunha, Guararema, Igaratá, Jacareí, Jambiro, Lagoinha, Monteiro Lobato, Natividade da Serra, Paraibuna, Pindamonhangaba, Piquete, Redenção da Serra, Roseira, Santa Branca, Santa Isabel, São José dos Campos, São Luís do Paraitinga, Silveiras, Taubaté e Tremembé.

Fonte: CEPAGRI, 2010.

MARENGO e ALVES (2005) caracterizam o clima da UGRHI 2, de forma geral, como subtropical quente, com temperatura média anual oscilando entre 18°C e 24°C. As máximas precipitações ocorrem nas cabeceiras mineiras da bacia e nos pontos mais altos das serras do Mar e Mantiqueira, chegando a valores de 2.250 mm/ano.

O período de verão é caracterizado como chuvoso com precipitação acumulada entre 200 e 250 mm/mês, nos meses com máxima precipitação (dezembro e janeiro), enquanto que no inverno temos o intervalo entre os meses de maio a setembro o período mais seco, com precipitação acumulada inferior a 50 mm/mês (MARENGO e ALVES, 2005). A figura 19 apresenta as médias mensais pluviométricas para os municípios da UGRHI 02 no período de 1961 a 2009.

Figura 19 - Precipitação média mensal, em mm/mês, na UGRHI 2, no período de 1961 a 2009.

Fonte: CEPAGRI, 2010.

A Figura 20 apresenta os totais pluviométricos para os municípios da UGRHI 02, de acordo com a média histórica de 35 anos, obtida junto ao CEPAGRI, em que é possível observar totais anuais superiores a 1.200 mm, principalmente nas proximidades da Serra da Mantiqueira.

Figura 20 - Precipitação anual média, em mm/ano, nos municípios da UGRHI 2, para o período de 1990 até 2009.

Fonte: CEPAGRI, 2010.

4.3.3 Recursos Hídricos

4.3.3.1 Superficial

A UGRHI 02 é constituída pela contribuição de diversos rios de algumas bacias, como por exemplo as dos rios Una, Jaguari, Pararangaba e Piquete e dos Ribeirões Vermelho, Guaratinguetá, Pinhão, Judeu e Turi e de outros tributários do Paraíba do Sul, desde as nascentes de seus formadores (rios Paraibuna e Paraitinga) até a divisa dos estados de São Paulo e do Rio de Janeiro, a montante da barragem do Funil.

Figura 21- Principais afluentes do rio Paraíba do Sul na UGRHI 2.

Fonte: ANA, 2001.

4.3.3.2 Sistema de Reservatórios

A UGRHI 02 possui três grandes reservatórios para a regularização das vazões, localizadas nas cabeceiras dos rios Paraibuna e Paraitinga, na cabeceira do rio Jaguari e no rio Paraíba do Sul (FCR, 2009). A tabela 13 apresenta as principais características destes reservatórios.

Tabela 13 - Principais características dos reservatórios da UGRHI 2.

Reservatório	Área (km ²)		Volume (hm ³)		
	Drenagem	Inundada	Mínimo	Máximo	Útil
Paraibuna	4.150	189,97	2.096	4.732	2.636
Santa Branca	5.030	31,00	130	438	308
Jaguari	1.300	60,92	443	1.236	793

Fonte: FCR, 2009.

Além desses, vale frisar ainda o aproveitamento do reservatório do Funil, cuja área de drenagem é compartilhada pelos estados de São Paulo e do Rio de Janeiro. A figura 22 apresenta a localização destes reservatórios.

Figura 22 - Localização dos reservatórios da UGRHI 2.

Fonte: SMA, 2010.

Os reservatórios Paraibuna e Jaguari são operados pela Cia. Energética de São Paulo (CESP), o reservatório Santa Branca pela Light Energia S.A. e o Funil por Furnas Centrais Elétricas S.A (ANA, 2001).

Dentre os três reservatórios, o Jaguari representa uma importante reserva estratégica de água para o abastecimento público da UGRHI 2, em função de sua qualidade e de sua relativa proximidade a um dos maiores núcleos urbanos da região, que é São José dos Campos e sua conurbação.

4.3.4 Subterrânea

Na UGRHI 02 ocorrem dois sistemas aquíferos: o Aquífero Sedimentar e o Cristalino (FCR, 2009). O Sistema Aquífero Sedimentar do Vale do Paraíba do Sul (SASPS), também denominado Aquífero Taubaté, é formado pelas

rochas do Grupo Taubaté e da Formação Pindamonhangaba (RICCOMINI, 1989).

O sentido dos fluxos subterrâneos é predominantemente efluente, isto é, dos aquíferos para rios e córregos. O rio Paraíba do Sul representa a zona de descarga regional do aquífero, porém, seus afluentes tem grande importância como áreas de descarga local, propiciando menores tempos de transito das águas subterrâneas (DAEE, 1977).

Nos poços perfurados, geralmente com profundidades de 150 a 200 m, as vazões podem atingir mais de 200 m³/h. Nas regiões menos permeáveis, as vazões dos poços oscilam entre 20 a 30 m³/h (FCR, 2009).

Já o Sistema Aquífero Cristalino apresenta um pequeno rendimento, da ordem de alguns m³/h, e com grande rebaixamento de nível dinâmico durante sua exploração. Os poços de melhores rendimentos alcançam vazões da ordem de 10 a 20 m³/h (DAEE, 1977).

4.3.3.1 Disponibilidade e Demanda Hídrica

Os recursos hídricos disponíveis na região, para atendimento dos diversos usos e necessidades, possuem como fonte os depósitos subterrâneos e o escoamento superficial do rio Paraíba do Sul e seus afluentes.

A precipitação atmosférica é a principal responsável pela reposição das águas, garantindo o escoamento superficial e a recarga de aquíferos subterrâneos. A disponibilidade hídrica é estimada através de algumas vazões de referência, tais como $Q_{7,10}$, $Q_{95\%}$, $Q_{\text{médio}}$ e reserva explorável (subterrânea).

A vazão $Q_{7,10}$ representa a vazão mínima superficial registrada durante 7 dias consecutivos em um período de retorno de 10 anos. Já a $Q_{95\%}$ representa a vazão disponível em 95% do tempo na bacia, ou seja, no período de um ano, cerca de 5% as vazões são inferiores a este valor. A

vazão média de longo período, QLP, ou simplesmente $Q_{\text{médio}}$ é a vazão média de água presente na bacia durante o ano.

As vazões de referência no rio Paraíba do Sul na UGRHI 02, estão apresentadas na tabela 14.

Tabela 14 - Vazões de referência do rio Paraíba do Sul, em m^3/s , dentro dos limites territoriais da UGRHI 2.

Vazão de referência	Valor
QLP	216 m^3/s
$Q_{7,10}$	72 m^3/s
$Q_{95\%}$	93 m^3/s

Fonte: SIGHRH, 2011.

A figura 23 apresenta as vazões $Q_{95\%}$ e $Q_{7,10}$, do rio Paraíba do Sul no trecho paulista, de acordo com o estudo de regionalização de vazões elaborado no âmbito do Programa de Qualidade das Águas (PQA, 1999), com o objetivo de simular a qualidade da água do rio Paraíba do Sul nesse trecho.

Figura 23 - Gráfico das vazões $Q_{95\%}$ e $Q_{7,10}$, do rio Paraíba do Sul no trecho paulista.

Fonte: PQA, 1999; ANA, 2001.

A disponibilidade hídrica na UGRHI 02 representa aproximadamente 7,5% do total do Estado de São Paulo, sendo a terceira bacia com mais água disponível no Estado, conforme apresentado na tabela 15.

Tabela 15 - Disponibilidade hídrica do rio Paraíba do Sul dentro do limite territorial da UGRHI 2 e do estado de São Paulo, no ano de 2009.

Unidade	Disponibilidade Hídrica (m³/s)		
	Vazão mínima superficial (Q _{7,10})	Reservas exploráveis de água subterrânea	Disponibilidade Total
UGRHI 2	72,0	20,1	92,1
Estado de SP	893,0	336,1	1229,1

Fonte: SIGRH, 2009.

Em termos de demanda de água, segundo o Departamento de Águas e Energia Elétrica, DAEE, no ano de 2009, foram outorgados 13,68 m³/s de água do rio Paraíba do Sul para uso doméstico, industrial e agrícola, conforme apresentado na figura 24.

Figura 24 - Vazão outorgada, em m³/s, para uso doméstico, industrial e agrícola, no ano de 2009.

Fonte: SIGRH, 2009.

O rio Paraíba do Sul representa uma fontes de abastecimento da Região Metropolitana do Rio de Janeiro, todavia o foco principal é a produção de energia hidrelétrica. Neste sentido, foi estabelecido um contrato entre as duas regiões para que a porção paulista da bacia disponibilize cerca de 160 m³/s para o Estado do Rio de Janeiro.

A relação entre demanda e disponibilidade de água determina o balanço hídrico. O quadro 14 apresenta o significado do balanço hídrico, de acordo com a classificação da ONU.

Quadro 14 - Significado dos resultados de um balanço hídrico, com base na classificação da ONU, para avaliar a disponibilidade de água.

Balanço	Disponibilidade
$Q_{outorgada} / Q_{95\%}$	Boa – menor que 30% Atenção – entre 30 e 50% Crítica – maior que 50%
$Q_{outorgada} / Q_{médio}$	Boa – menor que 10% Atenção – entre 10 e 20% Crítica – maior que 20%

Fonte: SIGRH, 2009.

Desta forma, o balanço da relação entre disponibilidade e demanda hídrica na UGRHI 2 pode ser considerada boa ou crítica, conforme apresentado na tabela 16.

Tabela 16 - Demanda de água, disponibilidade hídrica e balanço (demanda X disponibilidade) em 2009, na UGRHI 2.

Demanda (m ³ /s)			Disponibilidade (m ³ /s)		Balanço (%)	
Total outorgado	Comprometida	Total + comprometida	$Q_{95\%}$	$Q_{médio}$	Demanda total outorgada / $Q_{95\%}$	Demanda total + comprometida / $Q_{médio}$
13,68	160,00	173,68	93	216	14,7	80,4

Fonte: DAEE, 2009.

Baseado na tabela 16, segundo o SIGRH (2009), quando a disponibilidade na UGRHI 2 é calculada com base na vazão outorgada, o rio Paraíba do Sul apresenta uma condição boa. Todavia, ao considerar a vazão comprometida para a geração de energia elétrica e o abastecimento da região metropolitana do Rio de Janeiro, o balanço enquadra este rio na categoria crítico, ultrapassando o limite de 20%.

4.3.5 Panorama do Tratamento de Esgoto na UGRHI 2

A área urbana da UGRHI 2 concentrou, em 2010, cerca de 1,8 milhões de habitantes que geraram uma carga orgânica poluidora doméstica de, aproximadamente, 100 ton.DBO/dia.

Os índices de tratamento de esgoto sanitário apresentavam déficits. No ano de 2010, segundo a CETESB, 43% do total do esgoto sanitário gerado recebeu algum tipo de tratamento.

No ano de 2010, dos 34 municípios da UGRHI, 16 trataram menos de 50% dos efluentes gerados, incluindo importantes municípios como São José dos Campos e Jacareí. Como consequência, a carga orgânica poluidora remanescente lançada nos rios e córregos da Bacia alcançou 58 ton.DBO/dia, conforme apresentado na tabela 17.

Tabela 17 - Dados sobre concessão, coleta e tratamento de esgoto e carga poluidora (total e remanescente) nos municípios da UGRHI 2, no ano de 2010.

Município	Concessão	Atendimento (%)		Carga Poluidora (kg DBO/d)	
		Coleta	Tratamento	Potencial	Remanescente
Aparecida	PM	79	0	1865	1865
Arapeí	SABESP	58	0	101	101
Areias	PM	90	0	134	134
Bananal	SABESP	97	100	440	56
Caçapava	SABESP	87	99	3921	851
Cachoeira Paulista	SABESP	99	5	1327	1263
Canas	SABESP	90	100	220	28
Cruzeiro	SAAE	98	0	4056	4056
Cunha	PM	90	16	657	620
Guararema	SABESP	70	35	1202	928
Guaratinguetá	SAAE	90	18	5766	4939
Igaratá	SABESP	57	57	378	263
Jacareí	SAAE	89	20	11253	9482
Jambeiro	SABESP	92	92	138	52
Lagoinha	SABESP	100	100	196	17
Lavrinhas	SABESP	52	0	326	326
Lorena	SABESP	95	100	4330	1533
Monteiro Lobato	SABESP	87	67	97	60
Natividade da Serra	PM	90	96	151	46
Paraibuna	PM	85	0	283	283
Pindamonhangaba	SABESP	93	100	7654	1216
Piquete	PM	76	0	713	713
Potim	PM	100	10	794	717
Queluz	SABESP	67	0	501	501
Redenção da Serra	SABESP	59	100	120	50
Roseira	SABESP	84	100	493	175
Santa Branca	PM	80	13	656	623
Santa Isabel	PM	78	0	2138	2138
São José do Barreiro	PM	50	100	155	94
São José dos Campos	SABESP	88	46	33243	21606
São Luís do Paraitinga	SABESP	84	100	334	67
Silveiras	SABESP	94	100	155	39
Taubaté	SABESP	92	100	14726	2533
Tremembé	SABESP	76	100	1994	630
Total	-	-	-	100.494	58.005

Fonte: CETESB, 2011.

5 MATERIAIS E MÉTODOS

5.1 VARIÁVEIS ESTUDADAS

O presente trabalho foi desenvolvido a partir de dados secundários, levantados para um período de 29 anos, compreendido entre 1981 e 2010.

Para avaliar o impacto do lançamento de esgoto sanitário no rio Paraíba do Sul, foram levantadas informações sobre as atividades urbanas no trecho paulista da bacia, sendo considerada a concentração populacional total e urbana.

As informações relativas às concentrações de OD, DBO, DQO, série de nitrogênio, fósforo e índices de qualidade das águas foram fundamentadas a partir dos dados secundários oriundos da Rede de Monitoramento da Qualidade das Águas Interiores do Estado de São Paulo operacionalizado pela CETESB. Os dados são registrados e disponibilizados anualmente nos Relatórios de Qualidade das Águas Interiores no Estado de São Paulo.

As informações sobre as Estações de Tratamento de Esgoto dos municípios avaliados e os índices de coleta e tratamento de esgoto sanitário foram obtidas junto à CETESB, SABESP, SAEs e prefeituras municipais.

A efetiva quantificação de cargas poluidoras numa bacia hidrográfica deve considerar também levantamentos que abrangem dados físicos e comportamento hidráulico, tais como geologia, precipitação pluviométrica, escoamento, variações climáticas, temperatura, evaporação, vazões, volume de reservatório, profundidade, entre outros (VON SPERLING, 1996). Todavia, neste trabalho tais informações não serão estudadas, devendo-se considerar que as condições físicas e hidráulicas das bacias permaneceram numa média constante durante o período analisado.

5.1.1 Atividade Urbana

Em relação às atividades urbanas, os dados referentes à população total e urbana, por município, foram obtidos na Fundação Sistema Nacional de Análise de Dados (SEADE) através dos sistemas de Informações dos Municípios Paulistas (IMP). O período levantado é de 29 anos, compreendido entre os anos de 1981 e 2010.

Quanto à concentração industrial por município, os dados também foram compilados da SEADE através dos Sistemas de Informações dos Municípios Paulistas, englobando o período entre os anos 1991 e 2010.

5.1.2 Atividade Agrícola

As informações relativas às atividades agrícolas nos municípios do Vale do Paraíba Paulista foram disponibilizados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, IBGE, através da Pesquisa Agrícola Municipal.

Os dados do Levantamento Censitário de Unidades de Produção Agropecuária do Estado de São Paulo (LUPA), projeto desenvolvido no âmbito da Secretaria Estadual de Agricultura e Abastecimento, pela Coordenadoria de Assistência Técnica Integral (CATI) e pelo Instituto de Economia Agrícola (IEA) também foram utilizados.

O IMP, da fundação SEADE, também foi um banco de dados utilizado no levantamento das informações agrícolas nos municípios da UGRHI 2.

5.1.3 Contribuição de Esgoto Sanitário Bruto

A determinação do potencial de carga poluidora da bacia foi obtida a partir das informações relativas ao número de habitantes e das taxas de crescimento populacional de cada município da bacia. As cargas oriundas dos esgotos foram estimadas em termos de DBO, DQO, série de nitrogênio e fósforo.

Os valores de referência adotados, relativos à contribuição per capita diária no esgoto sanitário bruto, foram obtidos com base em dados consagrados da literatura, de acordo com SPERLING (1999), METCALF&EDDY (2003) e PIVELLI (2005), conforme, listado a seguir:

- Vazão de esgoto = 160 L/habitante.dia
- DBO = 54 g/habitante.dia
- DQO = 100 g/habitante.dia;
- Fósforo total= 2,5 g/habitante.dia;
- Nitrogênio orgânico= 5,0 g/habitante.dia;
- Nitrogênio amoniacal = 7,0 g/habitante.dia

5.1.4 Parâmetros Avaliados na Coluna d'Água

Os dados secundários sobre a concentração de OD, DBO, DQO, série de nitrogênio, fósforo e indicadores de qualidade das águas foram compilados a partir das informações fornecidas anualmente pela CETESB, através da Rede de Monitoramento das Águas Interiores, apresentados no Relatório de Qualidade das Águas Interiores.

Esta rede é o sistema oficial de monitoramento da qualidade das águas do estado de São Paulo. A utilização destes dados irá permitir uma análise da

evolução histórica da qualidade das águas do rio Paraíba do Sul. Em relação aos indicadores de qualidade das águas o IQA é analisado pela CETESB desde 1975. Já o IAP e IET são analisados a partir do ano 2002.

Para demonstrar a evolução da qualidade das águas do rio Paraíba do Sul, foram adotadas médias anuais, a partir dos resultados bimestrais, de concentração de cada composto nos corpos d'água, demonstrados nas tabelas. Destas médias anuais, foram obtidas médias para cada grupo de cinco anos, cronologicamente subsequentes, com o intuito de demonstrar a evolução de cada período.

O Índice de Qualidade de Água Bruta para Fins de Abastecimento Público (IAP), Índice de Qualidade de Água para a Proteção da Vida Aquática (IVA) e Índice do Estado Trófico (IET), têm seus dados disponibilizados somente no período de 2002 a 2010. Sua representação será através de médias anuais.

5.1.5 Identificação e Localização dos Pontos de Amostragem da CETESB

A rede de monitoramento operada pela CETESB, no ano de 2010, contava com dezessete pontos de monitoramentos na UGRHI 2, dos quais dezesseis são relativos à rede básica (qualidade de água). Apenas no rio Paraíba do Sul existiam 11 pontos de amostragem de qualidade de água; seis possuíam a função de monitorar captações de abastecimento público de importantes municípios que se desenvolveram às suas margens e os demais para verificar os impactos das fontes de poluição de origem doméstica e industrial.

Nas suas cabeceiras, estão localizados os reservatórios Santa Branca e Jaguari, utilizados para abastecimento público e os reservatórios Paraibúna e Paraitinga, que geram energia elétrica e regularizam a vazão do Paraíba,

além de propiciar atividades de lazer. A tabela 18 apresenta o total de pontos presentes na calha do Rio Paraíba do Sul, no ano de 2010, bem como nos reservatórios de suas cabeceiras.

Tabela 18 - Total de pontos das redes da CETESB na UGRHI 2, no ano de 2010.

Sistema Hídrico	Rede Básica	Praias
Rio Paraíba do Sul	11	...
Reservatório do Jaguari	2	...
Reservatório Santa Branca	1	...
Braço do Rio Palmital	...	1
Braço do Paraibuna	1	...
Braço do Paraitinga	1	...

Fonte: CETESB, 2011.

A pesquisa considerou os 13 pontos de monitoramento localizados na UGRHI 2. Este número é superior à quantidade de pontos no ano de 2010, pois a pesquisa considerou pontos que já foram desativados pela CETESB. A identificação dos pontos e detalhamento de suas principais características, como localização, distância da nascente e enquadramento conforme a classificação prevista na legislação vigente encontra-se descrita na Tabela 19, a seguir.

Tabela 19 - Localização dos pontos da CETESB na UGRHI 2 considerados nesta pesquisa.

Código	Localização	Distância da nascente (km)	Classe do corpo d'água
SANT00100	Reservatório Santa Branca, no meio do corpo central, na junção dos braços do Capivari e Paraibuna	48	1
PARB02050	Rio Paraíba, na captação de Santa Branca, no bairro de Angola de Cima	50,85	2
PARB02100	Rio Paraíba do Sul - Ponte na rodovia SP-77, no trecho que liga Jacareí a Santa Branca	52,7	2
PARB02200	Rio Paraíba, junto à captação do município de Jacareí	113	2
PARB02300	Rio Paraíba do Sul - Ponte de acesso ao loteamento Urbanova, em São José dos Campos	132,6	2
PARB02310	Rio Paraíba, na captação de São José dos Campos	134,2	2
PA2098	São José dos Campos - Rio Paraíba do Sul	137,5	2
PARB02400	Rio Paraíba do Sul - Ponte na rodovia que liga Caçapava a Monteiro Lobato	180,7	2
PARB02490	Rio Paraíba - junto a captação da SABESP em Tremembé	216,7	2
PARB02530	Rio Paraíba, na captação Da SABESP de Pindamonhangaba	233,12	2
PARB02600	Rio Paraíba, ponte que interliga os municípios de Aparecida E Potim, em Aparecida	266	2
PARB02700	Rio Paraíba - Ponte na rodovia BR-459, que liga Lorena a Piqueti	293,5	2
PARB02900	Rio Paraíba, Ponte sobre o rio, na cidade de Queluz	348	2

Ressalta-se que alguns pontos tiveram seu código alterado neste período de 29 anos, conforme apresentado no quadro 15, a seguir.

Quadro 15 - Pontos da CETESB que tiveram o código alterado.

Código do ponto	Novo código
PA2020	PARB02100
PA2097	PARB02300
PA2180	PARB02400
PA2210	PARB02500
PA2410	PARB02700
PA2410	PARB02900

A representação esquemática dos pontos monitorados pela CETESB na coluna d'água localizados no caudal do rio Paraíba do Sul, que serão avaliados, pode ser visualizados na Figura 25 e indicados no quadro 16.

Quadro 16 - Identificação dos pontos da CETESB representados na figura 25.

Código	Código CETESB	Localização
I	SANT00100	Reservatório Santa Branca, no meio do corpo central, na junção dos braços do Capivari e Paraíba
II	PARB02050	Rio Paraíba, na captação de Santa Branca, no bairro de Angola de Cima
III	PARB02100	Rio Paraíba do Sul - Ponte na rodovia SP-77, no trecho que liga Jacareí a Santa Branca
IV	PARB02200	Rio Paraíba, junto à captação do município de Jacareí
V	PARB02300	Rio Paraíba do Sul - Ponte de acesso ao loteamento Urbanova, em São José dos Campos
VI	PA2098	São José dos Campos - Rio Paraíba do Sul
VII	PARB02310	Rio Paraíba, na captação de São José dos Campos
VIII	PARB02400	Rio Paraíba do Sul - Ponte na rodovia que liga Caçapava a Monteiro Lobato
IX	PARB02490	Rio Paraíba - junto a captação da SABESP em Tremembé
X	PARB02530	Rio Paraíba, na captação Da SABESP de Pindamonhangaba
XI	PARB02600	Rio Paraíba, ponte que interliga os municípios de Aparecida E Potim, em Aparecida
XII	PARB02700	Rio Paraíba - Ponte na rodovia BR-459, que liga Lorena a Piqueti
XIII	PARB02900	Rio Paraíba, Ponte sobre o rio, na cidade de Queluz

5.1.6 Identificação e Localização das Estações de Tratamento de Esgoto

As informações referentes à evolução dos índices de coleta e de tratamento de esgoto dos municípios da UGRHI 2 foram obtidas nos Relatórios de Qualidade das Águas Interiores da CETESB, no período de 1981 a 2010.

No ano de 2010, a UGRHI 2 possuía 41 estações de tratamento de esgoto distribuídas em seus municípios. A partir de informações da SABESP, CETESB, SAEE e Prefeituras Municipais, as ETES foram distribuídas proporcionalmente em relação a nascente. A identificação das estações e detalhamento de suas principais características, como município e ano de partida encontram-se descritas no quadro 17.

Quadro 17 - Ano de implantação, localização e nome da estação de tratamento de esgoto da UGRHI 2 consideradas na pesquisa.

Ano	Município	Nome	Ano	Município	Nome
1970	Roseira	ETE Sede	1999	São José do Barreiro	ETE Centro
1973	Pindamonhangaba	ETE Lagoa I	2000	Guaratingueta	ETE Campos Galvão
1973	Lorena	ETE Lorena	2001	São José dos Campos	ETE Jardim das Flores
1973	Caçapava	ETE Central	2003	Canas	ETE Canas
1979	São José dos Campos	ETE Vista Verde	2003	São José dos Campos	ETE Eugênio de Melo
1982	Redenção da Serra	ETE Redenção da Serra	2004	Jacareí	ETE Vila Bela
1984	Pindamonhangaba	ETE Moreira César	2005	Pindamonhangaba	ETE Araretama
1986	Bananal	ETE Cerâmica	2005	São Luiz do Paraitinga	ETE Catuçaba
1989	Roseira	ETE Roseira Velha	2005	Jacareí	ETE Meia Lua
1990	São José dos Campos	ETE Urbanova	2005	Cunha	ETE Campos Novos
1993	Caçapava	ETE Oeste	2005	Jacareí	ETE São Silvestre
1995	Lagoinha	ETE Lagoinha	2005	São Luiz do Paraitinga	ETE São Luiz do Paraitinga
1996	Silveiras	ETE Silveiras	2006	Jacareí	ETE Bandeira Branca
1996	Guaratingueta	ETE Vila Bela	2008	Caçapava	ETE Leste
1998	Igaratá	ETE Igaratá	2008	Guararema	ETE Sede
1998	Jambeiro	ETE Jambeiro	2008	Guaratingueta	ETE Pedregulho
1998	Monterrio Iobato	ETE Monteiro Lobato	2009	Potim	ETE Potim
1998	Pindamonhangaba	ETE Lagoa II	2010	Taubaté	ETE Taubaté-Tremembé
1998	São José dos Campos	ETE Lavapés	2010	Jacareí	ETE 22 de abril
1998	Santa Branca	ETE Maria Carolina	2010	São José dos Campos	ETE São Francisco Xavier
1999	Natividade da Serra	ETE Central			

O esgoto, tratado ou bruto, dos municípios da UGRHI 2 são encaminhados para rio Paraíba do Sul, seus afluentes e reservatórios. A figura 26 relaciona o principal corpo receptor com o município que lança o esgoto. Vale ressaltar que alguns municípios lançam o esgoto em mais de um ponto, todavia, para facilitar a visualização foram indicados esquematicamente apenas um ponto em cada corpo receptor. O quadro 18 descreve os pontos de lançamento de esgotos indicados na figura 26.

Figura 26 - Diagrama unifilar dos pontos de lançamento de esgoto dos municípios da UGRHI 2.

Quadro 18 - Descrição dos pontos de lançamento de esgoto dos municípios desta pesquisa, de acordo com a figura 26.

Código	Município que lança o efluente	Corpo receptor	Código	Município que lança o efluente	Corpo receptor	Código	Município que lança o efluente	Corpo receptor
L1	São Luís do Paraitinga	Rib. Do Chapéu	L21	Igaratá	Res. Jaguari	L41	Canas	Rib. das Canas
L2	Lagoinha	Rib Rodeio	L22	Santa Isabel	Res. Jaguari	L42	Roseira	Rib. Piratingui
L3	São Luís do Paraitinga	R. Paraitinga	L23	Monteiro Lobato	R. Buquira	L43	Cachoeira Paulista	R. Paraiba do Sul
L4	Cunha	Cór. Botucatu	L24	Caçapava	R. Paraiba do Sul	L44	Silveiras	Rib. Silveiras
L5	Paraibuna	R. Paraibuna	L25	Caçapava	R. Caçapava Velha	L45	Piqueti	R. Piqueti
L6	Natividade da Serra	Res. Paraibuna	L26	Taubaté	R. Piracanga	L46	Piqueti	R. Benfica
L7	Redenção da Serra	Res. Paraibuna	L27	Taubaté	Cór. Judeu	L47	Cruzeiro	Rib. Lopes
L8	Santa Branca	R. Paraiba do Sul	L28	Taubaté/ Tremembé	R. Paraiba do Sul	L48	Cachoeira Paulista	Rib. Das Pitas
L9	Santa Isabel	R. Araraquara	L29	Pindamonhangaba	R. Uma	L49	Cruzeiro	Rib. Lopes
L10	Jambeiro	Res. Santa Branca	L30	Pindamonhangaba	R. Paraiba do Sul	L50	Cruzeiro	R. Paraiba do Sul
L11	Santa Branca	Rib. dos Barretos	L31	Pindamonhangaba	R. Curuputuba	L51	Lavrinhas	R. Jacu
L12	Guararema	R. Paraiba do Sul	L32	Potim	R. Paraiba do Sul	L52	Queluz	R. Verde
L13	Jacareí	R. Paraiba do Sul	L33	Lavrinhas	R. Jacú	L53	Queluz	R. Paraiba do Sul
L14	Jacareí	Rib. Turi	L34	Aparecida	R. Paraiba do Sul	L54	Arapeí	Rib. de Baixo
L15	São José dos Campos	Rib. Alambari	L35	Guaratinguetá	Rib. S. Gonçalo	L55	São José do Barreiro	Cór. Estância
L16	São José dos Campos	Rib. Parangaba	L36	Guaratinguetá	Rib. Guaratinguetá	L56	Bananal	R. Bananal
L17	São José dos Campos	R. Peixe	L37	Guaratinguetá	Rib das Motas	L57	São José do Barreiro	Rib. Do Barreiro
L18	São José dos Campos	R. Paraiba do Sul	L38	Guaratinguetá	R. Paraiba do Sul	L58	Areias	Rib. Vermelho
L19	São José dos Campos	R. Cambuí	L39	Lorena	Rib. Taboão			
L20	Igaratá	R. Palmeira	L40	Lorena	R. Pariba do Sul			

5.1.7 Lógica do Estudo no Rio Paraíba do Sul

No desenvolvimento do presente trabalho, o impacto das estações de tratamento de esgoto municipais sobre a qualidade das águas do rio Paraíba do Sul será analisado em termos de crescimento populacional, evolução dos índices de coleta e tratamento de esgoto, ano de implantação das estações de tratamento de esgoto e evolução da qualidade das águas do rio Paraíba do Sul.

A partir do crescimento populacional dos municípios será possível caracterizar o esgoto sanitário bruto e a carga orgânica potencial que seria lançada no rio Paraíba do Sul e seus afluentes, caso não existissem sistemas de tratamento de esgoto na região.

O esgoto sanitário, bruto ou tratado, produzido pelos municípios é lançado no rio Paraíba do Sul e seus afluentes. Esta pesquisa irá focar apenas o caudal do Rio Paraíba do Sul, já que o impacto dos seus afluentes poderá ser visualizado na qualidade deste rio, uma vez que os pontos de amostragem de qualidade da água da CETESB foram alocados no unifilar a

partir da distância da nascente do Paraíba do Sul, sendo possível identificar seus afluentes.

O mesmo princípio vale para a avaliação do impacto das ETEs. Com base no ano de início de operação e na sua localização, em relação à nascente do rio Paraíba do Sul, será possível avaliar o impacto destas estações sobre a qualidade das águas do rio, para os parâmetros selecionados, que são medidos na rede de monitoramento da CETESB.

Esta pesquisa dividiu didaticamente o trecho paulista do rio Paraíba do Sul em três compartimentos, com base nas características geográficas e de topografia do mesmo, conforme apresentado no quadro 19 a seguir.

Quadro 19 - Divisão do rio Paraíba do Sul adotado nesta pesquisa.

Compartimento	Características morfológicas do rio	Municípios
Alto Paraíba - SP	O rio apresenta baixa sinuosidade e trechos com corredeiras. Gradiente de velocidade das águas é elevado.	Nascente até Jacareí (trecho inicial)
Médio Paraíba - SP	Trecho meandrado e sinuoso, sem corredeiras. O gradiente de velocidade das águas é baixo. A calha do rio é mais estreita. A partir de Caçapava, distância entre as margens começa a aumentar, com o reaparecimento de corredeiras.	Jacareí até Lavrinhas
Baixo Paraíba - SP	O rio perde a sinuosidade e deixa de ser meandrado. A calha é mais larga, com saltos, corredeiras e trechos encachoeirados.	Aparecida até Areias

A figura 27 apresenta o esquema unifilar dos pontos de amostragem da CETESB e os pontos onde são lançados os efluentes municipais, brutos ou tratados, utilizados neste estudo.

Figura 27 - Diagrama unifilar da UGRHI 2 indicando a localização dos pontos de lançamento de esgoto sanitário e dos pontos de amostragem da CETESB.

No sentido de apresentar os resultados, optou-se pela representação gráfica do comportamento das variáveis físicas e químicas, com plotagem dos pontos de forma interpolada, onde se demonstra no eixo das abscissas a distância dos pontos de monitoramento, desde a nascente até o Reservatório do Funil, divisa com o estado do Rio de Janeiro; e no eixo da ordenada a concentração de cada composto estudado.

A localização das ETES e dos municípios que estão situados na calha do rio Paraíba do Sul também aparecem nestes gráficos, para visualizar a relação.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1 EVOLUÇÃO DAS VARIÁVEIS

Para a verificação das variáveis, foram levantados dados disponíveis sobre concentração populacional total e urbana, número de indústrias, extensão de áreas agrícolas e o número de ETes.

As informações demográficas e a implantação das ETes são anuais, abrangendo o período de 1981 a 2010, enquanto os dados sobre número de indústrias e áreas agrícolas são a partir de 1991 e 1995, respectivamente.

6.1.1 Concentração Populacional Total e Urbana

O trecho paulista do rio Paraíba do Sul possuía, no ano de 2010, aproximadamente 2,0 milhões de habitantes, valor que correspondia a 4,8 % da população total do Estado de São Paulo.

Segundo dados da fundação SEADE, a população urbana da UGRHI 2, no ano de 2010, era de 1,8 milhões de habitantes, o que correspondia a 6,0% da população urbana de todo o Estado de São Paulo e 93,4% da população total do Vale do Paraíba Paulista.

Nas tabelas 20, 21, 22, 23, 24 e 25 a seguir, verificam-se os dados relativos à população total e população urbana dos municípios que compõe a UGRHI 2, entre os anos de 1981 a 2010, apresentado em blocos de cinco anos.

Tabela 20 - População total e urbana nos municípios da UGRHI 2, no período de 1981 a 1985.

Ano		1981		1982		1983		1984		1985	
Município		População Total	População Urbana	População Total	População Urbana	População Total	População Urbana	População Total	População Urbana	População Total	População Urbana
ALTO PARAIBA - SP	São Luis do Paraitinga	9.767	4.052	9.789	4.156	9.809	4.260	9.827	4.364	9.843	4.467
	Paraibuna	14.195	5.606	14.276	5.633	14.353	5.658	14.428	5.682	14.500	5.706
	Lagoinha	4.461	1.503	4.482	1.568	4.503	1.633	4.522	1.698	4.541	1.764
	Cunha	21.070	6.669	21.312	6.907	21.553	7.143	21.791	7.376	22.027	7.607
	Natividade da Serra	6.862	1.940	6.829	1.977	6.794	2.013	6.757	2.047	6.720	2.082
	Redenção da Serra	3.992	1.276	3.997	1.318	4.002	1.359	4.006	1.400	4.010	1.441
	Santa Isabel	29.641	19.153	30.402	19.943	31.176	20.757	31.962	21.595	32.760	22.455
	Jambeiro	2.906	1.042	2.944	1.073	2.982	1.104	3.019	1.135	3.057	1.167
	Santa Branca	8.632	6.801	8.792	7.013	8.954	7.231	9.116	7.450	9.279	7.674
	Guararema	15.317	7.520	15.576	8.115	15.836	8.725	16.097	9.351	16.358	9.992
MÉDIO PARAIBA - SP	Jacareí	118.932	111.127	122.865	115.096	126.901	119.181	131.042	123.384	135.287	127.707
	São José dos Campos	297.314	286.324	309.457	297.986	322.026	310.055	335.034	322.547	348.490	335.469
	Igaratá	4.498	2.320	4.655	2.480	4.815	2.644	4.980	2.812	5.149	2.984
	Monteiro Lobato	2.742	707	2.801	748	2.861	791	2.922	835	2.983	880
	Caçapava	52.375	46.120	53.626	47.232	54.895	48.361	56.182	49.506	57.486	50.667
	Taubaté	171.990	164.051	175.285	167.226	178.604	170.427	181.947	173.653	185.311	176.901
	Tremembé	18.696	15.484	19.441	16.226	20.212	16.995	21.009	17.790	21.833	18.612
	Pindamonhangaba	71.672	64.851	74.275	67.491	76.956	70.209	79.717	73.006	82.558	75.883
	Potim	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	Lavrínhas	3.742	2.074	3.828	2.210	3.916	2.351	4.005	2.497	4.096	2.648
BAIXO PARAIBA - SP	Aparecida	29.649	27.995	30.021	28.453	30.392	28.913	30.760	29.373	31.126	29.834
	Guaratingueta	86.150	74.570	87.683	76.419	89.225	78.294	90.773	80.193	92.329	82.117
	Lorena	58.495	54.072	59.858	55.500	61.239	56.954	62.639	58.433	64.058	59.938
	Canas	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	Roseira	4.938	4.052	5.052	4.137	5.169	4.224	5.287	4.311	5.407	4.400
	Cachoeira Paulista	20.756	16.730	20.999	16.927	21.241	17.123	21.480	17.316	21.718	17.510
	Silveiras	3.977	1.157	4.065	1.202	4.153	1.249	4.242	1.296	4.333	1.345
	Piqueti	14.405	10.622	14.453	10.942	14.499	11.263	14.542	11.583	14.582	11.903
	Cruzeiro	58.794	55.996	59.752	56.964	60.712	57.935	61.674	58.911	62.638	59.891
	Queluz	7.056	5.198	7.122	5.315	7.189	5.435	7.253	5.554	7.318	5.676
	Arapeí	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	São José do Barreiro	4.035	1.601	4.029	1.654	4.021	1.706	4.013	1.757	4.004	1.808
	Bananal	11.001	5.972	11.047	6.135	11.091	6.298	11.132	6.461	11.172	6.624
	Areias	3.667	1.503	3.632	1.533	3.595	1.561	3.559	1.589	3.522	1.616
Total		1.161.727	1.008.088	1.192.345	1.039.579	1.223.674	1.071.852	1.255.717	1.104.905	1.288.495	1.138.768

Tabela 21 - População total e urbana nos municípios da UGRHI 2, no período de 1986 a 1990.

Ano		1986		1987		1988		1989		1990	
Município		População Total	População Urbana	População Total	População Urbana	População Total	População Urbana	População Total	População Urbana	População Total	População Urbana
ALTO PARAIBA - SP	São Luis do Paraitinga	9.857	4.570	9.868	4.671	9.877	4.771	9.884	4.871	9.888	4.968
	Paraibuna	14.569	5.728	14.635	5.748	14.698	5.767	14.758	5.785	14.814	5.801
	Lagoinha	4.560	1.830	4.577	1.896	4.593	1.961	4.608	2.027	4.622	2.093
	Cunha	22.261	7.837	22.492	8.063	22.721	8.287	22.946	8.507	23.168	8.725
	Natividade da Serra	6.681	2.115	6.641	2.147	6.599	2.178	6.557	2.209	6.513	2.238
	Redenção da Serra	4.012	1.481	4.013	1.521	4.013	1.561	4.013	1.601	4.011	1.640
	Santa Isabel	33.572	23.342	34.396	24.253	35.232	25.188	36.079	26.147	36.937	27.132
	Jarbeiro	3.095	1.200	3.132	1.232	3.169	1.265	3.206	1.299	3.242	1.332
	Santa Branca	9.443	7.902	9.608	8.134	9.774	8.370	9.940	8.609	10.107	8.852
	Guararema	16.620	10.650	16.882	11.323	17.145	12.013	17.408	12.719	17.670	13.439
MÉDIO PARAIBA - SP	Jacareí	139.638	132.150	144.097	136.716	148.664	141.403	153.340	146.217	158.123	151.152
	São José dos Campos	362.406	348.829	376.791	362.636	391.656	376.901	407.011	391.628	422.866	406.829
	Igaratá	5.323	3.161	5.502	3.344	5.685	3.530	5.873	3.721	6.066	3.917
	Monteiro Lobato	3.045	927	3.108	975	3.171	1.025	3.235	1.075	3.299	1.128
	Caçapava	58.807	51.844	60.146	53.036	61.501	54.244	62.870	55.462	64.255	56.696
	Taubaté	188.695	180.167	192.097	183.452	195.515	186.753	198.947	190.066	202.390	193.389
	Tremembé	22.683	19.459	23.561	20.335	24.467	21.239	25.402	22.172	26.367	23.134
	Pindamonhangaba	85.482	78.844	88.489	81.886	91.580	85.013	94.757	88.226	98.020	91.524
	Potim	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	Lavrinhas	4.187	2.803	4.280	2.964	4.373	3.129	4.468	3.300	4.563	3.475
BAIXO PARAIBA - SP	Aparecida	31.489	30.294	31.849	30.755	32.205	31.213	32.558	31.671	32.907	32.127
	Guaratingueta	93.890	84.065	95.456	86.035	97.025	88.026	98.596	90.037	100.170	92.068
	Lorena	65.493	61.466	66.946	63.019	68.415	64.594	69.900	66.193	71.399	67.811
	Canas	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	Roseira	5.528	4.490	ni	4.579	ni	4.670	ni	4.761	ni	4.853
	Cachoeira Paulista	21.953	17.700	22.186	17.889	22.416	18.075	22.643	18.259	22.867	18.440
	Silveiras	4.424	1.395	4.517	1.446	4.610	1.498	4.704	1.552	4.799	1.606
	Piquet	14.619	12.221	14.653	12.540	14.683	12.855	14.710	13.169	14.733	13.479
	Cruzeiro	63.602	60.872	64.566	61.855	65.530	62.839	66.492	63.822	67.452	64.805
	Queluz	7.380	5.795	7.442	5.916	7.502	6.036	7.562	6.158	7.619	6.278
	Árapeí	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	São José do Barreiro	3.995	1.859	3.984	1.909	3.972	1.957	3.960	2.006	3.946	2.053
	Bananal	11.208	6.785	11.243	6.947	11.274	7.107	11.303	7.267	11.329	7.425
	Areias	3.484	1.641	3.446	1.665	3.408	1.688	3.369	1.710	3.330	1.731
	Total	1.322.001	1.173.422	1.350.603	1.208.887	1.385.473	1.245.156	1.421.099	1.282.246	1.457.472	1.320.140

Tabela 22 - População total e urbana nos municípios da UGRHI 2, no período de 1991 a 1995.

Ano		1991		1992		1993		1994		1995	
Município		População Total	População Urbana	População Total	População Urbana	População Total	População Urbana	População Total	População Urbana	População Total	População Urbana
ALTO PARAIBA - SP	São Luis do Paraitinga	9.894	5.054	9.955	5.172	10.013	5.289	10.070	5.407	10.126	5.525
	Paraibuna	14.867	5.816	15.125	5.783	15.396	5.750	15.639	5.701	15.871	5.645
	Lagoinha	4.635	2.150	4.672	2.228	4.707	2.305	4.742	2.384	4.776	2.463
	Cunha	23.385	8.918	23.416	9.192	23.416	9.454	23.396	9.708	23.372	9.960
	Natividade da Serra	6.466	2.259	6.520	2.322	6.573	2.386	6.626	2.450	6.679	2.515
	Redenção da Serra	4.004	1.671	4.009	1.666	4.013	1.661	4.017	1.656	4.021	1.651
	Santa Isabel	37.808	28.088	38.505	28.657	39.113	29.161	39.751	29.689	40.366	30.201
	Jarabeiro	3.279	1.364	3.358	1.422	3.436	1.482	3.514	1.542	3.592	1.604
	Santa Branca	10.273	9.083	10.580	9.374	10.890	9.669	11.196	9.962	11.488	10.243
	Guararema	17.934	14.104	18.376	14.497	18.801	14.878	19.237	15.270	19.666	15.659
MÉDIO PARAIBA - SP	Jacareí	163.017	156.153	166.177	159.194	169.273	162.173	172.299	165.086	175.350	168.024
	São José dos Campos	439.231	422.498	450.535	434.666	461.476	446.548	472.264	458.344	482.831	469.987
	Igaratá	6.262	4.116	6.487	4.301	6.709	4.487	6.930	4.674	7.150	4.863
	Monteiro Lobato	3.364	1.177	3.392	1.213	3.419	1.249	3.446	1.285	3.473	1.322
	Caçapava	65.655	57.938	66.849	58.949	67.996	59.916	69.115	60.858	70.255	61.817
	Taubaté	205.840	196.702	210.315	200.646	214.475	204.276	218.572	207.833	222.713	211.419
	Tremembé	27.363	24.110	28.078	24.667	28.898	25.312	29.763	25.992	30.617	26.658
	Pindamonhangaba	101.371	94.910	103.988	97.460	106.611	100.020	109.255	102.605	111.890	105.187
	Potim	...	...	...	...	10.533	10.307	10.963	10.688	11.392	11.065
	Lavrinhas	4.660	3.642	4.810	3.814	4.957	3.986	5.104	4.162	5.250	4.341
BAIXO PARAIBA - SP	Aparecida	33.249	32.561	33.494	32.822	33.696	33.042	33.906	33.269	34.133	33.514
	Guaratingueta	101.743	94.027	103.632	96.105	94.964	87.860	96.348	89.503	97.696	91.122
	Lorena	72.913	69.420	73.978	70.471	75.004	71.487	75.983	72.463	76.977	73.455
	Canas	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	Roseira	ni	4.946	ni	5.255	6.687	5.568	6.951	5.889	7.214	6.217
	Cachoeira Paulista	23.089	18.618	23.535	18.952	23.977	19.282	24.437	19.625	24.858	19.936
	Silveiras	4.893	1.658	4.947	1.741	4.999	1.824	5.051	1.908	5.102	1.994
	Piquet	14.752	13.749	14.857	13.855	14.929	13.928	14.994	13.994	15.063	14.064
	Cruzeiro	68.409	65.773	69.043	66.437	69.665	67.090	70.256	67.714	70.856	68.348
	Queluz	7.676	6.388	7.836	6.551	7.993	6.711	8.149	6.870	8.304	7.028
	Arapeí	...	...	...	...	2.350	1.577	2.387	1.621	2.424	1.665
	São José do Barreiro	3.936	2.095	3.959	2.135	3.981	2.176	4.003	2.216	4.025	2.257
	Bananal	11.353	7.562	11.464	7.726	9.220	6.311	9.288	6.431	9.355	6.552
	Areias	3.292	1.746	3.327	1.820	3.360	1.895	3.393	1.970	3.425	2.046
	Total	1.494.613	1.358.296	1.525.219	1.389.093	1.561.530	1.419.060	1.591.045	1.448.769	1.620.310	1.478.347

Tabela 23 - População total e urbana nos municípios da UGRHI 2, no período de 1996 a 2000.

Ano		1996		1997		1998		1999		2000	
Município		População Total	População Urbana	População Total	População Urbana	População Total	População Urbana	População Total	População Urbana	População Total	População Urbana
ALTO PARAIBA - SP	São Luis do Paraitinga	10.181	5.644	10.237	5.764	10.299	5.889	10.364	6.016	10.424	6.142
	Paraibuna	16.100	5.583	16.311	5.512	16.526	5.438	16.766	5.368	16.988	5.288
	Lagoinha	4.809	2.542	4.843	2.623	4.881	2.706	4.920	2.792	4.954	2.875
	Cunha	23.325	10.202	23.262	10.435	23.206	10.670	23.157	10.906	23.093	11.135
	Natividade da Serra	6.731	2.580	6.783	2.646	6.838	2.714	6.894	2.783	6.947	2.851
	Redenção da Serra	4.025	1.646	4.029	1.640	4.035	1.636	4.042	1.632	4.047	1.627
	Santa Isabel	40.957	30.697	41.606	31.239	42.283	31.803	42.963	32.371	43.682	32.970
	Jambeiro	3.669	1.666	3.747	1.730	3.826	1.796	3.906	1.863	3.985	1.931
	Santa Branca	11.789	10.533	12.096	10.830	12.400	11.125	12.701	11.419	12.982	11.696
	Guararema	20.086	16.043	20.510	16.432	20.943	16.830	21.397	17.248	21.864	17.678
MÉDIO PARAIBA - SP	Jacareí	178.445	171.004	181.530	173.976	184.697	177.026	187.933	180.143	191.011	183.109
	São José dos Campos	493.394	481.687	504.305	493.789	515.709	506.437	527.235	519.271	538.298	531.714
	Igaratá	7.368	5.054	7.588	5.248	7.814	5.449	8.043	5.654	8.271	5.862
	Monteiro Lobato	3.499	1.359	3.526	1.396	3.555	1.435	3.585	1.475	3.613	1.514
	Caçapava	71.381	62.762	72.498	63.697	73.668	64.678	74.859	65.675	76.027	66.651
	Taubaté	226.791	214.932	230.991	218.547	235.281	222.235	239.574	225.911	243.783	229.495
	Tremembé	31.435	27.288	32.222	27.887	33.021	28.493	33.863	29.131	34.746	29.800
	Pindamonhangaba	114.519	107.768	117.206	110.408	119.997	113.152	122.878	115.986	125.775	118.841
	Potim	11.819	11.437	12.249	11.808	12.686	12.183	13.127	12.559	13.562	12.926
	Lavrinhas	5.395	4.522	5.542	4.708	5.693	4.900	5.846	5.098	5.994	5.295
BAIXO PARAIBA - SP	Aparecida	34.326	33.725	34.470	33.888	34.619	34.057	34.790	34.247	34.888	34.366
	Guaratingueta	99.013	92.722	100.350	94.351	101.626	95.932	102.860	97.483	104.101	99.050
	Lorena	77.936	74.417	75.506	72.698	76.330	73.494	77.169	74.304	77.914	75.024
	Canas	...	...	3.317	2.616	3.413	2.752	3.510	2.891	3.605	3.033
	Roseira	7.476	6.551	7.740	6.894	8.010	7.251	8.282	7.618	8.551	7.989
	Cachoeira Paulista	25.276	20.244	25.726	20.576	26.194	20.922	26.683	21.284	27.164	21.638
	Silveiras	5.153	2.081	5.205	2.170	5.260	2.261	5.317	2.354	5.373	2.449
	Piqueti	15.122	14.124	15.166	14.169	15.175	14.179	15.181	14.186	15.196	14.205
	Cruzeiro	71.428	68.956	71.952	69.518	72.470	70.076	72.969	70.616	73.444	71.133
	Queluz	8.457	7.184	8.612	7.342	8.774	7.507	8.939	7.675	9.098	7.834
	Arapeí	2.461	1.709	2.498	1.754	2.537	1.801	2.577	1.849	2.615	1.897
	São José do Barreiro	4.046	2.298	4.067	2.339	4.091	2.382	4.116	2.426	4.141	2.470
	Bananal	9.420	6.672	9.487	6.795	9.560	6.923	9.636	7.054	9.707	7.183
	Areias	3.457	2.123	3.490	2.202	3.525	2.283	3.562	2.366	3.597	2.450
Total		1.649.289	1.507.755	1.678.667	1.537.627	1.708.942	1.568.415	1.739.644	1.599.654	1.769.440	1.630.121

Tabela 24 - População total e urbana nos municípios da UGRHI 2, no período de 2001 a 2005.

Ano		2001		2002		2003		2004		2005	
Município		População Total	População Urbana	População Total	População Urbana	População Total	População Urbana	População Total	População Urbana	População Total	População Urbana
ALTO PARAIBA - SP	São Luis do Paraitinga	10.460	6.276	10.464	6.279	10.470	6.283	10.476	6.287	10.727	6.476
	Paraibuna	17.065	5.325	17.147	5.350	17.213	5.371	17.261	5.386	18.383	5.265
	Lagoinha	4.954	2.874	4.941	2.871	4.924	2.861	4.913	2.855	5.050	2.986
	Cunha	23.042	11.107	22.981	11.077	22.905	11.041	22.791	10.986	23.449	11.576
	Natividade da Serra	6.944	2.849	6.937	2.845	6.912	2.833	6.869	2.820	7.258	3.192
	Redenção da Serra	4.032	1.654	4.011	1.645	3.983	1.634	3.966	1.587	4.089	1.687
	Santa Isabel	44.510	33.828	45.246	34.390	45.940	34.917	46.612	35.427	46.767	35.761
	Jarbeiro	4.129	2.003	4.276	2.074	4.424	2.142	4.559	2.207	4.423	2.384
	Santa Branca	13.071	11.895	13.176	11.991	13.267	12.073	13.354	12.020	14.509	13.232
	Guararema	22.307	18.025	22.722	18.359	23.146	18.702	23.577	19.051	24.111	19.810
MÉDIO PARAIBA - SP	Jacareí	193.323	185.397	195.541	187.524	197.590	189.292	199.573	191.191	206.014	198.169
	São José dos Campos	548.091	541.514	557.332	550.646	566.375	559.579	575.337	568.433	584.311	578.450
	Igaratá	8.361	5.920	8.436	5.973	8.493	6.014	8.550	6.054	9.250	7.128
	Monteiro Lobato	3.670	1.538	3.726	1.562	3.775	1.582	3.819	1.601	3.764	1.680
	Caçapava	77.050	67.486	77.951	68.286	78.786	69.017	79.626	69.753	81.370	72.062
	Taubaté	247.562	232.710	251.168	236.601	254.685	239.404	258.182	242.692	264.031	249.846
	Tremembé	35.438	30.477	36.089	31.037	36.688	31.552	37.302	32.080	39.731	34.821
	Pindamonhangaba	128.230	121.178	130.476	123.300	132.634	125.340	134.803	127.389	139.800	132.916
	Potim	14.144	13.480	14.754	14.061	15.339	14.620	15.901	15.154	16.160	15.529
	Lavrinhas	6.063	5.336	6.113	5.398	6.167	5.452	6.229	5.507	6.756	6.062
BAIXO PARAIBA - SP	Aparecida	34.893	34.369	34.888	34.365	34.884	34.361	34.859	34.337	36.316	35.800
	Guaratingueta	105.146	99.994	106.115	100.916	106.936	101.697	107.706	102.429	111.084	106.070
	Lorena	78.452	75.550	78.946	76.025	79.406	76.467	79.906	76.950	81.843	78.974
	Canas	3.677	3.097	3.759	3.166	3.832	3.227	3.904	3.287	4.074	3.506
	Roseira	8.660	8.141	8.764	8.239	8.867	8.335	8.972	8.344	10.016	9.458
	Cachoeira Paulista	27.534	21.918	27.859	22.176	28.146	22.405	28.419	22.622	29.431	23.945
	Silveiras	5.419	2.493	5.466	2.515	5.526	2.542	5.572	2.565	5.642	2.739
	Piqueti	15.096	14.191	14.990	14.091	14.902	14.008	14.808	13.920	15.415	14.431
	Cruzeiro	73.917	71.552	74.308	71.931	74.656	72.267	75.000	72.600	76.230	73.936
	Queluz	9.338	8.031	9.567	8.238	9.801	8.440	10.036	8.641	9.808	8.533
Total		1.794.715	1.654.239	1.818.360	1.677.016	1.840.942	1.697.576	1.863.193	1.718.326	1.911.723	1.771.364

Tabela 25 - População total e urbana nos municípios da UGRHI 2, no período de 2006 a 2010.

	Ano	2006		2007		2008		2009		2010	
		População Total	População Urbana	População Total	População Urbana	População Total	População Urbana	População Total	População Urbana	População Total	População Urbana
ALTO PARAIBA - SP	Município										
	Aparecida	36.318	35.800	36.817	36.303	37.405	36.846	37.629	37.066	36.006	35.497
	Arapeí	2.810	2.100	2.842	2.135	2.587	1.977	2.582	1.873	2.494	1.876
	Areias	3.821	2.682	3.907	2.777	3.684	2.609	3.690	2.513	3.695	2.477
	Bananal	10.199	7.703	10.282	7.795	10.727	7.937	10.219	8.008	10.822	8.154
	Caçapava	82.354	73.082	83.350	74.114	84.406	73.996	84.181	73.676	84.676	72.452
	Cachoeira Paulista	29.871	24.406	30.319	24.875	33.999	26.083	34.666	27.614	34.066	26.552
	Canas	4.164	3.598	4.257	3.693	4.662	3.823	4.378	4.010	4.765	4.064
	Cruzeiro	76.230	73.936	76.318	75.042	76.418	76.118	77.009	77.000	79.957	77.441
	Cunha	23.449	11.578	23.726	11.946	23.693	12.005	23.735	11.445	23.876	12.173
MÉDIO PARAIBA - SP	Guararema	24.583	20.271	25.064	20.741	26.523	21.445	26.974	21.809	25.808	22.209
	Guaratingueta	111.084	106.070	113.699	108.724	112.596	107.133	113.357	107.857	112.004	106.697
	Igaratá	9.759	7.376	10.005	7.632	9.896	7.305	9.750	6.943	9.826	7.001
	Jacaré	208.766	200.951	211.555	203.771	210.988	202.259	212.824	204.019	211.040	208.125
	Jambeiro	4.506	2.475	4.590	2.567	5.409	2.620	5.550	2.689	5.436	2.555
	Lagoinha	5.073	3.017	5.097	3.049	4.917	2.954	4.909	2.849	4.872	3.139
	Lavrinhas	6.900	6.209	7.047	6.358	6.915	6.208	7.002	6.185	7.011	6.144
	Lorena	82.566	79.708	83.196	80.449	82.391	79.335	82.770	79.700	82.498	80.135
	Monteiro Lobato	3.792	1.716	3.820	1.752	4.235	1.775	4.295	1.800	4.116	1.776
	Natividade da Serra	7.320	3.270	7.383	3.348	7.413	3.324	7.674	3.149	7.680	2.989
BAIXO PARAIBA - SP	Paraibuna	18.619	5.273	18.859	5.281	17.863	5.250	17.833	5.240	17.985	5.241
	Pindamonhangaba	142.355	135.498	144.958	138.127	142.997	135.113	144.613	136.640	146.807	141.527
	Piquet	15.415	14.431	15.519	14.543	14.766	14.103	14.709	13.750	14.116	13.220
	Potim	16.160	15.529	16.939	16.313	19.026	17.087	20.668	19.699	20.722	19.666
	Queluz	9.952	8.702	10.100	8.855	11.012	9.082	11.197	9.641	11.289	9.659
	Redenção da Serra	4.103	1.710	4.117	1.734	4.230	1.741	4.245	1.757	4.261	2.214
	Roseira	10.288	9.732	10.566	10.012	10.602	10.020	10.699	10.034	10.721	10.055
	Santa Branca	14.780	13.508	15.057	13.790	15.811	13.443	15.881	13.506	15.957	13.635
	Santa Isabel	47.352	36.318	47.944	36.881	48.145	36.907	48.902	37.401	50.393	39.544
	São José do Barreiro	4.295	2.534	4.350	2.704	4.461	2.661	4.490	2.678	4.578	2.870
São José dos Campos	602.544	596.033	612.312	605.826	619.229	607.778	620.871	608.339	629.106	616.308	
São Luis do Paraitinga	10.798	6.563	10.870	6.652	10.872	6.506	10.908	6.427	11.397	6.480	
Silveiras	5.694	2.602	5.746	2.866	5.803	2.845	5.841	2.662	5.788	2.877	
Taubaté	268.090	253.960	272.210	258.134	270.918	255.040	273.426	257.401	278.379	272.373	
Tremembé	40.628	35.737	41.544	36.672	41.601	36.222	41.159	36.300	41.928	36.886	
	Total	1.944.638	1.804.078	1.974.365	1.835.461	1.986.200	1.829.550	1.998.636	1.841.680	2.014.075	1.874.011

Pelos dados levantados pode-se inferir que a população da UGRHI 2 é predominantemente urbana. Esta população, que era de 1,0 milhão de habitantes no ano de 1981, atingiu 1,9 milhões de habitantes em 2010. Em termos percentuais, a população urbana, que no ano de 1981 representava 87% da população total da UGRHI 2 alcançou a marca de 93% no ano de 2010. Em termos absolutos, a população urbana quase dobrou nestes 29 anos.

Dentre os municípios mais populosos, o maior peso está em São José dos Campos, que no ano de 2010 possuía uma população total de quase 620 mil habitantes. Este município era seguido por Taubaté e Jacareí, com populações da ordem de 280 mil e 210 mil habitantes, respectivamente.

Outros municípios populosos da UGRHI 2 são Guaratinguetá e Pindamonhangaba com, aproximadamente, 150 mil habitantes cada um, no ano de 2010, e também Lorena e Caçapava, com população estimada na ordem de 85 mil habitantes neste mesmo ano.

A partir destes dados, pode-se verificar o crescimento populacional anual médio nos municípios da UGRHI 2. Observa-se uma tendência de desaceleração no crescimento no período de 29 anos. Ainda que a população na UGRHI tenha quase dobrado em termos de numéricos, o crescimento médio da população total foi reduzido de 1,6 % no ano de 1982 para 1,2% no ano de 2010 e o crescimento médio da população urbana foi reduzido de 3,3 % no ano de 1982 para 2,0% em 2010. Em números absolutos, estas populações apresentaram um crescimento em todo o período.

O comparativo do crescimento total e urbano da UGRHI 2 e sua tendência à desaceleração podem ser visualizados na figura 28, abaixo.

Figura 28 - Taxa de crescimento total e urbano, em %, na UGRHI 2, no período de 1981 a 2010.

Infere-se que a taxa de crescimento populacional na UGRHI 02 apresentou um declínio significativo desde a década de 1990. A tabela 26 compara a evolução da taxa de crescimento populacional dos municípios UGRHI 02 em três períodos: do ano de 1980 até 1991, de 1991 até 2000 e de 2000 até 2010, com base nos dados de população da SEADE.

Tabela 26 - Evolução da taxa de crescimento populacional, em %, nos municípios da UGRHI 2, nos períodos de 1980 a 1991; 1991 a 2000 e 2000 a 2010.

	Município	1980/1991 (% aa)	1991/2000 (% aa)	2000/2010 (% aa)
ALTO PARAÍBA - SP	São Luis do Paraitinga	0,14	0,58	-0,03
	Paraibuna	0,47	1,49	0,23
	Lagoinha	0,39	0,74	-0,23
	Cunha	1,06	-0,14	-0,54
	Natividade da Serra	-0,58	0,8	-0,39
	Redenção da Serra	0,04	0,12	-0,44
	Santa Isabel	2,47	1,62	1,44
	Jambeiro	1,22	2,19	2,96
	Santa Branca	1,76	2,63	0,58
	Guararema	1,6	2,23	1,67
MÉDIO PARAÍBA - SP	Jacareí	3,21	1,78	1
	São José dos Campos	3,99	2,29	1,57
	Igaratá	3,37	3,14	0,65
	Monteiro Lobato	2,08	0,8	1,31
	Caçapava	2,29	1,64	1,08
	Taubaté	1,82	1,9	1,34
	Tremembé	3,89	2,69	1,65
	Pindamonhangaba	3,54	2,43	1,56
	Potim	...	3,83	3,61
	Lavrinhas	2,23	2,84	0,94
BAIXO PARAÍBA - SP	Aparecida	1,16	0,54	0,03
	Guaratingueta	1,68	1,37	0,73
	Lorena	2,24	1,17	0,57
	Canas	...	3,05	1,96
	Roseira	2,23	3,72	1,15
	Cachoeira Paulista	1,08	1,82	1,02
	Silveiras	2,1	1,05	0,75
	Piqueti	0,25	0,33	-0,73
	Cruzeiro	1,53	0,79	0,48
	Queluz	0,85	1,91	2,18
	Arapeí	...	1,56	-0,47
	São José do Barreiro	-0,24	0,57	-0,15
	Bananal	0,32	0,75	0,52
	Areias	-1,07	0,99	0,27

A partir dos dados, constata-se que 11 municípios apresentam redução gradual das taxas de crescimento populacional, nos intervalos de tempo considerados. Este é o caso de Silveiras, Aparecida, Cunha, Guaratinguetá, Lorena, Caçapava, Igaratá, Jacareí, São José dos Campos, Pindamonhangaba e Tremembé.

É importante destacar que, apesar do crescimento médio anual da população destes municípios ter decrescido nestes 29 anos, em termos numéricos, o crescimento destes municípios são expressivos, visto que apenas a população de São José dos Campos corresponde a um terço da população total do Vale do Paraíba Paulista.

Em dois municípios, Jambuí e Queluz, a taxa de crescimento cresceu gradualmente nestes três períodos, apesar destes municípios contabilizarem uma população total inferior a 11.000 habitantes.

No contexto do porte dos municípios avaliados, no ano de 2010, dos 34 municípios que compõe a UGRHI 2, 19 possuem população total inferior a 20.000 habitantes, sendo que quase a metade destes municípios encontra-se próximo da divisa com o estado do Rio de Janeiro.

São José dos Campos é o único município com população superior a 500.000 habitantes, seguido por Taubaté e Jacareí, com população entre 200.000 e 500.000 habitantes.

Com base na divisão do rio Paraíba do Sul adotado nesta pesquisa, a figura 29 apresenta a população urbana total de cada compartimento nos anos de 1885, 1990, 2000, 2005 e 2010.

Figura 29 - População urbana nos compartimentos da UGRHI 2, nos anos 1985, 1990, 2000, 2005 e 2010.

Verifica-se que, para o período considerado na pesquisa, o Médio Paraíba concentrou o maior número de habitantes nas áreas urbanas, atingindo no ano de 2010 a marca de 1,4 milhões de habitantes ou, em termos percentuais, aproximadamente 77% da população urbana total da UGRHI 2. A concentração urbana no Baixo Paraíba oscilou entre 282 mil e 390 mil habitantes, aproximadamente um terço da população do Médio Paraíba em todos os períodos.

O Alto Paraíba-SP apresentou as menores concentrações de população urbana na UGRHI 2, com população urbana inferior a 115 mil habitantes no ano de 2010.

A figura 30, a seguir, classifica os municípios da UGRHI 02 em relação a seu porte de acordo com a evolução temporal do período avaliado.

Figura 30 - Classificação dos municípios da UGRHI 2 em relação a seu porte, nos anos de 1981, 1991, 2001 e 2010.

Pelas figuras 29 e 30, observa-se que os municípios com maior concentração populacional, total e urbana, são aqueles localizados no eixo Rio de Janeiro e São Paulo, próximos à rodovia Dutra. A população de 12 municípios concentrados na calha do Rio Paraíba do Sul (Santa Branca, Guararema, Jacareí, São José dos Campos, Caçapava, Taubaté, Tremembé, Pindamonhangaba, Aparecida, Guaratinguetá, Lorena e Cachoeira Paulista) concentram aproximadamente 87% do total da população urbana e 55% da população total da UGRHI 2.

O município mais representativo é São José dos Campos, no qual a população urbana representa 33% da população urbana total da bacia, seguido por Taubaté, Jacareí e Pindamonhangaba. Estes quatro municípios concentram, aproximadamente, 66% da população urbana total da UGRHI 02 e estão localizados no compartimento Médio Paraíba-SP.

6.1.2 Número de Indústrias na UGRHI 02

De acordo com Lei Estadual nº 9.034, de 27 de dezembro de 1941, a UGRHI 2 é classificada como industrial.

A região do Vale do Paraíba é conhecida por abrigar um dos maiores polos industriais do Brasil. A construção da Rodovia Presidente Dutra (BR-116), em 1951, refletiu na valorização da função estratégica da região para a industrialização do Brasil.

O parque industrial do Vale do Paraíba Paulista apresentou um crescimento significativo desde 1970, como resultado da dispersão industrial da Região Metropolitana de São Paulo associada à elevada capacidade atrativa para as indústrias na região.

Observou-se que, no ano de 2010, existiam 2.970 estabelecimentos industriais na UGRHI 2, que representa, aproximadamente, 3% do total de indústrias presentes no Estado de São Paulo. Comparando-se com o ano de

1991, ocorreu um aumento de 1.043 indústrias nesta bacia, que corresponde a um crescimento de 54% no período de 19 anos.

Uma grande parcela dos estabelecimentos industriais concentra-se em poucos municípios, com destaque para São José dos Campos, Taubaté e Jacareí, que juntos abrigam 1624 indústrias, o que representa 55% das unidades da região. Adicionando as indústrias dos municípios de Pindamonhangaba, Guaratinguetá, Lorena, Caçapava e Cruzeiro, verifica-se a concentração de 81% das indústrias da UGRHI 02 nestes oito municípios, todos localizados na calha do rio Paraíba do Sul.

A tabela 27 apresenta a evolução do número de estabelecimentos industriais no período de 1991 até 2010.

Tabela 27 - Evolução do número de estabelecimentos industriais, nos municípios da UGRHI 2, entre os anos de 1991 e 2010.

	Município	1990	1995	2000	2005	2010
ALTO PARAÍBA - SP	São Luis do Paraitinga	10	19	13	18	16
	Paraibuna	14	14	11	18	19
	Lagoinha	2	3	3	4	4
	Cunha	15	13	14	19	22
	Natividade da Serra	2	2	2	4	7
	Redenção da Serra	2	4	2	4	6
	Santa Isabel	76	75	68	76	90
	Jambeiro	2	5	10	20	20
	Santa Branca	24	19	21	18	23
	Guararema	57	38	53	64	64
MÉDIO PARAÍBA - SP	Jacareí	237	235	231	263	300
	São José dos Campos	452	558	616	716	900
	Igaratá	12	17	19	15	15
	Monteiro Lobato	6	7	3	6	6
	Caçapava	93	109	119	15	15
	Taubaté	244	281	278	348	424
	Tremembé	47	46	69	62	82
	Pindamonhangaba	134	155	153	186	230
	Potim	0	11	11	10	17
	Lavrinhas	10	9	0	11	7
BAIXO PARAÍBA - SP	Aparecida	56	49	45	48	58
	Guaratingueta	165	140	127	138	159
	Lorena	102	122	116	131	139
	Canas	...	...	8	11	16
	Roseira	9	14	14	16	18
	Cachoeira Paulista	24	26	29	34	25
	Silveiras	4	7	9	7	5
	Piqueti	7	7	7	9	12
	Cruzeiro	106	103	104	108	114
	Queluz	8	8	13	11	12
	Arapeí	...	...	2	2	2
	São José do Barreiro	...	5	1	1	2
	Bananal	6	10	12	23	14
	Areias	1	1	1	1	1
	Total	1927	2112	2184	2417	2844

Fonte: SEADE, 2011 (IMP).

Entre os segmentos mais representativos, destaca-se o de alimentos e bebidas; metalúrgico, química e têxtil. O primeiro concentra 101 unidades em São José dos Campos, 81 em Taubaté, 41 em Jacareí e 32 em Pindamonhangaba, além de unidades nos demais municípios da UGRHI 2.

O segmento metalúrgico está concentrado principalmente nos municípios de São José dos Campos, com 98 estabelecimentos, seguido por Taubaté, Pindamonhangaba e Jacareí, com 39, 35 e 32 estabelecimentos, respectivamente.

A indústria química está presente em maior quantidade nos municípios de São José dos Campos (66 unidades), Lorena (35 unidades), Jacareí (24 unidades) e Taubaté (19 unidades).

O segmento têxtil concentra-se em São José dos Campos, Jacareí, Taubaté, Guaratinguetá e Cruzeiro, com 50, 35, 33, 23 e 15 unidades, respectivamente.

A figura 31 apresenta o total de indústria, por compartimento, nos anos 1990, 1995, 2000, 2005 e 2010.

Figura 31 - Número de indústrias por compartimento da UGRHI 2, nos anos de 1990, 1995, 2000, 2005 e 2010.

Com base na figura 31, observa-se que, em todos os períodos avaliados, o maior número de indústrias sempre esteve localizado no Médio Paraíba, compartimento que também contabiliza o maior número de habitantes. No ano de 2010, por exemplo, 70% das indústrias estavam localizadas neste compartimento, enquanto 9% estavam no Alto Paraíba e 21 % no Baixo Paraíba.

O processo de industrialização ocorrido na região exigiu a significativa utilização das águas do rio Paraíba do Sul. A presença de uma série de usos que envolvem o consumo intensivo da água é consequência direta do intenso processo de industrialização e urbanização, bem como do crescimento populacional.

Apesar do levantamento da evolução do número de indústrias e a análise da evolução do número de estabelecimentos, a influência específica destas atividades sobre a evolução da qualidade das águas do rio Paraíba do Sul não será abordada neste trabalho, uma vez que os dados referentes à vazão e qualidade dos efluentes industriais não serão abordados.

6.1.3 Atividade Agrícola

O uso agrícola do solo é predominante na UGRHI 02, representando aproximadamente 55% da bacia em área. A figura 32 apresenta a evolução do uso agrícola do solo nesta UGRHI, com base nos dados do Levantamento Censitário de Unidades de Produção Agropecuária do Estado de São Paulo (LUPA), para os períodos de 1995/1996 e 2007/2008.

Figura 32 - Evolução do uso agrícola do solo na UGRHI 02, em hectares, no período de 1995/1996 a 2007/2008.

Avaliando-se os dados da figura 32, verifica-se que a extensão das áreas agrícolas na bacia do rio Paraíba do Sul foi alterada de 713 mil hectares em 1995 para 788 mil hectares no ano de 2008, um aumento de 75 mil hectares, que representa um crescimento de 10,5%.

Em relação às atividades agrícolas, observa-se retração de 13 mil ha na área dedicada às culturas agrícolas. No ano de 1995, existiam 50 mil hectares dedicados às culturas, enquanto que no ano 2008 este número se reduziu para 37 mil hectares.

Dentre as culturas agrícolas, destaca-se a rizicultura nas várzeas do Paraíba do Sul e afluentes, sendo que esta região, segundo o Instituto de Economia Agrícola (IEA) e o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), é a maior produtora de arroz do Estado de São Paulo, correspondendo a 61,8% da safra estadual e 0,41% da safra nacional. A banana, café, cana-de-açúcar, feijão, laranja são outras culturas representativas na UGRHI 02. Com base nas informações da SEADE, a tabela 28 apresenta a produção de alguns produtos agrícolas na UGRHI 2, no ano de 2010.

Tabela 28 - Produção (em toneladas) e área colhida (em hectares) por gênero agrícola, na UGRHI 2 no ano de 2010.

Gênero	Produção (ton)	Área colhida (ha)
Arroz	52.294	11.050
Cana de açúcar	82.845	7.936
Café	149	176
Milho	29.265	8.787
Laranja	5.263	196
Banana	9.559	434
Feijão	2.781	2.497
Tomate	8.327	155
Mandioca	12.525	618
Caqui	8.791	349
Tangerina	4.473	130

A pecuária de corte e, principalmente a leiteira, ocupa a maior parte das terras dedicadas às atividades agrícolas da UGRHI 02. No ano de 1995, 58 mil hectares eram utilizados como pastagem. No ano de 2008 ocorreu um acréscimo de 6 mil hectares, o que representou um aumento de 10,4% de área para este fim.

A silvicultura é outra atividade agrícola de destaque na UGRHI 2. As áreas de silvicultura são compostas essencialmente por *Pinus* e *Eucalyptus*, que abastecem as indústrias de celulose e papel presente na região. No ano de 1995, aproximadamente 77 mil hectares de terras eram dedicados a esta finalidade, enquanto que ano de 2008, esta atividade passou a ocupar uma área de 105 mil hectares, que representou um crescimento de 35,5%.

A figura 33 apresenta a distribuição das atividades agrícolas nos municípios da UGRHI 2 em 2008.

Figura 33 - Distribuição das atividades agrícolas, por município na UGRHI 2, em % de área ocupada no ano de 2010.

Com base na figura 33 verifica-se que a maior concentração de área para a agricultura está concentrada, principalmente, no Médio Paraíba - SP. Já a Silvicultura prevalece no Alto e Baixo Paraíba – SP. A pecuária é a atividade predominante no Baixo Paraíba – SP.

Com base na área total da UGRHI 02, que é de 1.444 milhões de hectares, a distribuição do uso do solo em relação à superfície total da UGRHI no ano de 2010 é apresentada na figura 34, a seguir.

Figura 34 - Uso do solo na UGRHI 2, no ano de 2010, em porcentagem.

Conforme a figura 34 afere-se que, apesar das atividades agrícolas ocuparem a maior parte do território, esta atividade não corresponde à principal atividade econômica da região. Portanto, apesar da grande área ocupada pelas atividades agrícolas, a economia do Vale do Paraíba Paulista é regida por outros setores, que são indústria e serviços.

A contribuição das atividades agrícolas sobre a evolução da qualidade das águas do rio Paraíba do Sul também não será alvo de uma avaliação específica, visto que não será levantado o impacto dos parâmetros avaliados nesta pesquisa para esta atividade, mas a influência das atividades serão consideradas nas avaliações gerais da qualidade das águas

6.1.4 Avaliação das Contribuições do Esgoto Sanitário Bruto

Para o cálculo da concentração da DBO, DQO, fósforo, nitrogênio orgânico e nitrogênio amoniacal no esgoto sanitário bruto, foram considerados valores médios consolidados na literatura.

6.1.4.1 Estimativa da Demanda Bioquímica de Oxigênio no Esgoto Sanitário Bruto

Considerando-se que no Brasil a contribuição per capita diária de DBO no esgoto sanitário bruto é na ordem de 54 g e, com base nos dados da população urbana apresentados, a UGRHI 02 possuía no ano de 2010 um potencial de contribuição de DBO no esgoto sanitário bruto na ordem de 101 t/d, praticamente o dobro da contribuição no ano de 1981, que era de 54,5 toneladas de DBO por dia, conforme a tabela 29, abaixo.

Tabela 29 - População urbana (em habitantes) e quantidade potencial de DBO no esgoto sanitário bruto (em t/d), na UGRHI 2 nos anos de 1981, 1985, 1990, 1995, 2000, 2005 e 2010.

	1981	1985	1990	1995	2000	2005	2010
População urbana	1.008.088	1.138.768	1.320.140	1.478.347	1.630.121	1.771.440	1.870.011
Carga de DBO (ton/d)	54	61	71	80	88	96	101

A figura 35 apresenta a carga potencial de DBO no esgoto sanitário bruto por compartimento, nos anos de 1985, 1990, 1995, 2000, 2005 e 2010.

Figura 35 - Carga potencial de DBO no esgoto sanitário bruto, em ton/d, em cada compartimento do rio Paraíba do Sul, nos anos de 1981, 1985, 1990, 1995, 2000, 2005 e 2010.

No Médio Paraíba-SP, a carga de DBO oriunda dos esgotos brutos representa, aproximadamente, 70% de toda a carga do esgoto da UGRHI 2, para todos os períodos avaliados. Já o Baixo Paraíba, nos períodos avaliados, foi responsável por 20 a 25% de toda a carga orgânica produzida no esgoto sanitário bruto.

6.1.4.2 Estimativa da Demanda Química de Oxigênio no Esgoto Sanitário Bruto

A estimativa da quantidade de DQO no esgoto sanitário bruto considera a contribuição diária per capita de 100 g. De acordo com a tabela 30, observa-se a evolução da contribuição da DQO no esgoto com base no crescimento populacional da UGRHI.

Tabela 30 - População urbana (em habitantes) e quantidade potencial de DQO no esgoto sanitário (em t/d), na UGRHI 2 nos anos de 1981, 1985, 1990, 1995, 2000, 2005 e 2010.

	1981	1985	1990	1995	2000	2005	2010
População urbana	1.008.088	1.138.768	1.320.140	1.478.347	1.630.121	1.771.440	1.870.011
Carga de DQO (ton/d)	101	114	132	148	163	177	187

A figura 36 apresenta a carga de DQO no esgoto sanitário bruto produzido em cada compartimento do rio Paraíba do Sul, nos anos de 1985, 1990, 1995, 2000, 2005 e 2010.

Figura 36 - Carga potencial de DQO no esgoto sanitário bruto, em ton/d, em cada compartimento do rio Paraíba do Sul, nos anos de 1981, 1985, 1990, 1995, 2000, 2005 e 2010.

Semelhante à concentração da DBO, o Médio Paraíba também apresentou a maior contribuição de carga de DQO no esgoto sanitário bruto, em função da sua elevada concentração populacional.

6.1.4.3 Estimativa da Quantidade de Fósforo no Esgoto Sanitário Bruto

Na determinação da quantidade de fósforo no esgoto sanitário bruto considera-se a contribuição *per capita* diária na ordem de 2,5 g. A tabela 31 apresenta a concentração potencial de fósforo no esgoto sanitário bruto na UGRHI 02.

Tabela 31 - População urbana (em habitantes) e quantidade potencial de fósforo no esgoto sanitário bruto (em t/d), na UGRHI 2 nos anos de 1981, 1985, 1990, 1995, 2000, 2005 e 2010.

	1981	1985	1990	1995	2000	2005	2010
População urbana	1.008.088	1.138.768	1.320.140	1.478.347	1.630.121	1.771.440	1.870.011
Fósforo (ton/d)	2,5	2,8	3,3	3,7	4,1	4,4	4,7

A figura 37 apresenta a carga de fósforo no esgoto sanitário bruto produzido em cada compartimento do rio Paraíba do Sul, nos anos de 1985, 1990, 1995, 2000, 2005 e 2010.

Figura 37 - Carga de fósforo potencial no esgoto sanitário bruto, em ton/d, em cada compartimento do rio Paraíba do Sul, nos anos de 1981, 1985, 1990, 1995, 2000, 2005 e 2010.

O Alto Paraíba - SP representou, em todos os períodos avaliados, a concentração de fósforo no esgoto sanitário bruto inferior a 10% da contribuição total da UGRHI 2 em todos os períodos avaliados.

6.1.4.4 Estimativa da Quantidade de Nitrogênio Orgânico no Esgoto Sanitário Bruto

No Brasil, a contribuição per capita diária de nitrogênio orgânico no esgoto sanitário bruto é estimada na ordem de 5,0g. A quantidade de nitrogênio orgânico potencial no esgoto sanitário bruto, com base no crescimento populacional é apresentada na tabela 32.

Tabela 32 - População urbana (em habitantes) e quantidade potencial de nitrogênio orgânico no esgoto sanitário bruto (em t/d), na UGRHI 2 nos anos de 1981, 1985, 1990, 1995, 2000, 2005 e 2010.

	1981	1985	1990	1995	2000	2005	2010
População urbana	1.008.088	1.138.768	1.320.140	1.478.347	1.630.121	1.771.440	1.870.011
Nitrogênio orgânico (ton/d)	5,0	5,7	6,6	7,4	8,2	8,9	9,4

A figura 38 apresenta a carga de nitrogênio orgânico no esgoto sanitário bruto produzido em cada compartimento do rio Paraíba do Sul, nos anos de 1985, 1990, 1995, 2000, 2005 e 2010.

Figura 38 - Carga de nitrogênio orgânico no esgoto sanitário bruto, em ton/d, em cada compartimento do rio Paraíba do Sul, nos anos de 1981, 1985, 1990, 1995, 2000, 2005 e 2010.

6.1.4.5 Estimativa da Quantidade de Nitrogênio Amoniacal no Esgoto Sanitário Bruto

A contribuição per capita diária de nitrogênio amoniacal no esgoto sanitário bruto do Brasil é estimada em 7,0 g. A estimativa da quantidade de nitrogênio amoniacal na UGHRI 02, em relação à população, é apresentada na tabela 33.

Tabela 33 - População urbana (em habitantes) e quantidade potencial de nitrogênio amoniacal no esgoto sanitário bruto (em t/d), na UGRHI 2 nos anos de 1981, 1985, 1990, 1995, 2000, 2005 e 2010.

Ano	1981	1985	1990	1995	2000	2005	2010
População urbana	1.008.088	1.138.768	1.320.140	1.478.347	1.630.121	1.771.440	1.870.011
Nitrogênio amoniacal (ton/d)	7	8	9	10	11	12	13

A figura 39 apresenta a carga de nitrogênio amoniaco no esgoto sanitário bruto produzido em cada compartimento do rio Paraíba do Sul, nos anos de 1985, 1990, 1995, 2000, 2005 e 2010.

Figura 39 - Carga de nitrogênio amoniaco no esgoto sanitário bruto, em ton/d, em cada compartimento do rio Paraíba do Sul, nos anos de 1981, 1985, 1990, 1995, 2000, 2005 e 2010.

6.1.5 Qualidade das Águas do Rio Paraíba do Sul na UGRHI 02

Para efeito desta pesquisa foram selecionados, para demonstrar a evolução da qualidade das águas do rio Paraíba do Sul os parâmetros referentes às características hidrobiológicas, sendo OD, DBO, DQO, série de nitrogênio e fósforo.

A evolução dos indicadores de qualidade das águas também será apresentada.

Em relação aos compartimentos do rio Paraíba do Sul adotados nesta pesquisa, o Alto Paraíba, Médio Paraíba e Baixo Paraíba possuem 4, 5 e 5 pontos de monitoramento da rede da CETESB, respectivamente.

A avaliação destes parâmetros permitirá analisar a influência dos esgotos sanitários e também dos esgotos industriais e das atividades agrícolas da UGRHI 2, pois todas estas atividades refletem nos resultados de qualidade obtidos nas águas do Paraíba do Sul.

6.1.5.1 Concentração de Demanda Bioquímica de Oxigênio na Coluna d'Água

Os dados referentes à concentração de DBO na coluna d'água na bacia do rio Paraíba do Sul, referentes ao período de 1981 a 2010 encontram-se descritos nas tabelas 34, 35 e 36.

Tabela 34 - Concentração média anual de DBO, em mg/L, no rio Paraíba do Sul, no período entre 1981 e 1990.

	Código do ponto	Distância da nascente (km)	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990
Alto Paraíba SP	SANT00100	50	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	PARB02050	51,5	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	PARB02100	52,7	1,5	1,4	1,3	1,7	1,7	2,5	2,7	2,2	1,3	1,7
	PARB02200	114	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	PARB02300	135	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Médio Paraíba SP	PARB02310	136	...	...	...	1,9	2,0	2,5	2,8	2,3	1,2	2,0
	PA2098	140	1,6	1,4	1,6	...	...	...	...	...	...	...
	PARB02400	183	1,6	1,4	1,3	1,8	2,0	2,5	2,3	2,3	1,0	2,2
	PARB02490	220	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	PARB02500	221	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Baixo Paraíba SP	PARB02530	236	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	PARB02600	271	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6
	PARB02700	297	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	PARB02900	351	1,6	1,3	1,6	1,6	2,2	2,5	2,7	2,8	1,3	3,2

Tabela 35 - Concentração média anual de DBO, em mg/L, no rio Paraíba do Sul, no período entre 1991 e 2000.

	Código do ponto	Distância da nascente (km)	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
Alto Paraíba SP	SANT00100	50	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	PARB02050	51,5	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	PARB02100	52,7	1,2	1,3	1,1	1,1	1,7	1,0	1,5	1,5	2,0	1,5
	PARB02200	114	...	...	...	...	...	...	...	...	3,0	1,7
Médio Paraíba SP	PARB02300	135	...	...	...	...	...	1,2	1,8	1,8	2,6	1,7
	PARB02310	136	1,3	1,5	1,4	1,3	2,1	...	...	...	...	...
	PA2098	140	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	PARB02400	183	1,2	1,5	1,3	1,6	1,8	1,4	1,9	2,0	3,0	1,8
Baixo Paraíba SP	PARB02490	220	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	PARB02500	221	...	...	...	...	...	1,9	1,9	1,8	...	...
	PARB02530	236	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	PARB02600	271	1,6	1,6	1,6	1,4	...	1,6	2,0	2,2	2,7	1,8
	PARB02700	297	...	...	...	...	...	2,0	2,4	2,3	3,6	1,8
	PARB02900	351	1,8	2,0	...	...	...	1,9	2,3	2,3	3,6	2,2

Tabela 36 - Concentração média anual de DBO, em mg/L, no rio Paraíba do Sul, no período entre 2001 e 2010.

	Código do ponto	Distância da nascente (km)	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Alto Paraíba SP	SANT00100	50	1,3	1,7	1,0	1,0	0,7	1,4	1,5	2,0	3,2	2,0
	PARB02050	51,5	...	...	...	1,2	0,9	1,8	1,5	2,2	2,0	2,0
	PARB02100	52,7	2,3	1,3	1,0	0,8	0,7	1,3	1,4	2,0	2,0	2,0
	PARB02200	114	1,7	1,1	1,4	1,4	1,7	1,7	2,0	2,8	2,5	...
Médio Paraíba SP	PARB02300	135	2,0	1,8	1,3	1,4	1,5	2,3	1,8	2,0	2,0	2,0
	PARB02310	136	1,7	2,3	1,3	1,4	1,2	2,3	2,0	2,0	2,0	2,0
	PA2098	140	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	PARB02400	183	2,0	2,2	1,5	2,3	3,5	3,3	2,0	2,5	2,2	4,8
Baixo Paraíba SP	PARB02490	220	1,8	1,7	1,1	1,1	1,1	1,6	2,6	2,2	2,0	2,0
	PARB02500	221	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	PARB02530	236	...	...	...	1,0	1,5	1,8	1,7	2,0	2,0	2,3
	PARB02600	271	2,8	2,8	2,0	2,5	1,9	2,4	1,6	2,0	2,0	3,0
	PARB02700	297	2,0	1,8	1,5	1,8	1,6	1,8	1,7	2,2	2,2	2,3
	PARB02900	351	1,8	2,7	1,5	1,7	1,3	1,8	1,7	2,3	2,2	2,5

Pelos quadros, observa-se uma tendência de aumento da concentração de DBO nas águas do Paraíba do Sul, fato que indica maior contaminação das águas por matéria orgânica.

A concentração de DBO atingiu, em alguns pontos, valores superiores a 3,0 mg/L. Todavia, o Paraíba do Sul continuou atendendo seu limite de classe 2 para concentração de DBO, que deve ser inferior a 5mg/L.

A concentração média de DBO no rio Paraíba do Sul, para os quinquênios avaliados na pesquisa, estão apresentados na tabela 37.

Tabela 37 - Concentração média quinquenal de DBO, em mg/L, nas águas do rio Paraíba do Sul para o período de 1981 a 2010.

	Código do ponto	Distância da nascente (km)	Média 81-85	Média 86-90	Média 91-95	Média 96-00	Média 01-05	Média 06-10
Alto Paraíba SP	SANT00100	50	...	...	...	...	1,1	2,0
	PARB02050	51,5	...	...	...	...	1,1	1,9
	PARB02100	52,7	1,5	2,1	1,3	1,5	1,2	1,7
	PARB02200	114	...	...	...	2,3	1,4	2,2
Médio Paraíba SP	PARB02300	135				1,8	1,6	2,0
	PARB02310	136	2,0	2,2	1,5		1,6	2,1
	PA2098	140	1,5	...	...	...	...	...
	PARB02400	183	1,6	2,1	1,5	2,0	2,3	3,0
	PARB02490	220	...	...	...	2,5	1,4	2,1
Baixo Paraíba SP	PARB02500	221	...	...	...	1,9	...	...
	PARB02530	236	...	...	...	...	1,2	2,0
	PARB02600	271	1,6	1,6	1,6	2,1	2,4	2,2
	PARB02700	297	...	...	...	2,4	1,7	2,0
	PARB02900	351	1,6	2,5	1,9	2,4	1,8	2,1

Com base na tabela 27, observa-se que as maiores concentrações de DBO nas águas do rio Paraíba do Sul estão localizadas no Médio Paraíba, como resultado da elevada concentração populacional do trecho.

6.1.5.2 Concentração de DQO na Coluna d'Água

Os dados referentes à concentração de DQO na coluna d'água na bacia do rio Paraíba do Sul, referentes ao período de 1981 a 2010 encontram-se descritos nas Tabelas 38, 39 e 40.

Tabela 38 - Concentração média anual de DQO, em mg/L, no rio Paraíba do Sul, no período entre 1981 e 1990.

	Código do ponto	Distância da nascente (km)	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990
Alto Paraíba SP	SANT00100	50	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	PARB02050	51,5	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	PARB02100	52,7	9,7	6,9	7,0	6,6	5,8	11,8	13,2	11,7	14,8	11,0
Médio Paraíba SP	PARB02200	114	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	PARB02300	135	...	...	...	7,8	9,5	13,5	17,0	14,7	21,8	13,3
	PARB02310	136	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Baixo Paraíba SP	PA2098	140	15,0	15,5	12,9	...	...	...	...	...	...	...
	PARB02400	183	13,8	14,3	16,3	10,8	12,5	17,2	13,0	23,0	16,8	13,2
	PARB02490	220	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	PARB02500	221	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	PARB02530	236	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	PARB02600	271	15,4	15,5	15,5	15,9	15,9	15,9	15,9	15,9	15,9	15,9
	PARB02700	297	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	PARB02900	351	14,4	14,8	19,3	12,9	20,0	15,7	22,8	16,3	25,3	16,0

Tabela 39 - Concentração média anual de DQO, em mg/L, no rio Paraíba do Sul, no período entre 1991 e 2000.

	Código do ponto	Distância da nascente (km)	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
Alto Paraíba SP	SANT00100	50	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	PARB02050	51,5	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	PARB02100	52,7	12,5	11,0	11,5	...	11,0	11,5	9,8	6,1	15,6	5,7
Médio Paraíba SP	PARB02200	114	...	...	...	...	...	...	...	...	18,4	8,5
	PARB02300	135	15,0	11,5	12,8	...	14,2	14,8	10,7	6,9	18,3	6,5
	PARB02310	136	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Baixo Paraíba SP	PA2098	140	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	PARB02400	183	18,0	15,2	11,6	...	13,8	12,7	11,0	7,1	18,6	12,5
	PARB02490	220	...	...	...	...	...	...	...	...	16,0	21,3
	PARB02500	221	...	...	...	...	...	14,5	11,3	7,3	...	...
	PARB02530	236	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	PARB02600	271	15,9	15,8	15,8	...	14,7	12,5	12,2	10,9	19,3	13,0
	PARB02700	297	...	...	...	...	...	13,5	14,3	9,5	17,9	16,5
	PARB02900	351	21,3	11,8	...	...	11,9	17,3	12,1	8,9	26,3	16,0

Tabela 40 - Concentração média anual de DQO, em mg/L, no rio Paraíba do Sul, no período entre 2001 e 2010.

	Código do ponto	Distância da nascente (km)	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Alto Paraíba SP	SANT00100	50	4,0	4,0	5,2	6,7	6,3	< 35	< 50	...	...	...
	PARB02050	51,5	...	...	...	4,0	5,8	< 35	< 50	...	...	...
	PARB02100	52,7	8,7	4,3	4,5	5,7	5,8	< 35	< 50	...	...	...
Médio Paraíba SP	PARB02200	114	6,5	6,0	7,8	11,8	10,5	< 35	< 50	...	...	...
	PARB02300	135	4,0	4,3	7,3	12,0	11,8	< 35	< 50	...	...	...
	PARB02310	136	6,7	4,8	6,2	12,0	10,2	< 35	< 50	...	...	...
Baixo Paraíba SP	PA2098	140	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	PARB02400	183	11,0	4,8	8,0	11,5	10,7	< 35	< 50	...	...	...
	PARB02490	220	19,5	11,0	12,5	13,2	10,2	< 35	< 50	...	...	...
	PARB02500	221	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	PARB02530	236	...	...	...	14,5	12,5	< 35	< 50	...	...	...
	PARB02600	271	13,7	13,7	13,0	14,2	13,0	< 35	< 50	...	...	...
	PARB02700	297	19,0	12,3	10,5	12,7	14,2	< 35	< 50	...	...	...
	PARB02900	351	17,3	10,5	10,8	13,2	11,3	< 35	< 50	...	...	...

A DQO está relacionada aos impactos do lançamento de efluentes industriais e sanitários sobre a qualidade das águas do rio. Pelos quadros, observa-se que a concentração de DQO seguiu a mesma tendência da DBO, aumentando ao longo dos 29 anos de análise.

Pode-se relacionar também este aumento de concentração de DQO nas águas do Paraíba do Sul com o aumento do número de indústrias e da população na UGRHI 2.

A concentração média de DQO no rio Paraíba do Sul, para os quinquênios avaliados na pesquisa, estão apresentados na tabela 41.

Tabela 41 - Concentração média quinquenal de DQO, em mg/L, nas águas do rio Paraíba do Sul para o período de 1981 a 2010.

	Código do ponto	Distância da nascente (km)	Média 81-85	Média 86-90	Média 91-95	Média 96-00	Média 01-05	Média 06-10
Alto Paraíba SP	SANT00100	50	...	...	...	...	5,2	...
	PARB02050	51,5	...	...	...	...	4,9	...
	PARB02100	52,7	7,2	12,5	11,5	9,7	5,8	...
	PARB02200	114	...	...	...	13,5	8,5	...
Médio Paraíba SP	PARB02300	135	8,7	16,1	13,4	11,4	7,9	...
	PARB02310	136	...	...	...	...	8,0	...
	PA2098	140	14,5	...	...	...	...	...
	PARB02400	183	13,6	16,6	14,6	12,4	9,2	...
Baixo Paraíba SP	PARB02490	220	...	...	...	18,7	13,3	...
	PARB02500	221	...	...	...	11,0	...	...
	PARB02530	236	...	...	...	...	13,5	...
	PARB02600	271	15,7	15,9	15,6	13,6	13,5	...
	PARB02700	297	...	...	...	14,3	13,7	...
	PARB02900	351	16,3	19,2	15,0	16,1	12,6	...

A tabela 41 indica que as maiores concentrações de DQO, nos períodos avaliados, foram detectadas no Baixo Paraíba, como resultado da concentração urbana e industrial neste trecho, e principalmente a montante do mesmo.

A concentração média de DQO para o período de 2006 a 2010 não foi calculada, uma vez que a CETESB expressou esta concentração apenas numa ordem de grandeza.

6.1.5.3 Concentração de Oxigênio Dissolvido na Coluna d'Água

Os dados referentes à concentração de OD na coluna d'água na bacia do rio Paraíba do Sul, referentes ao período de 1981 a 2010 encontram-se descritos nas Tabelas 42, 43 e 44.

Tabela 42 - Concentração média anual de OD, em mg/L, no rio Paraíba do Sul, no período entre 1981 e 1990.

	Código do ponto	Distância da nascente (km)	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990
Alto Paraíba SP	SANT00100	50	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	PARB02050	51,5	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	PARB02100	52,7	8,1	7,9	8,6	8,4	8,4	8,5	8,3	8,6	8,8	8,4
	PARB02200	114	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	PARB02300	135	...	...	...	7,1	6,6	6,4	6,3	6,8	6,5	6,1
Médio Paraíba SP	PARB02310	136	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	PA2098	140	5,3	5,3	6,7	...	...	...	...	...	...	...
	PARB02400	183	5,5	5,8	6,4	6,5	6,4	6,0	5,9	6,1	6,5	4,7
	PARB02490	220	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	PARB02500	221	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Baixo Paraíba SP	PARB02530	236	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	PARB02600	271	5,6	5,6	5,6	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5
	PARB02700	297	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	PARB02900	351	7,0	7,1	7,1	7,2	7,3	7,3	7,3	7,2	7,3	7,2

Tabela 43 - Concentração média anual de OD, em mg/L, no rio Paraíba do Sul, no período entre 1991 e 2000.

	Código do ponto	Distância da nascente (km)	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
Alto Paraíba SP	SANT00100	50	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	PARB02050	51,5	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	PARB02100	52,7	8,3	8,3	8,3	8,1	8,3	8,5	8,6	8,6	6,9	5,9
	PARB02200	114	...	...	...	...	...	...	...	...	5,1	6,2
	PARB02300	135	5,2	4,9	5,1	4,4	3,5	...	5,9	5,5	4,8	3,8
Médio Paraíba SP	PARB02310	136	...	...	...	...	...	5,8	...	...	...	...
	PA2098	140	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	PARB02400	183	4,6	4,3	4,2	3,8	3,4	4,7	4,4	3,9	3,7	3,0
	PARB02490	220	...	...	...	...	...	...	...	...	6,3	6,6
	PARB02500	221	...	...	...	...	...	6,0	5,8	5,5	...	...
Baixo Paraíba SP	PARB02530	236	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	PARB02600	271	5,5	5,5	5,5	5,3	...	5,6	5,7	4,9	4,8	5,5
	PARB02700	297	...	...	...	...	...	5,7	5,6	5,5	5,3	5,6
	PARB02900	351	7,1	7,0	...	...	...	7,1	6,9	6,8	7,0	6,9

Tabela 44 - Concentração média anual de OD, em mg/L, no rio Paraíba do Sul, no período entre 2001 e 2010.

	Código do ponto	Distância da nascente (km)	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Alto Paraíba SP	SANT00100	50	7,4	7,9	7,4	7,4	7,1	7,1	7,3	7,8	7,3	7,2
	PARB02050	51,5	...	...	...	4,3	4,7	5,0	5,3	5,8	5,0	5,2
	PARB02100	52,7	5,2	5,4	5,6	5,3	4,8	5,0	5,3	5,7	5,0	5,2
	PARB02200	114	5,9	6,2	6,1	5,3	5,6	6,0	6,3	6,5	6,1	6,5
Médio Paraíba SP	PARB02300	135	4,3	3,8	3,5	2,1	2,8	4,6	5,2	4,3	4,9	6,2
	PARB02310	136	4,1	4,0	3,8	2,8	3,2	4,7	6,7	4,9	6,3	6,3
	PA2098	140	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	PARB02400	183	3,4	2,6	2,1	1,6	3,0	3,7	3,2	2,5	4,0	4,5
Baixo Paraíba SP	PARB02490	220	5,8	5,4	4,4	4,3	4,1	5,0	5,9	4,3	4,7	5,9
	PARB02500	221	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	PARB02530	236	...	...	...	4,3	4,6	5,3	4,8	4,5	5,1	5,7
	PARB02600	271	4,4	4,4	4,3	4,0	3,8	5,0	4,2	3,5	4,5	5,4
	PARB02700	297	5,0	4,3	3,8	4,3	4,3	4,8	4,7	4,4	4,6	5,5
	PARB02900	351	6,7	6,9	6,6	6,9	6,8	6,3	6,7	6,9	6,6	6,9

A concentração de OD atingiu, em alguns pontos, valores abaixo de 3 mg/L, o que caracteriza um rio classe 3. Com base no Decreto Estadual nº 10755/77 e na Resolução CONAMA nº 357/2005, de Santa Branca até a divisa com o estado do Rio de Janeiro o rio Paraíba do Sul é classificado como 2, no qual a concentração de oxigênio deve ser superior a 4,0 mg/L.

Conforme dados de literatura, a redução da taxa de oxigênio dissolvido pode indicar atividade bacteriana decompondo matéria orgânica na água, ou seja, poluição orgânica.

A concentração média de oxigênio dissolvido no Paraíba do Sul, para os quinquênios avaliados na pesquisa, está apresentada na tabela 45.

Tabela 45 - Concentração média quinquenal de OD, em mg/L, nas águas do rio Paraíba do Sul para o período de 1981 a 2010.

	Código do ponto	Distância da nascente (km)	Média 81-85	Média 86-90	Média 91-95	Média 96-00	Média 01-05	Média 06-10
Alto Paraíba SP	SANT00100	50	...	...	...	...	7,4	7,3
	PARB02050	51,5	...	...	...	...	4,5	5,3
	PARB02100	52,7	8,3	8,5	8,2	7,7	5,2	5,2
	PARB02200	114	...	...	...	5,7	5,8	6,3
Médio Paraíba SP	PARB02300	135	6,8	6,4	4,6	5,0	3,3	5,0
	PARB02310	136	...	...	...	5,8	3,6	5,8
	PA2098	140	5,8	...	...	...	...	...
	PARB02400	183	6,1	5,9	4,1	3,9	2,6	3,6
Baixo Paraíba SP	PARB02490	220	...	...	...	6,4	4,8	5,2
	PARB02500	221	...	...	...	5,8	...	...
	PARB02530	236	...	...	...	...	4,4	5,1
	PARB02600	271	5,5	5,5	5,5	5,3	4,2	4,5
	PARB02700	297	...	...	...	5,5	4,3	4,8
	PARB02900	351	7,1	7,2	7,1	7,0	6,8	6,7

Tabela 47 - Concentração média anual de fósforo, em mg/L, no rio Paraíba do Sul, no período entre 1991 e 2000.

	Código do ponto	Distância da nascente (km)	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
Alto Paraíba SP	SANT00100	50	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	PARB02050	51,5	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	PARB02100	52,7	0,02	0,01	0,02	0,03	0,02	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01
	PARB02200	114	...	...	...	...	...	...	...	...	0,09	0,02
Médio Paraíba SP	PARB02300	135	0,11	0,08	0,11	0,11	0,11	0,05	0,09	0,05	0,07	0,04
	PARB02310	136	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	PA2098	140	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	PARB02400	183	0,11	0,08	0,09	0,11	0,11	0,05	0,07	0,07	0,09	0,07
Baixo Paraíba SP	PARB02490	220	...	...	...	...	...	...	...	...	0,08	0,07
	PARB02500	221	...	...	...	...	...	...	0,07	0,07	...	...
	PARB02530	236	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	PARB02600	271	0,09	0,07	0,01	0,87	...	...	...	0,06	0,09	0,07
	PARB02700	297	...	...	...	...	...	...	0,17	0,07	0,09	0,07
	PARB02900	351	...	...	...	...	0,09	0,08	0,07	0,06	0,10	0,07

Tabela 48 - Concentração média anual de fósforo, em mg/L, no rio Paraíba do Sul, no período entre 2001 e 2010.

	Código do ponto	Distância da nascente (km)	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Alto Paraíba SP	SANT00100	50	0,01	0,05	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,03
	PARB02050	51,5	...	...	...	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03
	PARB02100	52,7	0,01	0,01	0,02	0,03	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
	PARB02200	114	0,02	0,01	0,05	0,04	0,04	0,04	0,03	0,04	0,05	0,03
Médio Paraíba SP	PARB02300	135	0,08	0,05	0,05	0,08	0,07	0,07	0,06	0,09	0,06	0,05
	PARB02310	136	0,04	0,06	0,05	0,08	0,06	0,08	0,06	0,06	0,05	0,05
	PA2098	140	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	PARB02400	183	0,07	0,05	0,05	0,07	0,10	0,08	0,08	0,06	0,07	0,08
Baixo Paraíba SP	PARB02490	220	0,08	0,05	0,07	0,06	0,07	0,07	0,05	0,09	0,08	0,08
	PARB02500	221	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	PARB02530	236	...	...	...	0,09	0,07	0,08	0,10	0,07	0,05	0,10
	PARB02600	271	...	0,07	0,09	0,13	0,09	0,09	0,11	0,09	0,09	0,09
	PARB02700	297	0,07	0,06	0,05	0,08	0,08	0,09	0,09	0,07	...	0,11
	PARB02900	351	0,08	0,06	0,07	0,07	0,04	0,07	0,09	0,10	0,07	0,23

Pelos quadros, observa-se que a concentração de fósforo no Paraíba do Sul manteve-se inferior a 0,1 mg/L em quase todos os trechos durante os trinta anos considerados na pesquisa.

A resolução CONAMA nº357/05 não estabelece concentração de fósforo para ambientes lóticos de classe 2. Apenas como referência, os rios de classe 1 devem ter concentração de fósforo inferior a 0,1 mg/L e os rios de classe 3 concentração inferior a 0,15 mg/L de fósforo.

A concentração de fósforo nas águas superficiais está associada principalmente com atividades agrícolas cultivadas e adubadas com fertilizantes minerais e lançamento de esgoto sanitário sem tratamento.

A concentração média do fósforo no Paraíba do Sul, para os quinquênios avaliados na pesquisa, estão apresentados na tabela 49.

Tabela 49 - Concentração média quinquenal de fósforo, em mg/L, nas águas do rio Paraíba do Sul para o período de 1981 a 2010.

	Código do ponto	Distância da nascente (km)	Média 81-85	Média 86-90	Média 91-95	Média 96-00	Média 01-05	Média 06-10
Alto Paraíba SP	SANT00100	50	...	...	...	...	0,02	0,02
	PARB02050	51,5	...	...	...	...	0,02	0,02
	PARB02100	52,7	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01
	PARB02200	114	...	...	...	0,05	0,03	0,04
Médio Paraíba SP	PARB02300	135	0,08	0,09	0,10	0,06	0,07	0,06
	PARB02310	136	...	...	...	...	0,06	0,06
	PA2098	140	0,08	...	...	...	...	...
	PARB02400	183	0,08	0,08	0,10	0,07	0,07	0,07
	PARB02490	220	...	...	...	0,07	0,07	0,07
Baixo Paraíba SP	PARB02500	221	...	...	...	0,07	...	...
	PARB02530	236	...	...	...	...	0,08	0,08
	PARB02600	271	0,09	0,08	0,26	0,07	0,09	0,09
	PARB02700	297	...	...	...	0,10	0,07	0,09
	PARB02900	351	...	...	0,09	0,08	0,06	0,11

Com base na tabela 49, observa-se que as maiores concentrações de fósforo nas águas do Paraíba do Sul, nos períodos avaliados, estão no Baixo Paraíba, como resultado das ações antrópicas dos municípios do trecho e principalmente a montante.

6.1.5.5 Concentração de Nitrogênio Total na Coluna d'Água

Os dados referentes à concentração de nitrogênio total na coluna d'água na bacia do rio Paraíba do Sul, referentes ao período de 1981 a 2010 encontram-se descritos nas Tabelas 50, 51 e 52.

Tabela 50 - Concentração média anual de nitrogênio total, em mg/L, no rio Paraíba do Sul, no período entre 1981 e 1990.

	Código do ponto	Distância da nascente (km)	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990
Alto Paraíba SP	SANT00100	50	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	PARB02050	51,5	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	PARB02100	52,7	0,91	0,80	0,47	0,73	0,69	0,60	0,52	0,66	0,54	0,45
	PARB02200	114	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Médio Paraíba SP	PARB02300	135	...	...	...	0,89	0,93	0,87	0,89	0,73	0,69	0,69
	PARB02310	136	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	PA2098	140	1,15	1,22	0,86	...	...	...	...	...	...	...
	PARB02400	183	1,12	1,37	1,08	1,15	0,97	0,83	0,78	0,83	0,81	0,74
Baixo Paraíba SP	PARB02490	220	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	PARB02500	221	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	PARB02530	236	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	PARB02600	271	1,11	1,13	0,86	0,95	0,96	0,98	0,80	0,66	0,91	0,74
	PARB02700	297	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	PARB02900	351	...	1,16	...	...	...	0,84	0,83	0,81	...	...

Tabela 51 - Concentração média anual de nitrogênio total, em mg/L, no rio Paraíba do Sul, no período entre 1991 e 2000.

	Código do ponto	Distância da nascente (km)	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
Alto Paraíba SP	SANT00100	50	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	PARB02050	51,5	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	PARB02100	52,7	0,31	0,23	0,45	0,49	0,39	0,45	0,44	0,39	0,59	0,42
	PARB02200	114	...	...	...	...	...	...	...	...	1,24	0,47
Médio Paraíba SP	PARB02300	135	0,65	0,46	0,77	0,65	0,67	0,58	0,72	0,66	0,91	0,78
	PARB02310	136	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	PA2098	140	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	PARB02400	183	0,51	0,55	0,80	0,80	0,86	0,89	0,90	0,92	...	...
Baixo Paraíba SP	PARB02490	220	...	...	...	...	...	...	...	...	1,69	1,20
	PARB02500	221	...	...	...	...	...	...	0,99	1,04	...	...
	PARB02530	236	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	PARB02600	271	0,65	0,60	0,32	0,26	...	...	...	1,18	1,02	0,79
	PARB02700	297	...	...	...	...	...	2,00	1,23	2,17	1,24	0,98
	PARB02900	351	...	...	...	...	0,92	1,15	1,18	1,21	1,23	0,98

Tabela 52 - Concentração média anual de nitrogênio total, em mg/L, no rio Paraíba do Sul, no período entre 2001 e 2010.

	Código do ponto	Distância da nascente (km)	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Alto Paraíba SP	SANT00100	50	0,26	...	...	...	...	...	0,21	0,25	0,44	0,50
	PARB02050	51,5	...	...	...	...	...	...	0,14	0,19	0,39	0,50
	PARB02100	52,7	0,33	...	...	...	...	...	0,19	0,21	0,44	0,50
	PARB02200	114	0,43	...	...	...	...	...	0,50	0,64	0,70	0,51
Médio Paraíba SP	PARB02300	135	0,69	...	...	...	...	...	...	0,53	0,56	0,64
	PARB02310	136	0,64	...	...	...	...	...	0,37	0,48	0,61	0,50
	PA2098	140	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	PARB02400	183	0,71	...	...	...	...	...	0,60	1,02	1,59	1,00
Baixo Paraíba SP	PARB02490	220	0,79	...	...	...	...	...	0,61	0,62	0,62	0,68
	PARB02500	221	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	PARB02530	236	...	...	...	...	...	...	0,55	0,63	0,63	0,76
	PARB02600	271	...	...	...	...	...	...	0,49	0,66	0,68	0,69
	PARB02700	297	0,93	...	...	...	...	...	0,45	0,54	0,67	0,67
	PARB02900	351	0,90	...	...	...	...	...	0,31	0,44	0,75	0,72

O nitrogênio é um macro nutriente que, se descarregado em excesso nas águas, juntamente com o fósforo, pode causar a eutrofização do meio.

A concentração média do nitrogênio total no rio Paraíba do Sul, para os quinquênios avaliados na pesquisa, estão apresentados na tabela 53.

Tabela 53 - Concentração média quinquenal de nitrogênio total, em mg/L, nas águas do rio Paraíba do Sul para o período de 1981 a 2010.

	Código do ponto	Distância da nascente (km)	Média 81-85	Média 86-90	Média 91-95	Média 96-00	Média 01-05	Média 06-10
Alto Paraíba SP	SANT00100	50	...	...	...	...	0,26	0,35
	PARB02050	51,5	...	...	...	...	...	0,30
	PARB02100	52,7	0,72	0,56	0,37	0,46	0,33	0,33
	PARB02200	114	...	...	...	0,85	0,43	0,59
Médio Paraíba SP	PARB02300	135	0,91	0,77	0,64	0,73	0,69	...
	PARB02310	136	...	...	...	...	0,64	0,49
	PA2098	140	1,08	...	...	...	...	...
	PARB02400	183	1,14	0,80	0,70	0,89	0,71	1,05
	PARB02490	220	...	...	...	1,44	0,79	0,63
Baixo Paraíba SP	PARB02500	221	...	...	...	1,01	...	...
	PARB02530	236	...	...	...	...	...	0,64
	PARB02600	271	1,00	0,82	0,46	1,00	...	0,63
	PARB02700	297	...	...	...	1,52	0,93	0,58
	PARB02900	351	1,16	0,83	0,92	1,15	0,90	0,55

As maiores concentrações de nitrogênio total foram mensuradas no Baixo Paraíba por influencia das atividades desenvolvidas no Médio Paraíba. Ressalta-se que elevadas concentrações de nitrogênio nas águas superficiais indica poluição de origem orgânica.

6.1.5.6 Concentração de Nitrito na Coluna d'Água

Os dados referentes à concentração de nitrito na coluna d'água na bacia do rio Paraíba do Sul, referentes ao período de 1981 a 2010 encontram-se descritos nas tabelas 54, 55 e 56.

Tabela 54 - Concentração média anual de nitrito, em mg/L, no rio Paraíba do Sul, no período entre 1981 e 1990.

	Código do ponto	Distância da nascente (km)	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990
Alto Paraíba SP	SANT00100	50	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	PARB02050	51,5	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	PARB02100	52,7	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00
	PARB02200	114	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Médio Paraíba SP	PARB02300	135	...	...	...	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
	PARB02310	136	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	PA2098	140	0,01	0,01	0,01	...	...	...	...	...	...	...
	PARB02400	183	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Baixo Paraíba SP	PARB02490	220	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
	PARB02500	221	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	PARB02530	236	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	PARB02600	271	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
	PARB02700	297	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	PARB02900	351	0,10	0,12	0,09	0,10	0,09	0,08	0,07	0,08	0,07	0,06

Tabela 55 - Concentração média anual de nitrito, em mg/L, no rio Paraíba do Sul, no período entre 1991 e 2000.

	Código do ponto	Distância da nascente (km)	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
Alto Paraíba SP	SANT00100	50	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	PARB02050	51,5	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	PARB02100	52,7	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
	PARB02200	114	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Médio Paraíba SP	PARB02300	135	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
	PARB02310	136	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	PA2098	140	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	PARB02400	183	...	...	...	...	...	0,01	0,02	0,02	0,03	0,02
Baixo Paraíba SP	PARB02490	220	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	...	...	...	0,03	0,02
	PARB02500	221	...	...	...	...	...	...	0,03	0,02	...	...
	PARB02530	236	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	PARB02600	271	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	...	...	0,02	0,03	0,02
	PARB02700	297	...	...	...	...	...	0,07	0,03	0,02	0,03	0,03
	PARB02900	351	0,09	0,08	...	...	0,02	0,02	0,03	0,02	0,03	0,03

Tabela 56 - Concentração média anual de nitrito, em mg/L, no rio Paraíba do Sul, no período entre 2000 e 2010.

	Código do ponto	Distância da nascente (km)	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Alto Paraíba SP	SANT00100	50	0,00	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,01
	PARB02050	51,5	...	...	...	0,00	0,00	0,17	0,00	0,00	0,05	0,01
	PARB02100	52,7	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,01
	PARB02200	114	0,00	0,00	0,01	0,04	0,01	0,01	0,00	0,01	0,05	0,01
Médio Paraíba SP	PARB02300	135	0,02	0,01	0,02	0,03	0,01	0,01	0,01	0,02	0,06	0,01
	PARB02310	136	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02	0,07	0,01
	PA2098	140	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	PARB02400	183	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,07	0,02
Baixo Paraíba SP	PARB02490	220	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02	0,02	0,03	0,08	0,02
	PARB02500	221	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	PARB02530	236	...	...	...	0,03	0,02	0,02	0,02	0,03	0,07	0,03
	PARB02600	271	...	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02	0,07	0,02
	PARB02700	297	0,01	0,01	0,02	0,03	0,01	0,02	0,01	0,02	0,06	0,02
	PARB02900	351	0,02	0,01	0,01	0,03	0,04	0,02	0,01	0,02	0,07	0,04

A legislação Federal estabelece que a concentração de máxima de nitrito nas águas superficiais deve ser inferior a 1,0 mg/L para os rios de classe 1,2,3 e 4. Pelos quadros 54, 55 e 56, observa-se que, durante os 29 anos de análise das águas do Paraíba do Sul, a concentração de nitrito ficou abaixo do valor da legislação.

A concentração média do nitrito no Paraíba do Sul, para os quinquênios avaliados na pesquisa, estão apresentados na tabela 57.

Tabela 57 - Concentração média quinquenal de nitrito, em mg/L, nas águas do rio Paraíba do Sul para o período de 1981 a 2010.

	Código do ponto	Distância da nascente (km)	Média 81-85	Média 86-90	Média 91-95	Média 96-00	Média 01-05	Média 06-10
Alto Paraíba SP	SANT00100	50	...	...	...	...	0,01	0,01
	PARB02050	51,5	...	...	...	...	0,00	0,05
	PARB02100	52,7	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01
	PARB02200	114	...	...	...	0,01	0,01	0,02
	PARB02300	135	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
Médio Paraíba SP	PARB02310	136	...	...	...	...	0,01	0,03
	PA2098	140	0,01	...	...	...	...	...
	PARB02400	183	...	...	...	0,02	0,02	0,03
	PARB02490	220	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,03
	PARB02500	221	...	...	...	0,03	...	...
Baixo Paraíba SP	PARB02530	236	...	...	...	...	0,02	0,03
	PARB02600	271	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03
	PARB02700	297	...	...	...	0,04	0,02	0,03
	PARB02900	351	0,10	0,07	0,06	0,03	0,02	0,03

O nitrito nas águas é resultado da ação de microrganismos sobre o nitrogênio amoniacal, efluentes oriundos da atividade industrial e também poluição orgânica. Para os períodos avaliados, as maiores concentrações de nitrito foram encontradas no Baixo Paraíba, pelas atividades desenvolvidas no Médio Paraíba.

6.1.5.7 Concentração de Nitrato na Coluna d'Água

Os dados referentes à concentração de nitrato na coluna d'água na bacia do rio Paraíba do Sul, referentes ao período de 1981 a 2010 encontram-se descritos nas Tabelas 58, 59 e 60.

Tabela 58 - Concentração média anual de nitrato, em mg/L, no rio Paraíba do Sul, no período entre 1981 e 1990.

	Código do ponto	Distância da nascente (km)	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990
Alto Paraíba SP	SANT00100	50	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	PARB02050	51,5	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	PARB02100	52,7	0,20	0,32	0,21	0,10	0,15	0,17	0,16	0,16	0,10	0,10
	PARB02200	114	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	PARB02300	135	...	...	...	0,12	0,17	0,19	0,19	0,16	0,13	0,14
Médio Paraíba SP	PARB02310	136	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	PA2098	140	0,29	0,49	0,13	...	...	...	...	...	...	...
	PARB02400	183	0,31	0,39	0,15	0,14	0,17	0,24	0,21	0,19	0,14	0,17
	PARB02490	220	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	PARB02500	221	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Baixo Paraíba SP	PARB02530	236	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	PARB02600	271	0,33	0,47	0,16	0,20	0,26	0,31	0,30	0,22	0,19	0,22
	PARB02700	297	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	PARB02900	351	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...

Tabela 59 - Concentração média anual de nitrato, em mg/L, no rio Paraíba do Sul, no período entre 1991 e 2000.

	Código do ponto	Distância da nascente (km)	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
Alto Paraíba SP	SANT00100	50	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	PARB02050	51,5	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	PARB02100	52,7	0,11	0,07	0,11	0,10	0,12	0,12	0,15	0,13	0,18	0,19
	PARB02200	114	...	...	...	...	...	...	...	...	0,36	0,13
	PARB02300	135	0,20	0,12	0,18	0,17	0,19	0,15	0,17	0,15	0,21	0,19
Médio Paraíba SP	PARB02310	136	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	PA2098	140	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	PARB02400	183	0,22	0,19	0,24	0,22	0,28	0,20	0,20	0,26	0,23	0,34
	PARB02490	220	...	...	...	...	...	...	...	...	0,28	0,38
	PARB02500	221	...	...	...	...	...	...	0,25	0,29	...	...
Baixo Paraíba SP	PARB02530	236	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	PARB02600	271	0,28	0,24	0,07	0,01	...	...	...	0,32	0,32	0,35
	PARB02700	297	...	...	...	...	...	...	0,31	0,35	0,36	0,38
	PARB02900	351	...	...	...	...	...	0,29	0,34	0,44	0,33	0,42

Tabela 60 - Concentração média anual de nitrato, em mg/L, no rio Paraíba do Sul, no período entre 2001 e 2010.

	Código do ponto	Distância da nascente (km)	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Alto Paraíba SP	SANT00100	50	0,06	0,70	0,04	0,07	0,02	0,06	0,06	0,07	0,07	0,11
	PARB02050	51,5	...	...	...	0,17	0,09	0,09	0,13	0,17	0,12	0,20
	PARB02100	52,7	0,11	0,16	0,13	0,17	0,09	0,07	0,10	0,17	0,12	0,17
	PARB02200	114	0,14	0,13	0,16	0,20	0,11	0,10	0,14	0,19	0,13	0,20
Médio Paraíba SP	PARB02300	135	0,19	0,15	0,25	0,33	0,21	0,13	0,18	0,26	0,18	0,21
	PARB02310	136	0,16	0,17	0,27	0,32	0,22	0,15	0,15	0,25	0,18	0,20
	PA2098	140	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	PARB02400	183	0,29	0,32	0,42	0,51	0,28	0,29	0,28	0,39	0,31	0,37
Baixo Paraíba SP	PARB02490	220	0,37	0,39	0,49	0,55	0,33	0,25	0,63	0,42	0,34	0,49
	PARB02500	221	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	PARB02530	236	...	...	...	0,41	0,35	0,31	0,34	0,40	0,28	0,55
	PARB02600	271	...	0,35	0,50	0,50	0,39	0,32	0,32	0,39	0,26	0,50
	PARB02700	297	0,42	0,46	0,54	0,53	0,35	0,25	0,39	0,48	0,31	0,54
	PARB02900	351	0,49	0,52	0,56	0,60	0,37	0,32	0,41	0,38	0,36	0,63

Elevadas concentrações de nitrato nas águas são resultantes do uso intensivo de fertilizantes agrícolas e também coleta e disposição inadequada de esgoto sanitário.

Durante os trinta anos de avaliação, a concentração de nitrato nas águas do rio Paraíba do Sul ficou abaixo de 1,0 mg/L, valor bem inferior ao exigido pela legislação Federal nos rios de classe 1,2 e 3, que deve ser inferior a 10 mg/L.

A concentração média do nitrato no Paraíba do Sul, para os quinquênios avaliados na pesquisa, estão apresentados na tabela 61.

Tabela 61 - Concentração média quinquenal de nitrato, em mg/L, nas águas do rio Paraíba do Sul para o período de 1981 a 2010.

	Código do ponto	Distância da nascente (km)	Média 81-85	Média 86-90	Média 91-95	Média 96-00	Média 01-05	Média 06-10
Alto Paraíba SP	SANT00100	50	...	...	...	...	0,18	0,07
	PARB02050	51,5	...	...	...	...	0,13	0,14
	PARB02100	52,7	0,20	0,14	0,10	0,15	0,13	0,13
	PARB02200	114	...	...	...	...	0,15	0,15
Médio Paraíba SP	PARB02300	135	0,14	0,16	0,17	0,17	0,23	0,19
	PARB02310	136	...	...	...	...	0,23	0,18
	PA2098	140	0,30	...	...	...	...	...
	PARB02400	183	0,23	0,19	0,23	0,25	0,36	0,33
Baixo Paraíba SP	PARB02490	220	...	...	...	0,33	0,42	0,42
	PARB02500	221	...	...	...	0,27	...	...
	PARB02530	236	...	...	...	...	0,38	0,37
	PARB02600	271	0,28	0,25	0,15	0,33	0,43	0,36
	PARB02700	297	...	...	...	0,35	0,46	0,39
	PARB02900	351	...	...	...	0,36	0,51	0,42

Assim como o nitrito, as maiores concentrações de nitrato nas águas do Paraíba do Sul, nos períodos avaliados, foram detectadas no Baixo Paraíba.

6.1.5.8 Concentração de Nitrogênio Amoniacal na Coluna d'Água

Os dados referentes à concentração de nitrogênio amoniacal na coluna d'água na bacia do rio Paraíba do Sul, referentes ao período de 1981 a 2010 encontram-se descritos nas Tabelas 62, 63 e 64.

Tabela 62 - Concentração média anual de nitrogênio amoniacal, em mg/L, no rio Paraíba do Sul, no período entre 1981 e 1990.

	Código do ponto	Distância da nascente (km)	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990
Alto Paraíba SP	SANT00100	50	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	PARB02050	51,5	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	PARB02100	52,7	0,26	0,13	0,11	0,15	0,14	0,09	0,13	0,18	0,12	0,05
Médio Paraíba SP	PARB02200	114	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	PARB02300	135	...	...	...	0,16	0,18	0,17	0,22	0,16	0,18	0,14
	PARB02310	136	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Baixo Paraíba SP	PA2098	140	0,29	0,18	0,16	...	...	...	...	...	...	...
	PARB02400	183	0,31	0,29	0,29	0,30	0,32	0,22	0,23	0,17	0,20	0,16
	PARB02490	220	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	PARB02500	221	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	PARB02530	236	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	PARB02600	271	0,16	0,13	0,20	0,21	0,15	0,21	0,11	0,13	0,17	0,12
	PARB02700	297	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	PARB02900	351	1,27	1,27	1,02	1,20	1,05	0,93	0,77	0,80	0,83	0,81

Tabela 63 - Concentração média anual de nitrogênio amoniacal, em mg/L, no rio Paraíba do Sul, no período entre 1991 e 2000.

	Código do ponto	Distância da nascente (km)	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
Alto Paraíba SP	SANT00100	50	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	PARB02050	51,5	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	PARB02100	52,7	0,05	0,08	0,08	0,08	0,07	0,07	0,06	0,05	0,06	0,09
Médio Paraíba SP	PARB02200	114	...	...	...	...	...	...	...	...	0,18	0,07
	PARB02300	135	0,16	0,14	0,17	0,12	0,14	...	0,15	0,11	0,12	0,14
	PARB02310	136	...	...	...	...	...	0,16	...	...	...	...
Baixo Paraíba SP	PA2098	140	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	PARB02400	183	0,12	0,14	0,21	0,17	0,18	0,22	0,21	0,15	0,16	0,26
	PARB02490	220	...	...	...	...	...	...	...	...	0,18	0,20
	PARB02500	221	...	...	...	...	...	...	0,18	0,11	...	...
	PARB02530	236	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	PARB02600	271	0,11	0,11	0,07	...	...	...	...	0,09	0,16	0,07
	PARB02700	297	...	...	...	...	...	...	0,24	1,78	0,18	0,15
	PARB02900	351	0,70	0,59	...	...	0,09	0,12	0,14	0,08	0,11	0,10

Tabela 64 - Concentração média anual de nitrogênio amoniacal, em mg/L, no rio Paraíba do Sul, no período entre 2001 e 2010.

	Código do ponto	Distância da nascente (km)	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Alto Paraíba SP	SANT00100	50	0,03	0,60	0,09	0,04	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,17
	PARB02050	51,5	...	...	...	0,04	0,02	0,03	0,02	0,01	0,02	0,17
	PARB02100	52,7	0,02	0,02	0,04	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,08	0,17
	PARB02200	114	0,05	0,05	0,09	0,16	0,08	0,12	0,07	0,06	0,06	0,17
	PARB02300	135	0,26	0,14	0,18	0,18	0,14	0,18	0,12	0,15	0,12	0,17
Médio Paraíba SP	PA2097	136	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	PARB02310	140	0,10	0,13	0,17	0,17	0,11	0,15	0,08	0,10	0,11	0,17
	PARB02400	183	0,13	0,13	0,14	0,24	0,23	0,23	0,19	0,28	0,24	0,19
	PARB02490	220	0,09	0,11	0,10	0,13	0,12	0,16	0,08	0,18	0,19	0,17
	PARB02500	221	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Baixo Paraíba SP	PARB02530	236	...	...	...	0,13	0,10	0,13	0,15	0,20	0,14	0,17
	PARB02600	271	...	0,16	0,15	0,24	0,15	0,20	0,17	0,16	0,17	0,17
	PARB02700	297	0,15	0,18	0,12	0,20	0,11	0,14	0,10	0,13	0,13	0,17
	PARB02900	351	0,06	0,06	0,08	0,12	0,08	0,09	0,06	0,08	0,13	0,17

O nitrogênio amoniacal nas águas superficiais está relacionado, principalmente ao lançamento de esgotos sanitários. Alguns efluentes industriais também apresentam elevada concentração de amônia em sua composição.

A legislação Federal estabelece que a concentração de nitrogênio amoniacal, nos rios de classe 2, pode variar de 0,5 mg/L a 3,5 mg/L, conforme o pH da água. Pelos quadros 62, 63 e 64, observa-se que a concentração de nitrogênio amoniacal no Paraíba do Sul ficou abaixo de 2,0 mg/L durante todo o período avaliado.

A concentração média do nitrogênio amoniacal no rio Paraíba do Sul, para os quinquênios avaliados na pesquisa, estão apresentados na tabela 65.

Tabela 67 - IQA no rio Paraíba do Sul, no período entre 1991 e 2000.

	Código do ponto	Distância da nascente (km)	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
Alto Paraíba SP	SANT00100	50	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	PARB02050	51,5	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	PARB02100	52,7	80,3	80,3	81,3	78,2	79,4	76,7	72,6	81,3	79,6	81,2
	PARB02200	114	...	...	...	...	...	...	...	...	...	67,5
	PARB02300	135	...	...	...	...	...	57,4	53,9	57,4	54,1	54,5
Médio Paraíba SP	PARB02310	136	52,7	55,2	62,9	56,8	52,0	...	...	...	...	...
	PA2098	140	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	PARB02400	183	54,8	50,8	52,9	52,8	48,4	51,8	52,8	48,6	49,7	48,8
	PARB02490	220	...	...	...	...	...	...	...	...	59,6	60,3
	PARB02500	221	...	...	...	...	...	...	58,9	58,8	...	...
Baixo Paraíba SP	PARB02530	236	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	PARB02600	271	54,3	54,7	87,0	58,1	...	...	...	53,8	56,4	59,8
	PARB02700	297	...	...	...	...	...	...	53,7	53,5	...	57,5
	PARB02900	351	...	...	...	...	59,3	54,9	56,3	57,9	56,6	58,3

Tabela 68 - IQA no rio Paraíba do Sul, no período entre 2001 e 2010.

	Código do ponto	Distância da nascente (km)	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Alto Paraíba SP	SANT00100	50	72,7	83,7	85,2	81,5	87,8	80,3	82,0	...	89,0	89,0
	PARB02050	51,5	...	...	...	71,5	71,4	68,5	71,0	...	77,0	76,0
	PARB02100	52,7	65,3	70,2	73,2	70,7	71,3	72,8	73,0	...	77,0	75,0
	PARB02200	114	56,3	62,8	62,2	60,8	68,4	64,8	66,0	...	68,0	66,0
	PARB02300	135	44,0	50,8	52,2	43,0	50,5	57,2	54,0	...	60,0	61,0
Médio Paraíba SP	PARB02310	136	50,5	52,2	50,5	50,5	56,0	57,2	58,0	...	60,0	65,0
	PA2098	140	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	PARB02400	183	46,2	46,0	46,2	45,5	51,8	53,3	52,0	...	51,0	52,0
	PARB02490	220	58,5	55,7	53,2	57,5	58,5	56,7	55,0	...	55,0	63,0
	PARB02500	221	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Baixo Paraíba SP	PARB02530	236	...	...	...	54,0	56,6	52,3	50,0	...	57,0	61,0
	PARB02600	271	...	45,7	47,7	42,7	45,0	51,0	48,0	...	48,0	57,0
	PARB02700	297	49,7	49,0	50,0	49,7	51,7	53,5	57,0	...	51,0	60,0
	PARB02900	351	55,3	57,0	59,2	56,5	62,7	58,8	64,0	...	59,0	59,0

O IQA reflete a contaminação dos corpos hídricos ocasionado pelo lançamento de esgoto sanitário.

De acordo com os quadros 66, 67 e 68 é possível observar que a qualidade das águas do Paraíba do Sul estão classificadas, ao longo dos 29 anos de análise, como regular ($36 < \text{IQA} \leq 51$) e boa ($51 < \text{IQA} \leq 79$).

O IQA médio quinquenal do rio Paraíba do Sul para os períodos avaliados na pesquisa estão apresentados na tabela 69.

Tabela 69 - Média quinquenal do IQA nas águas do rio Paraíba do Sul para o período de 1981 a 2010.

	Código do ponto	Distância da nascente (km)	Média 81-85	Média 86-90	Média 91-95	Média 96-00	Média 01-05	Média 06-10
Alto Paraíba SP	SANT00100	50	...	...	...	...	82,2	85,1
	PARB02050	51,5	...	...	...	...	71,5	73,1
	PARB02100	52,7	77,6	76,5	79,9	78,3	70,1	74,5
	PARB02200	114	...	...	...	67,5	62,1	66,2
Médio Paraíba SP	PARB02300	135	...	...	...	55,5	48,1	58,0
	PARB02310	136	59,3	57,9	55,9	...	51,9	60,0
	PA2098	140	55,9	...	...	...	...	...
	PARB02400	183	56,8	55,8	52,0	50,3	47,1	52,1
Baixo Paraíba SP	PARB02490	220	...	...	...	60,0	56,7	57,4
	PARB02500	221	...	...	...	58,9	...	...
	PARB02530	236	...	...	...	...	55,3	55,1
	PARB02600	271	56,7	55,5	63,5	56,7	45,3	51,0
	PARB02700	297	...	...	...	54,9	50,0	55,4
	PARB02900	351	...	...	59,3	56,8	58,1	60,2

Com base na tabela 69, observa-se que o Médio Paraíba e o Baixo Paraíba são os trechos do rio que apresentam maior incidência de IQA regular nos períodos avaliados, em função da elevada concentração populacional e consequente aporte de esgotos sanitários no rio destes compartimentos.

6.1.5.10 Índice de Qualidade de Água Bruta para fins de Abastecimento do rio Paraíba do Sul - IAP.

O Índice de Qualidade de Água Bruta para fins de Abastecimento, IAP, é aplicado nos pontos de amostragem onde a água é utilizada para abastecimento público.

Os dados referentes ao IAP do rio Paraíba do Sul, referentes ao período de 2002 a 2010, encontram-se descrito na tabela 70.

Tabela 70 - IAP no rio Paraíba do Sul, no período entre 2002 e 2010.

	Código do ponto	Distância da nascente (km)	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Alto Paraíba SP	SANT00100	50	83,3	84,4	79,8	87,8	75,2	73,0	...	...	...
	PARB02050	51,5	60,0	71,3	68,3	...	...	70,0	...	75,0	72,0
	PARB02100	52,7	68,5	71,2	68,0	70,3	70,0	69,0	...	...	...
	PARB02200	114	51,0	51,0	42,0	66,0	58,5	63,0	...	55,0	58,0
Médio Paraíba SP	PARB02300	135	47,5	48,2	39,2	47,8	42,0	62,0	...	...	...
	PARB02310	136	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	PA2098	140	50,7	47,3	34,0	56,5	...	65,0	...	46,0	60,0
	PARB02400	183	43,0	43,5	40,7	48,0	53,0	52,0	...	...	...
Baixo Paraíba SP	PARB02490	220	53,3	35,3	43,0	53,5	42,0	44,0	...	40,0	53,0
	PARB02500	221	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	PARB02530	236	...	...	52,0	44,3	38,5	41,0	...	39,0	46,0
	PARB02600	271	36,5	31,8	32,3	35,7	39,5	37,0	...	33,0	50,0
	PARB02700	297	43,8	44,5	43,2	46,3	48,6	58,0	...	...	...
	PARB02900	351	51,5	51,8	48,8	55,2	54,6	53,0	...	...	...

No ano de 2008, a CETESB não divulgou o valor do IAP em cada ponto, apenas a classificação global do rio Paraíba do Sul.

Pelo quadro, observa-se que conforme a classificação da CETESB, as águas do Paraíba do Sul oscilaram entre regular ($36 < \text{IAP} \leq 51$) e boa ($51 < \text{IAP} \leq 79$). Assim como o IQA, o maior número de ocorrências de qualidade classificada como regular foi detectada no Médio Paraíba.

6.1.5.11 Índice de Qualidade da Água para Proteção da Vida Aquática do Paraíba do Sul - IVA

O Índice de Qualidade da Água para Proteção da Vida Aquática, IVA, avalia a qualidade da água com o intuito de proteger a fauna e a flora, incorporando no índice alguns contaminantes tóxicos.

Os dados referentes ao IVA do rio Paraíba do Sul, referentes ao período de 2002 a 2010 encontram-se descrito na tabela 71.

Tabela 71 - IVA no rio Paraíba do Sul, no período entre 2002 e 2010.

	Código do ponto	Distância da nascente (km)	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Alto Paraíba SP	SANT00100	50	2,8	2,6	3,0	2,9	2,5	2,0	...	2,0	2,5
	PARB02050	51,5	...	...	2,8	2,8	3,0	2,6	...	2,6	2,5
	PARB02100	52,7	3,0	3,0	3,5	2,8	2,9	2,9	...	3,0	2,8
	PARB02200	114	2,6	2,6	3,1	2,6	2,6	2,3	...	2,6	2,3
Médio Paraíba SP	PARB02300	135	4,8	4,8	6,6	5,0	3,7	3,6	...	3,1	3,3
	PARB02310	136	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	PA2098	140	3,7	3,9	5,2	4,6	4,0	3,7	...	4,2	3,8
	PARB02400	183	5,7	5,5	6,1	5,2	4,5	5,0	...	4,5	4,2
	PARB02490	220	3,0	3,5	3,7	3,7	3,2	3,6	...	2,9	3,0
	PARB02500	221	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Baixo Paraíba SP	PARB02530	236	...	...	4,4	3,4	2,8	2,9	...	2,6	3,1
	PARB02600	271	3,7	3,8	3,9	3,8	3,1	3,8	...	2,8	3,1
	PARB02700	297	4,9	4,6	4,9	3,9	3,8	4,0	...	4,0	4,1
	PARB02900	351	3,9	3,9	4,1	2,5	3,2	3,0	...	3,2	4,1

De acordo com a classificação da CETESB, o IVA no Paraíba do Sul oscilou entre ruim ($4,6 \leq \text{IVA} \leq 6,7$) e regular ($3,4 \leq \text{IVA} \leq 4,5$). Pela tabela 71, verifica-se que o Médio Paraíba registrou o maior número de ocorrências de águas com qualidade regular, como provável resultado da grande concentração industrial e urbana do trecho.

6.1.5.12 Índice de Estado Trófico nas Águas do Paraíba do Sul – IET

O Índice de Estado Trófico avalia a qualidade das águas em relação ao enriquecimento por nutrientes e seu efeito relacionado ao processo de eutrofização.

Os dados referentes ao IET do rio Paraíba do Sul, referentes ao período de 2002 a 2010 encontram descrito na Tabela 72.

Tabela 72 - IET no rio Paraíba do Sul, no período entre 2002 e 2010.

	Código do ponto	Distância da nascente (km)	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Alto Paraíba SP	SANT00100	50	36,33	37,55	33,78	...	47,00	47,28	...	46,48	50,00
	PARB02050	51,5	...	...	31,11	41,17	41,83	41,87	...	41,58	46,00
	PARB02100	52,7	33,33	34,94	41,61	46,50	46,00	45,90	...	48,30	50,00
	PARB02200	114	30,50	30,50	35,71	45,00	44,33	48,25	...	43,68	44,00
Médio Paraíba SP	PARB02300	135	51,83	50,69	60,02	56,00	54,50	54,70	...	53,98	54,00
	PARB02310	136	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	PA2098	140	43,00	40,26	42,60	53,17	55,33	57,18	...	48,80	52,00
	PARB02400	183	52,83	53,40	57,06	55,33	54,67	56,53	...	55,05	55,00
Baixo Paraíba SP	PARB02490	220	37,33	42,86	40,14	48,00	52,17	51,51	...	48,10	51,00
	PARB02500	221	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	PARB02530	236	...	...	50,58	47,50	47,67	48,87	...	46,13	49,00
	PARB02600	271	45,17	42,97	43,55	50,00	50,83	52,67	...	48,41	53,00
	PARB02700	297	55,67	49,15	54,91	57,33	57,00	56,83	...	56,29	58,00
	PARB02900	351	52,17	57,76	55,19	51,67	55,00	56,01	...	55,52	59,00

Com base na tabela 72, observa-se que o Alto Paraíba ficou classificado como oligotrófico ($IET \leq 47$), que significa baixa concentração de nutrientes. Já Médio Paraíba eutrófico ($59 \leq IET \leq 63$), ou seja, com concentração de nutrientes que pode afetar os múltiplos usos das águas, provavelmente como resultado da grande concentração populacional do trecho. O Baixo Paraíba, no período avaliado, também ficou enquadrado em eutrófico ($59 \leq IET \leq 63$).

6.2 RELAÇÃO ENTRE AS VARIÁVEIS

A relação entre as variáveis população, período de implantação das estações de tratamento de esgotos e qualidade das águas do rio Paraíba do Sul para os parâmetros DBO, DQO, OD, nitrogênio total, nitrogênio amoniacal, nitrito, nitrato e fósforo para o período de 1981 a 2010 são apresentados em cinco períodos distintos, conforme o quadro 20.

Quadro 20 - Classificação dos períodos considerados na pesquisa.

Identificação do Período	Anos
P0	1981 a 1985
P1	1986 a 1990
P2	1991 a 1995
P3	1996 a 2000
P4	2000 a 2005
P5	2006 a 2010

O período entre os anos de 1981 a 1985 (P0) foi incluído a fim de comparação com o P1 (1986 a 1985).

Para cada período, são apresentados a distribuição da população urbana dos municípios localizados na calha do Paraíba do Sul, bem como a população total da UGRHI.

Os gráficos de concentração de OD, DBO, DQO, nitrogênio total, nitrato, nitrito, amônia e fósforo apresentam a média quinquenal dos períodos P1, P2, P3, P4 e P5 dos pontos de monitoramento de qualidade das águas da CETESB.

O marco de referência foi a nascente do rio Paraíba do Sul. Todos os municípios localizados na calha do rio, a qualidade das águas nos pontos de monitoramento da CETESB e a localização das ETES foram plotadas nos gráficos em distância proporcional à nascente. A tabela 73 apresenta a distância dos municípios localizados na calha do rio Paraíba do Sul em relação a nascente.

Tabela 73 - Distância dos municípios localizados na calha do rio Paraíba do Sul em relação a nascente, em km.

Município	Distância da nascente (km)
Paraibuna	10
Santa Branca	50
Guararema	80
Jacareí	110
São José dos Campos	140
Caçapava	180
Taubaté	200
Tremembé	210
Pindamonhangaba	230
Roseira	250
Aparecida	260
Guaratinguetá	270
Lorena	280
Canas	300
Cachoeira Paulista	320
Cruzeiro	340
Queluz	350

Para avaliar o impacto dos municípios que não estão localizados na calha do Paraíba do Sul, bem como dos afluentes que recebem esgoto (bruto e tratado), além da influência dos reservatórios, foi apresentado para cada período o diagrama unifilar que indica o corpo receptor que recebem os esgotos tratados.

6.2.1 Período P1 (1986 a 1990)

A distribuição da população urbana nestes municípios, para os anos de 1985 e 1990 está indicado na figura 40.

Figura 40 - Distribuição da população urbana nos municípios localizados na calha do rio Paraíba do Sul, para os anos de 1985 e 1990.

No período avaliado P1, a população urbana de São José dos Campos foi a que mais cresceu. No ano de 1990, este município possuía 406 mil habitantes, o que representou um acréscimo de 55.000 habitantes na área urbana, quando comparado com o ano de 1985.

Jacareí, Taubaté, Pindamonhangaba e Guaratinguetá também apresentaram um crescimento da população significativo entre os anos de 1985 e 1990. Juntos, estes municípios foram responsáveis pelo acréscimo de 80.000 habitantes nas áreas urbanas no Vale do Paraíba no período de 1986 a 1990 (P1).

Na divisão do Paraíba do Sul em compartimentos, o trecho de maior crescimento e concentração de população urbana foi o Médio Paraíba –SP, onde estão localizados os municípios de São José dos Campos, Jacareí e Taubaté.

Em relação ao número de estações de tratamento de esgoto, até o ano de 1986, existiam sete ETEs na UGRHI 2, localizadas nos municípios de Roseira, Pindamonhangaba, Lorena, Caçapava, São José dos Campos e

Redenção da Serra. Entre os anos de 1986 a 1991, três novas ETEs foram implantadas na região, conforme apresentado na tabela 74.

Tabela 74 - Estações de tratamento de esgoto sanitário implantadas na UGRHI 2, no período P1.

Nome da ETE	Município	Ano do início da operação	Corpo receptor	Compartimento
<u>Bananal</u>	Bananal	1986	Rio Bananal	Baixo Paraíba - SP
<u>Roseira Velha</u>	Roseira	1989	Rio Piratingui	Baixo Paraíba - SP
<u>Urbanova</u>	São José dos Campos	1990	Rio Paraíba do Sul	Médio Paraíba - SP

Com a implantação destas ETEs, Bananal passou a tratar 100% do volume de esgoto coletado (45%). Roseira também atingiu a marca de 100% de tratamento do volume de esgoto coletado (60%). A implantação da ETE Urbanova aumentou o volume de tratamento de esgoto de São José dos Campos para 4% do total coletado.

A localização dos pontos de lançamento do esgoto tratado das ETEs implantadas entre 1986 a 1990 está apresentada na figura 41 a seguir.

Figura 41 - Localização do corpo receptor de esgoto tratado das ETEs implantadas na UGRHI 2, no período P1 (1986 a 1990).

No período P1 (1986 a 2000), duas novas ETEs foram implantadas no Baixo Paraíba – SP, conforme a tabela 74.

Com base nos dados da CETESB, a evolução da carga orgânica no período P1 (1986 a 1990) é apresentada na figura 42.

Figura 42 - Evolução da carga de DBO produzida, removida e remanescente, em kg/d, na UGRHI 2 nos anos de 1985 e 1990.

No ano de 1990, as novas ETEs e o aumento do índice de coleta de esgoto sanitário na região foram responsáveis pela remoção de 835 kg DBO/d que seriam lançadas no rio Paraíba do Sul, o que representou um acréscimo de remoção de DBO na ordem de 220 kg/d quando comparada com o ano de 1985. O aumento do volume de esgoto tratado, todavia, não acompanhou o crescimento populacional da UGRHI 2.

A concentração média da DBO, em mg/L, nas águas do Paraíba do Sul para os períodos de 1981 a 1985 e P1 (1986 a 1990), bem como a localização das ETEs implantadas na calha do rio no mesmo período estão apresentados na figura 43.

Figura 43 - Concentração de DBO, em mg/L, no rio Paraíba do Sul, no período P1 (1986 a 1990).

Numa visão macro, no período de 1986 a 1990, o aumento da concentração de DBO foi praticamente proporcional ao período anterior.

No trecho de São José dos Campos o aumento da concentração de DBO nas águas não foi tão acentuado, mantendo-se próximo ao quinquênio anterior, mesmo com o aumento da população urbana. Esta situação provavelmente está associada à implantação da ETE Urbanova, conforme o comportamento da curva da figura 43.

Em termos de compartimento, o Baixo Paraíba – SP apresentou as maiores concentrações de DBO nas águas do rio, como provável impacto do elevado volume de esgoto sem tratamento lançado neste trecho e também a montante.

No período avaliado, a concentração de DBO nas águas do Paraíba do Sul ficou abaixo de 3,0 mg/L, o que caracteriza um rio classe 2.

Em complemento à análise da DBO, a figura 44 apresenta a evolução da concentração média de DQO nas águas do rio Paraíba do Sul.

Figura 44 - Concentração de DQO, em mg/L, no rio Paraíba do Sul, no período P1 (1985 a 1990).

Assim como os resultados apresentados na DBO, a concentração de DQO nas águas do rio Paraíba do Sul também apresentou uma tendência de aumento proporcional ao período anterior (de 1981 a 1985), com uma ligeira queda na concentração na região de São José dos Campos, seguindo praticamente estável até o município de Guaratinguetá.

O compartimento com maiores concentrações do OD nas águas também foi o Baixo Paraíba SP.

Completando a análise do oxigênio, a concentração de OD no caudal do rio Paraíba do Sul, no período avaliado está apresentado na figura 45.

Figura 45 - Concentração de OD, em mg/L, no rio Paraíba do Sul, no período P1 (1985 a 1990).

No período P1, observa-se que a curva de concentração de OD manteve-se similar ao período anterior (1981 a 1985). O gráfico indica um pequeno aumento na concentração de OD no trecho de São José dos Campos, provavelmente em função da redução do volume de esgoto bruto lançado no rio, devido principalmente à implantação da ETE Urbanova.

O impacto da ETE Roseira, em termos de concentração de OD no Paraíba do Sul foi inexpressivo, em virtude da baixa vazão de esgoto tratado associado às ações antrópicas dos municípios a montante, que apresentam elevada concentração populacional e baixo volume de tratamento de esgoto. O Alto Paraíba – SP é o trecho do rio Paraíba do Sul com maior concentração de OD nas águas, em função da baixa concentração populacional nos municípios, desde a sua nascente.

Quanto à concentração de fósforo, a figura 46 apresenta sua evolução nas águas do rio Paraíba do Sul, para os períodos analisados.

Figura 46 - Concentração de fósforo, em mg/L, no rio Paraíba do Sul, no período P1 (1985 A 1990).

O fósforo nas águas aparece principalmente devido ao lançamento de esgoto sanitário, ocasionado pelo uso de detergentes e sabão em pó, e também pela contribuição de efluente industrial ou atividade agrícola intensa. Pela figura 46, observa-se uma tendência de aumento da concentração de fósforo no trecho entre Santa Branca e São José dos Campos, acompanhando o aumento da população urbana e industrial dos municípios, associados às características topográficas e de relevo do rio. No trecho entre São José dos Campos e Caçapava esta concentração de fósforo nas águas do Paraíba do Sul se reduz, seguindo praticamente estável até Queluz.

A amônia é um indicador de poluição doméstica ou industrial. A figura 47 apresenta a evolução da concentração deste parâmetro no caudal do rio Paraíba do Sul.

Figura 47 - Concentração de amônia, em mg/L, no rio Paraíba do Sul, no período P1 (1986 a 1990).

Os resultados da concentração de amônia no Paraíba do Sul demonstram uma clara tendência à redução, quando comparado com o período de 1981 a 1986 (P0), mesmo considerando o crescimento populacional aferido neste período.

O Médio Paraíba – SP é o trecho que apresenta as maiores concentrações de amônia, como provável impacto da elevada concentração da população urbana do trecho.

A figura 48 apresenta a concentração de nitrogênio total, em mg/L, nas águas do rio Paraíba do Sul, para o período avaliado P1 (1986 a 2000).

Figura 48 - Concentração de nitrogênio total, em mg/L, no rio Paraíba do Sul, no período P1 (1986 A 1990).

A curva referente à concentração de nitrogênio total nas águas do Paraíba do Sul demonstra uma clara tendência à redução deste parâmetro em todo o trecho avaliado, mantendo-se praticamente estável desde São José dos Campos até Queluz.

A concentração de nitrito e nitrato, apresentados nas figuras 49 e 50, complementa a análise do balanço de nitrogênio.

Figura 49 - Concentração de nitrito, em mg/L, no rio Paraíba do Sul, no período P1 (1985 A 1990).

Figura 50 - Concentração de nitrato, em mg/L, no rio Paraíba do Sul, no período P1 (1985 A 1990).

A concentração de nitrato e nitrito nas águas indica poluição de origem orgânica. Pelas figuras 49 e 50, observa-se uma redução na concentração de ambos os parâmetros no Paraíba do Sul, indicando uma tendência de estabilização e redução das ações antrópicas responsáveis pelo aporte das formas de nitrogênio nas águas, a exemplo a atividade agrícola.

Em relação ao IQA, a figura 51 apresenta a seus resultados no período P1 (1986 a 1990).

Figura 51 - IQA no rio Paraíba do Sul, no período P1 (1985 A 1990).

A água classificada como “boa” está concentrada no compartimento Alto Paraíba-SP, como resultado da baixa concentração populacional do trecho e, conseqüentemente, menor volume de aporte de esgoto sanitário nas águas do rio. No Média Paraíba-SP e o Baixo Paraíba-SP, o IQA classifica as águas com qualidade “regular”.

6.2.2 Período P2 (1991 a 1995)

A figura 52 compara a população urbana no caudal do rio Paraíba do Sul nos anos de 1985, 1990 e 1995.

Figura 52 - Distribuição da população urbana nos municípios localizados na calha do rio Paraíba do Sul, para os anos de 1985, 1990 e 1995.

No ano de 1995, a população urbana dos municípios de Taubaté e Tremembé superaram a marca dos 200 mil e 100 mil habitantes, respectivamente. São José dos Campos e Jacareí mantiveram suas taxas de crescimento populacional, alcançando 469 mil habitantes e 170 mil habitantes, respectivamente. Estes municípios estão localizados no Médio Paraíba-SP.

No período de 1991 a 1995, foram implantadas duas estações de tratamento de esgoto, conforme apresentado na tabela 75 a seguir.

Tabela 75 - Estações de tratamento de esgoto sanitário implantadas na UGRHI 2, no período P2 (1990 a 1995).

Nome da ETE	Município	Ano do início da operação	Corpo receptor	Compartimento
<u>Oeste</u>
Caçapava	1993	Rio Paraíba do Sul	Médio Paraíba - SP
<u>Lagoinha</u>	Lagoinha	1995	Ribeirão Rodeio	Alto Paraíba - SP

Com estas novas ETEs, o município de Lagoinha passou a tratar 60% do volume de esgoto coletado (86%) e Caçapava atingiu a marca de 100% de tratamento do volume de esgoto coletado (80%). A figura 53 apresenta os pontos de lançamento de esgoto das novas ETEs e a figura 54 a evolução das cargas de DBO na UGRHI 2.

Figura 53 - Localização do corpo receptor de esgoto tratado das ETEs implantadas na UGRHI 2, no período P2 (1991 a 1995).

Figura 54 - Carga de DBO produzida, removida e remanescente, em kg/d, na UGRHI 2 nos períodos 1985, 1990 (P1) e 1995 (P2).

Comparando-se os anos de 1990 e 1995, o aumento da remoção de carga de DBO foi de 165 kg/d. Este valor é muito baixo quando comparado com o aumento da carga orgânica produzida no mesmo período, que foi de aproximadamente 81.000 kgDBO/d. Como resultado, no ano de 1995, foram lançadas 78.800 kgDBO/d nas águas do rio Paraíba do Sul, apenas em função do aporte de esgoto sanitário.

A figura 55 apresenta a curva da evolução da concentração de DBO nas águas do rio Paraíba do Sul, nos períodos avaliados.

Figura 55 - Concentração de DBO, em mg/L, no rio Paraíba do Sul, no período P2 (1990 a 1995).

A curva de concentração média de DBO no período de 1991 a 1995 seguiu a mesma tendência do quinquênio anterior, porém com uma redução de concentração em todo o trecho, ficando abaixo de 2,0 mg/L. A concentração de DQO nas águas do Paraíba do Sul seguiu a mesma tendência da DBO, conforme apresentado na figura 56.

Figura 56 - Concentração de DQO, em mg/L, no rio Paraíba do Sul, no período P2 (1990 a 1995).

Semelhante à concentração de DBO no Paraíba do Sul, as maiores concentração de DQO nas águas deste rio foram detectadas no Baixo Paraíba – SP, provavelmente em função do grande aporte de esgoto sanitário e industrial sem tratamento adequado neste trecho.

A figura 57 apresenta a concentração de OD nas águas do Paraíba do Sul.

Figura 57 - Concentração de OD, em mg/L, no rio Paraíba do Sul, no período P2 (1990 a 1995).

A concentração de OD nas águas diminuiu no trecho entre os municípios de Santa Branca e Guaratinguetá, atingindo a concentração mínima de 4,0 mg/L. Nota-se com clareza que a partir de Guaratinguetá, a concentração de OD manteve-se semelhante aos anos anteriores.

No período P2 (1991 a 1995), o compartimento com menor concentração de OD nas águas foi o Médio Paraíba-SP, devido à baixa velocidade das águas deste trecho associado ao elevado aporte de esgoto sanitário sem tratamento no Paraíba do Sul.

Com base nos gráficos de concentração de DBO e DQO, verifica-se uma melhoria na qualidade das águas do rio Paraíba do Sul, quando comparado com o quinquênio anterior (1986 a 1995). A concentração de OD, todavia, diminuiu. Desta forma, numa visão macro, pode-se aferir que a melhoria na qualidade das águas do rio Paraíba do Sul possivelmente está associada aos eventos de chuvas intensas documentados no período avaliado, e não a

redução no lançamento de esgotos nas águas do rio, visto que apenas duas ETES foram implantadas no período P2.

A figura 58 apresenta a concentração de fósforo nas águas no Paraíba do Sul para os três períodos avaliados.

Figura 58 - Concentração de fósforo, em mg/L, no rio Paraíba do Sul, no período P2 (1990 a 1995).

Os resultados da concentração de fósforo no Paraíba do Sul no período P2 (1991 a 1995), quando comparado com o P1 (1986 a 1990), mostram uma clara tendência de aumento, atingindo a concentração máxima entre São José dos Campos e Caçapava, em virtude da elevada concentração populacional e, conseqüentemente, grande aporte de esgotos sanitários, somadas às ações antrópicas dos municípios a montante.

A figura 59 apresenta a concentração de amônia, em mg/L, nas águas do rio Paraíba do Sul, no período P2 (1990 A 1995).

Figura 59 - Concentração de amônia, em mg/L, no rio Paraíba do Sul, no período P2 (1990 a 1995).

De acordo com a curva, as maiores concentrações de amônia estão no Médio Paraíba-SP, atingindo a concentração máxima no trecho entre os municípios de Jacareí e Taubaté, que possuem elevada concentração populacional e industrial.

Numa visão macro, no P2 (1991 a 1995), a concentração média de amônia das águas do rio Paraíba do Sul diminuiu quando comparada com o P1, conforme indicado na figura 59.

A evolução da concentração média de nitrogênio total nas águas do rio Paraíba do Sul é apresentada na figura 60, a seguir.

Figura 60 - Concentração de nitrogênio total, em mg/L, no rio Paraíba do Sul, no período P2 (1990 a 1995).

Pelo gráfico, observa-se uma clara tendência de redução da concentração de nitrogênio total nas águas do Paraíba do Sul quando comparado com os quinquênios anteriores.

As concentrações médias quinquenais de nitrito e nitrato nas águas do rio Paraíba do Sul estão representados nas figuras 61 e 62, respectivamente.

Figura 61 - Concentração de nitrito, em mg/L, no rio Paraíba do Sul, no período P2 (1990 a 1995).

Figura 62 - Concentração de nitrato, em mg/L, no rio Paraíba do Sul, no período P2 (1990 a 1995).

Pode-se inferir, através dos gráficos, uma curva de concentração de nitrato e nitrato similar ao P1 (1986 a 1990). Os nitratos e nitritos são indicadores de processos biológicos ativos por poluição orgânica, o que confirma que não ocorreu redução significativa de aporte de matéria orgânica no Paraíba do Sul.

O aporte de esgoto, representado pelo IQA, é apresentado na figura 63, a seguir.

Figura 63 - IQA nas águas do Paraíba do Sul, no período P2 (1991 a 2000).

Com base na figura 63, observa-se que o IQA manteve a mesma tendência quando comparado com o P1. O maior volume de esgoto sanitário, de acordo com este índice, está no compartimento Médio Paraíba-SP, como resultado do baixo volume de tratamento de esgoto dos municípios associados à baixa velocidade do rio no trecho.

6.2.3 Período P3 (1996 a 2000)

O crescimento da população urbana, nos municípios localizados na calha do rio Paraíba do Sul, no ano de 2000 é apresentado na figura 64.

Figura 64 - Distribuição da população urbana nos municípios localizados na calha do rio Paraíba do Sul, para os anos de 1985, 1990, 1995 e 2000.

A população urbana em São José dos Campos, no ano de 2000, ultrapassou a marca de 500.000 habitantes. Já o município Guaratinguetá atingiu a marca de 100 mil habitantes.

Neste período, os municípios do Médio Paraíba-SP concentravam, no ano 2000, 1.185.000 mil habitantes, que representava aproximadamente 73% da população urbana total da UGRHI neste mesmo ano, que era de 1.630.000 habitantes.

Entre os anos de 1996 e 2000, a UGRHI 2 implantou 11 novas estações de tratamento de esgoto sanitário, conforme apresentado na tabela 76.

Tabela 76 - Estações de tratamento de esgoto sanitário implantadas na UGRHI 2, no período P3 (1996 a 2000).

Nome da ETE	Município	Ano do início da operação	Corpo receptor	Compartimento
ETE Silveiras	Silveiras	1996	Rib. Silveiras	Baixo Paraíba-SP
ETE Vila Bela	Guaratinguetá	1996	Rib. Das Motas	Baixo Paraíba-SP
ETE Igaratá	Igaratá	1998	Res. Jaguari	Médio Paraíba-SP
ETE Jambeiro	Jambeiro	1998	Res. Santa Branca	Alto Paraíba-SP
ETE Monteiro Lobato	Monteiro Lobato	1998	Rio Buquira	Médio Paraíba-SP
ETE Lagoa II	Pindamonhangaba	1998	Rio Paraíba do Sul	Médio Paraíba-SP
ETE Lavapés	São José dos Campos	1998	Rio Paraíba do Sul	Médio Paraíba-SP
ETE Maria Carolina	Santa Branca	1998	Rio Paraíba do Sul	Alto Paraíba-SP
ETE Central	Natividade da Serra	1999	Res. Paraibuna	Alto Paraíba-SP
ETE Centro	São José do Barreiro	1999	Cor. Estância	Baixo Paraíba-SP
ETE Campos Galvão	Guaratinguetá	2000	Rio Paraíba do Sul	Baixo Paraíba-SP

Silveiras passou a tratar 100% do volume dos esgotos coletados (na ordem de 95%). Jambeiro, Monteiro Lobato, São José do Barreiro e Pindamonhangaba também atingiram a marca de 100% de tratamento dos volumes de esgotos coletados, na ordem de 100%, 83%, 50% e 96%, respectivamente.

O município Natividade da Serra passou a tratar 96% do volume dos esgotos coletados (90%) e o município de Santa Branca passou a tratar 13% dos esgotos coletados (60%).

Com a implantação da ETE Lavapés, o município São José dos Campos passou a tratar 50% do volume dos esgotos coletados, na ordem de 98%.

A localização do corpo receptor dos esgotos tratados das novas ETES da UGRHI 2 está apresentada na figura 65.

Figura 65 - Localização do corpo receptor de esgoto tratado das ETEs implantadas na UGRHI 2, no período P3 (1996 a 2000).

Pela figura 65, observa-se que o Médio Paraíba-SP e o Baixo Paraíba-SP implantaram o maior número de ETEs no período P3, ambos com quatro novas unidades.

A implantação destas estações de tratamento de esgoto representou um aumento expressivo na carga orgânica (DBO) removida, conforme apresentado na figura 66.

Figura 66 - Carga de DBO produzida, removida e remanescente, em kg/d, na UGRHI 2, nos anos 1985, 1990 (P1), 1995 (P2) e 2000 (P3).

A carga orgânica tratada, no ano de 2000, foi de 23.000 kgDBO/d. Este valor representou um aumento de 22.000 kgDBO/d, quando comparado com o ano de 1995. Já a carga de DBO encaminhada para o rio Paraíba do Sul foi reduzida na ordem de 14.000 kg/d em relação ao ano de 1996.

A figura 67 apresenta a concentração de DBO nas águas do Paraíba do Sul, enquanto a figura 68 a concentração de DQO no mesmo rio, no período P3 (1996 a 2000).

Figura 67 - Concentração de DBO, em mg/L, no rio Paraíba do Sul, no período P3.

Figura 68 - Concentração de DQO, em mg/L, no rio Paraíba do Sul, no período P3.

Pela curva, pode-se inferir que a tendência de aumento da concentração da DBO, desde Santa Branca até Jacareí, foi interrompida em São José dos Campos, como provável resultado da implantação da ETE Lavapés. Com a implantação desta ETE, este município passou a tratar 50% do volume total de esgoto coletado (98%).

As características topográficas e de relevo do rio Paraíba do Sul no trecho entre os municípios de São José dos Campos e Caçapava dificulta a degradação da matéria orgânica, uma vez que este trecho é meandrado e sem corredeiras, características que reduzem a velocidade das águas e prejudicam o processo de reoxigenação.

Desta forma, as características morfológicas deste trecho do rio associadas ao impacto antrópico dos municípios a montante, com destaque para Jacareí, que no ano de 2000 não tratava o esgoto sanitário gerado, justifica a elevada concentração de DBO e DQO no trecho de São José dos Campos e Caçapava.

Em Caçapava a concentração de DBO sofre uma redução acentuada em função do elevado índice de coleta e tratamento de esgoto deste município associado às características topográficas e de relevo do rio, porém atinge a concentração máxima do período em Tremembé, que juntamente com Taubaté, não tratavam o esgoto sanitário.

No trecho entre Pindamonhangaba e Guaratinguetá a concentração de DBO nas águas do rio volta a cair, como provável impacto das ETEs associado ao aumento da velocidade das águas do rio no trecho.

A curva da concentração de DQO acompanhou a mesma tendência da curva de DBO no período P3 (1996 a 2000).

Em termos de qualidade das águas do rio Paraíba do Sul, a figura 69 apresenta a concentração de OD nas águas, para o período de 1996 a 2000.

Figura 69 - Concentração de OD, em mg/L, no rio Paraíba do Sul, no período P3 (1996 a 2000).

No trecho entre Santa Branca e Jacareí, a concentração de OD foi semelhante ao quinquênio anterior.

A curva indica também um aumento da concentração de OD à jusante da ETE Lavapés, como resultado da implantação desta estação. Porém verifica-se uma queda acentuada até o início do trecho de Caçapava, que pode estar associada à elevada concentração populacional e aos baixos volumes de tratamento de esgoto a montante deste município.

A partir do município de Caçapava, a concentração de OD no Paraíba do Sul volta a aumentar, como provável impacto do elevado volume de esgoto tratado deste município associado às características de relevo do rio, que favorece a depuração da matéria orgânica em função do aumento da velocidade das águas.

Para a análise da concentração de fósforo, a figura 70 apresenta a curva média de concentração no período P3 (1996 a 2000).

Figura 70 - Concentração de fósforo, em mg/L, no rio Paraíba do Sul, no período P3 (1996 a 2000).

Quando comparada ao período P2, a concentração do fósforo nas águas do Paraíba do Sul foi menor nos compartimentos Alto Paraíba-SP e Médio Paraíba-SP.

Entre o trecho de Santa Branca a Jacareí, esta curva foi similar às anteriores, mantendo a tendência de aumento na concentração de fósforo até o município de São José dos Campos, com uma pequena queda após a ETE Lavapés, provavelmente em virtude da diminuição do volume de esgoto sem tratamento lançado no Paraíba do Sul.

No trecho entre Caçapava e Roseira, a concentração manteve-se estável, atingindo o valor máximo em Canas, provavelmente em função das ações antrópicas (atividade agrícola e lançamento de esgoto) dos municípios a montante, associada à intensa atividade agrícola, com destaque para a silvicultura no trecho.

A figura 71 apresenta o comportamento da amônia nas águas do rio Paraíba do Sul, no período de 1996 a 2000.

Figura 71 - Concentração da amônia, em mg/L, no rio Paraíba do Sul, no período P3 (1996 a 2000).

A concentração de amônia nas águas também aumentou em comparação com o período P2. Pode-se afirmar, de maneira macro, que este aumento é resultado do crescimento populacional dos municípios da UGRHI 2.

A figura 72 apresenta a concentração de nitrogênio total nas águas do rio Paraíba do Sul.

Figura 72 - Concentração de nitrogênio total, em mg/L, no rio Paraíba do Sul, no período P3 (1996 a 2000).

Semelhante ao comportamento da amônia, a concentração de nitrogênio total também aumentou no período P3, atingindo valores máximos em Tremembé e Canas, fato que pode estar associado ao uso de fertilizantes agrícolas (principalmente na Silvicultura) e também em lançamentos de esgotos industriais e sanitários nos trechos a montante destes municípios. As figuras 73 e 74 apresentam o comportamento da concentração de nitrito e nitrato no período analisado.

Figura 73 - Concentração de nitrito, em mg/L, no rio Paraíba do Sul, no período P3 (1996 a 2000).

Figura 74 - Concentração de nitrato, em mg/L, no rio Paraíba do Sul, no período P3 (1996 a 2000).

A concentração de nitrito e nitrato aumentaram no Médio Paraíba-SP e no Baixo Paraíba-SP no P3 (1996 a 2000) como resultado do crescimento populacional e industrial da UGRHI 2, além do uso de fertilizantes nas áreas agrícolas.

O aporte de esgoto sanitário nas águas do Paraíba do Sul, indicado pelo IQA, está apresentado na figura 75, para o período P3 (1995 a 2000).

Figura 75 - IQA nas águas do rio Paraíba do Sul, no período P3 (1995 a 2000).

6.2.4 Período P4 (2001 a 2006)

A população urbana da UGRHI 2, no ano de 2006, era de 1,8 milhões. Sua distribuição na calha do Paraíba do Sul está representada na figura 76, a seguir.

Figura 76 - Distribuição da população urbana nos municípios localizados na calha do rio Paraíba do Sul, para os anos de 1985, 1990 (P1), 1995 (P2), 2000 (P3) e 2005 (P4).

A população de São José dos Campos, no ano de 2006, se aproximou da marca de 600 mil habitantes na região urbana. Jacareí e Guaratinguetá atingiram a marca de 200 mil e 100 mil habitantes, respectivamente.

Entre os anos de 2001 a 2006, foram implantadas 10 novas ETES na UGRHI 2, conforme apresentado na tabela 77, a seguir.

Tabela 77 - Estações de tratamento de esgoto sanitário implantadas na UGRHI 2, no período P4 (2001 a 2006).

Nome da ETE	Município	Ano do início da operação	Corpo receptor	Código no unifilar
ETE Jardim das Flores	São Jose dos Campos	2001	Rib. Parangaba	Médio Paraíba-SP
ETE Canas	Canas	2003	Rib. Canas	Baixo Paraíba-SP
ETE Eugênio de Melo	São José dos Campos	2003	Rio Paraíba do Sul	Médio Paraíba-SP
ETE Vila Bela	Jacareí	2004	Rio Paraíba do Sul	Médio Paraíba-SP
ETE Araretama	Pindamonhangaba	2005	Rio Paraíba do Sul	Médio Paraíba-SP
ETE Catuçaba	São Luíz do Paraitinga	2005	Res. Paraitinga	Alto Paraíba-SP
ETE Meia Lua	Jacareí	2005	Rib. Turi	Médio Paraíba-SP
ETE Campos Novos	Cunha	2005	Cor. Botucatu	Baixo Paraíba-SP
ETE São Silvestre	Jacareí	2005	Rio Paraíba do Sul	Médio Paraíba-SP
ETE São Luiz do Paraitinga	São Luíz do Paraitinga	2005	Rib. Chapéu	Alto Paraíba-SP

No ano de 2005, Jacareí passou a tratar 20% do volume dos esgotos sanitários coletados (94%), enquanto São José dos Campos passou a tratar 46% do volume coletado (88%).

São Luís do Paraitinga atingiu 100% de tratamento do volume coletado (74%), e Cunha 16% do volume coletado (100%).

Canas e Pindamonhangaba passaram a tratar 92% do volume dos esgotos coletados (na ordem de 91%).

A figura 77 apresenta os pontos de lançamento de esgoto das ETEs implantadas neste período.

Figura 77 - Localização do corpo receptor de esgoto tratado das ETES implantadas na UGRHI 2, no período P4 (2001 a 2006).

Em termos de remoção de carga orgânica, DBO, a figura 78 apresenta o impacto do aumento do volume de esgoto tratado na UGRHI 2, no período P4.

Figura 78 - Carga de DBO produzida, removida e remanescente, em kg/d, na UGRHI 2 nos anos 1985, 1990 (P1), 1995 (P2), 2000 (P3) e 2005 (P4).

No ano de 2005, a carga orgânica removida foi de, aproximadamente, 25000 kgDBO/d, o que representou uma remoção adicional de 2.000 kgDBO/d quando comparado com o ano de 2000.

Esta remoção não acompanhou o crescimento da população urbana e, conseqüentemente da DBO produzida, que, no ano de 2006, foi de aproximadamente 97.000 kg/d.

As figuras 79 e 80 apresentam a evolução da concentração média de DBO e DQO no período entre os anos de 2001 a 2005.

Figura 79 - Concentração de DBO, em mg/L, no rio Paraíba do Sul, no período P4 (2000 a 2005).

Figura 80 - Concentração de DQO, em mg/L, no rio Paraíba do Sul, no período P4 (2000 a 2005).

No trecho entre os municípios de Santa Branca e São José dos Campos, a concentração da DBO nas águas diminuiu quando comparada com o período P3. Esta redução de matéria orgânica pode estar associada ao aumento do volume de esgoto tratado do trecho associado às características de relevo e topográfica do rio.

A concentração da DBO aumentou no trecho entre São José dos Campos, atingindo o valor máximo em Caçapava.

A queda na concentração de DBO, que se inicia em Caçapava, é interrompida no trecho próximo ao município de Tremembé, local que recebe um elevado volume de esgotos sem tratamento. A partir deste ponto, a concentração da DBO se eleva, atingindo a concentração de máxima na região de Guaratinguetá, possivelmente em função da ausência de tratamento de esgotos em alguns municípios populosos a montante, a exemplo de Aparecida.

A partir de Lorena, a concentração de DBO nas águas do rio volta a cair, se estabilizando até Queluz. Neste trecho, o Paraíba do Sul perde a sinuosidade e volta a apresentar corredeiras, fatores que favorecem a reoxigenação e a depuração da matéria orgânica.

A concentração da DQO, conforme a figura 80, apresentou a mesma tendência que a DBO no período P4 (2000 A 2005).

Já em relação à concentração de OD nas águas do rio Paraíba do Sul, a figura 81 apresenta a evolução do período avaliado.

Figura 81 - Concentração de OD, em mg/L, no rio Paraíba do Sul, no período P4 (2000 A 2005).

A partir da análise da figura 81, verifica-se que a curva da concentração média de OD nas águas do rio Paraíba do Sul, no período P4 (2001 a 2005) atingiu as menores concentrações nos três compartimentos, quando comparado com os períodos anteriores.

Observa-se o aumento da concentração de OD no trecho de Jacareí, como provável impacto da implantação das ETEs deste município associadas ao relevo e topografia do rio.

Na região entre São José dos Campos e Tremembé, a concentração de OD no Paraíba foi inferior a 3,0 mg/L, desenquadrando o rio da classe 2, que estabelece que a concentração de OD deve ser superior a 4,0 mg/L. Esta baixa concentração é resultado da grande concentração populacional e industrial associada às características de relevo e topografia do rio no trecho, que não favorece a reoxigenação e a depuração da matéria orgânica. No Baixo Paraíba-SP, a concentração de OD se estabiliza no trecho entre Roseira e Canas, aumentando a partir deste município, favorecido pela baixa

concentração populacional associada ao aumento da velocidade das águas do Paraíba do Sul.

A figura 82 apresenta o comportamento da concentração média do fósforo no período avaliado.

Figura 82 - Concentração do fósforo, em mg/L, no rio Paraíba do Sul, no período P4 (2000 a 2005).

A curva de concentração no trecho avaliado foi similar ao período anterior, porém com concentração menor até o trecho de Pindamonhangaba. Este comportamento pode indicar a redução do volume de esgoto lançado no rio. A partir de Guaratinguetá a concentração se eleva, podendo ser resultado, dentre outros fatores, da atividade de agricultura e da silvicultura da região. A figura 83 apresenta a concentração de amônia no período avaliado.

Figura 83 - Concentração de amônia, em mg/L, no rio Paraíba do Sul, no período P4 (2000 a 2005).

A curva de concentração da amônia nas águas do Paraíba do Sul foi similar à curva do período anterior, porém com uma menor concentração. Observam-se picos de concentração nos municípios de Jacareí e Aparecida, regiões com grande concentração populacional.

A figura 84 apresenta o comportamento do nitrogênio total na coluna d'água nos períodos avaliados.

Figura 84 - Concentração de nitrogênio total, em mg/L, no rio Paraíba do Sul, no período P4 (2000 a 2005).

Com relação ao período P3, a concentração de nitrogênio total diminuiu em todo o trecho, seguindo a mesma tendência da concentração de amônia nas águas do Paraíba do Sul.

As figuras 85 e 86 apresentam a evolução da concentração de nitrito e nitrato nas águas do Paraíba do Sul.

Figura 85 - Concentração de nitrito, em mg/L, no rio Paraíba do Sul, no período P4 (2000 a 2005).

Figura 86 - Concentração de nitrato, em mg/L, no rio Paraíba do Sul, no período P4 (2000 a 2005).

A concentração de nitrato aumenta no Médio Paraíba-SP e no Baixo Paraíba-SP, atingindo o valor máximo no trecho dos municípios de Tremembé e Queluz, em função dos efeitos cumulativos das ações antrópicas dos municípios localizados a montante dos mesmos.

Já a concentração de nitrito apresentou concentrações máximas nos trechos de Jacareí, Caçapava e Tremembé, mantendo sua concentração estável a partir de Pindamonhangaba.

A figura 87 apresenta a evolução do IQA nas águas do Paraíba do Sul, no período P4 (2001 a 2005).

Figura 87 - IQA nas águas do rio Paraíba do Sul no período P4 (2001 a 2005).

Pela figura 87, é possível observar que nos compartimentos Alto Paraíba-SP e Médio Paraíba-SP, o IQA calculado no P4 seguiu a mesma tendência dos anos anteriores. No Baixo Paraíba-SP, todavia, o IQA diminuiu no trecho entre os municípios de Roseira e Cruzeiro, como resultado do aporte de

esgotos sanitários e industriais destes municípios e também do trecho a montante dos mesmos.

A figura 88 apresenta a evolução do Índice de Qualidade das Águas para fins de Abastecimento Público, IAP, nas águas do Paraíba do Sul, no período P4 (2001 a 2005).

Figura 88 - IAP nas águas do rio Paraíba do Sul no período P4 (2001 a 2005).

Este índice classifica as águas para fins de abastecimento público. Pela figura 88 verifica-se que ao IAP nos compartimentos Médio e Baixo Paraíba-SP ficaram classificadas como “regular”, em função do elevado volume de esgotos que é lançado pelos municípios deste trecho no Paraíba do Sul.

Na região do Alto Paraíba, de acordo com o IAP, as águas são classificadas como “boa”. Esta qualidade está associada a proximidade da região com a nascente do Paraíba do Sul relacionadas também a baixa concentração de população urbana no trecho.

A figura 89 apresenta a evolução do Índice de Qualidade das Águas para Fins de Proteção da Vida Aquática, IVA, nas águas do Paraíba do Sul, no período P4 (2001 a 2005).

Figura 89 - IVA nas águas do rio Paraíba do Sul no período P4 (2001 a 2005).

O IVA avalia a qualidade das águas para fins de proteção da fauna e a flora. Pela figura 89, a qualidade das águas no Alto Paraíba-SP é classificada como “boa”.

Já no Médio Paraíba-SP varia entre “ruim” e “regular”, em função do elevado volume de esgotos (sanitário e industrial) lançado no trecho. No Baixo Paraíba-SP, a qualidade das águas é classificada como “regular”.

A figura 90 apresenta a evolução do Índice de Estado Trófico, IET, nas águas do Paraíba do Sul, no período P4 (2001 a 2005).

Figura 90 - IET nas águas do rio Paraíba do Sul no período P4 (2001 a 2005).

O índice de estado trófico classifica as águas de acordo com o grau de trofia. De acordo com este índice, o Alto Paraíba-SP apresenta baixa concentração de nutrientes. Já o Médio Paraíba-SP e o Baixo Paraíba são classificados como mesotrófico, no qual o excesso de nutrientes pode comprometer a qualidade das águas.

6.2.5 Período P5 (2006 a 2010)

A figura 91 apresenta a concentração populacional urbana dos municípios localizados na calha do rio Paraíba do Sul, nos anos 1985, 1990 (P1), 1995 (P2), 2000 (P3), 2005 (P4) e 2010 (P5).

Figura 91 - Distribuição da população urbana nos municípios localizados na calha do rio Paraíba do Sul, para os anos de 1985, 1990 (P1), 1995 (P2), 2000 (P3), 2005 (P4) e 2010 (P5).

A população urbana do Médio Paraíba-SP, no ano de 2010, atingiu a marca de 1.382.258 habitantes que, em termos percentuais, representava 74 % da população urbana total da UGRHI 2 (neste mesmo ano).

No período P5 (2006 a 2010) foram implantadas seis novas estações de tratamento de esgoto, conforme apresentado na tabela 78, a seguir.

Tabela 78 - Estações de tratamento de esgoto sanitário implantadas na UGRHI 2, no período P5 (2006 A 2010).

Nome da ETE	Município	Ano do início da operação	Corpo receptor	Compartimento
ETE Bandeira Branca	Jacareí	2006	Rio Paraíba do Sul	Médio Paraíba- SP
ETE Leste	Caçapava	2008	R. Caçapava Velha	Médio Paraíba- SP
ETE Sede	Guararema	2008	Rio Paraíba do Sul	Alto Paraíba- SP
ETE Pedregulho	Guaratinguetá	2008	Rio Paraíba do Sul	Baixo Paraíba- SP
ETE Potim	Potim	2009	Rio Paraíba do Sul	Baixo Paraíba- SP
ETE Taubaté-Tremembé	Taubaté	2010	Rio Piracanga	Médio Paraíba- SP

A localização dos pontos de lançamento das novas ETEs implantadas no período P4 está representada na figura 92, a seguir.

Figura 92 - Localização dos pontos de lançamento de esgoto tratado das estações de tratamento de esgoto implantadas no período P5 (2006 a 2010).

A figura 93 apresenta a evolução das cargas de DBO produzida, removida e remanescente, em kg/d, na UGRHI 2 nos anos 1985, 1990 (P1), 1995 (P2), 2000 (P3), 2005 (P4) e 2010 (P5).

Figura 93 - Carga de DBO produzida, removida e remanescente, em kg/d, na UGRHI 2 nos anos 1985, 1990 (P1), 1995 (P2), 2000 (P3), 2005 (P4) e 2010 (P5).

As novas ETEs associadas ao aumento da coleta dos esgotos resultaram numa carga removida na ordem de 43.000 kgDBO/d no ano de 2010, o que representou um aumento de remoção de DBO na ordem de 18.000 kg/d, quando comparado com o ano de 2006. A carga remanescente no rio passou a 58.000 kgDBO/d.

Com a implantação das ETEs citadas na tabela 78, o município de Caçapava passou a tratar 99% do volume de esgoto tratado (da ordem de 87%), enquanto que Guararema atingiu o índice de 35% de tratamento do volume total de esgoto sanitário coletado (da ordem de 70%). Já município de Guaratinguetá atingiu a marca de 18% de tratamento do volume de esgoto coletada (da ordem de 18%). Jacareí passou a tratar 20% do volume

de esgoto coletado (89%). Taubaté e Tremembé foram os municípios que apresentaram os melhores índices de coleta e tratamento de esgoto do período, devido à implantação da ETE Taubaté-Tremembé. Ambos atingiram a marca de 100% de tratamento do total volume de esgoto sanitário coletado, na ordem de 92% e 76%, respectivamente.

A figura 94, a seguir, apresenta a evolução da concentração de DBO nas águas do Paraíba do Sul, no período P5 (2006 a 2010).

Figura 94 - Concentração do DBO, em mg/L, no rio Paraíba do Sul, no período P5 (2006 a 2010).

Acompanhando o crescimento populacional do P5 (2006 a 2010), a concentração de DBO nas águas do Paraíba do Sul aumentou no Alto, Médio e Baixo Paraíba – SP.

Mesmo com a implantação das ETEs Sede e Bandeira Branca, nos municípios de Guararema e Jacareí, respectivamente, o volume de esgotos

tratados nestes municípios ficou abaixo de 35% do volume total coletado, fato que justifica a elevação da concentração de DBO nas águas do rio.

A maior concentração de DBO nas águas ocorreu na região entre São José dos Campos e Caçapava, trecho que acumula elevada concentração populacional, baixo índice de tratamento de esgotos (46% do volume total coletado), associados à baixa velocidade das águas do rio.

Nota-se uma pequena redução na concentração de DBO no trecho de Guaratinguetá, provavelmente em função da implantação da ETE Pedregulho.

A figura 95 apresenta a concentração de OD nas águas do Paraíba do Sul, no período P5 (2006 a 2010).

Figura 95 - Concentração do OD, em mg/L, no rio Paraíba do Sul, no período P5 (2006 a 2010).

Observa-se, através da figura 92 que a curva de concentração da OD no período P5 (2006 a 2010) seguiu a mesma tendência do período anterior.

Mesmo com o baixo volume de esgoto tratado no trecho entre Guararema e Jacareí, as duas ETEs implantadas nestes municípios foram as prováveis responsáveis pelo aumento da concentração de OD neste trecho do Paraíba do Sul.

Observa-se, pela figura 95, que a concentração de OD no Médio Paraíba – SP aumentou quando comparada com o período P4, voltando a ficar enquadrado na classe 2.

A partir de Caçapava, o ponto de menor concentração de OD nas águas no período P5 (2006 a 2010), o OD nas águas aumenta como provável resultado da diminuição da sinuosidade do rio e o aumento da distância entre as margens, fatores que favorecem a reoxigenação das águas.

Pelas figuras 95 e 96, é possível observar o impacto positivo da implantação da ETE Taubaté-Tremembé que apesar de iniciar sua operação em 2010, data limite do período P5, já foi possível observar a redução da concentração de DBO e aumento da concentração de OD neste trecho do rio e a jusante.

A concentração de fósforo nas águas do Paraíba do Sul no período P5 é apresentado na figura 96, a seguir.

Figura 96 - Concentração do fósforo, em mg/L, no rio Paraíba do Sul, no período P5 (2006 a 2010).

Pela figura 96, observa-se uma curva crescente da concentração de fósforo em todo o trecho avaliado do rio.

As estações convencionais de tratamento de esgoto (tratamento preliminar, primário e secundário) não removem fósforo. O aumento da concentração de fósforo em todo o trecho é resultado do crescimento populacional e industrial na UGRHI 2 associado ao lançamento de esgoto.

A figura 97 apresenta a concentração de amônia nas águas do Paraíba do Sul, no período P5 (2006 a 2010).

Figura 97 - Concentração do amônia, em mg/L, no rio Paraíba do Sul, no período P5 (2006 a 2010).

No período P5 (2006 a 2010), as maiores concentração de amônia no rio foram detectadas no compartimento Médio Paraíba-SP. A amônia é resultado, principalmente, da hidrólise da ureia na água, logo a elevada concentração deste trecho é resultado da elevada concentração populacional e consequente elevado volume de esgotos secundários lançamento no rio.

A figura 98 apresenta a concentração de nitrogênio total nas águas do Paraíba do Sul, no período P5 (2006 a 2010).

Figura 98 - Concentração do nitrogênio total, em mg/L, no rio Paraíba do Sul, no período P5 (2006 a 2010).

A curva de concentração do nitrogênio total no Paraíba do Sul, no período P5, é semelhante à curva de concentração da amônia apresentada na figura 97.

As menores concentrações de nitrogênio total estão na região do Alto e do Baixo Paraíba-SP, região de menor concentração populacional.

As figuras 99 e 100 apresentam a concentração de nitrito e nitrato, respectivamente, nas águas do rio Paraíba do Sul, no período P5 (2006 a 2010).

Figura 99 - Concentração do nitrito, em mg/L, no rio Paraíba do Sul, no período P5 (2006 a 2010).

Figura 100 - Concentração do nitrato, em mg/L, no rio Paraíba do Sul, no período P5 (2006 a 2010).

Pela figura 101, verifica-se um pequeno aumento no IQA no Médio e Baixo Paraíba – SP, o que indica a redução da contaminação geral das águas por esgoto, com resultado da implantação das 5 ETEs neste período em todo o caudal do rio.

A figura 102 apresenta a média do Índice de Qualidade das Águas para fins de Abastecimento Público, IAP, nas águas do Paraíba do Sul, no período P5 (2006 a 2010).

Figura 102 - IAP nas águas do rio Paraíba do Sul no período P5 (2006 a 2010).

No médio Paraíba, a qualidade da água, de acordo com o IAP, passou de regular para boa. Este fato indica que, numa visão macro do rio, a implantação das ETEs, associadas a outras ações ambientais na UGRHI, estão colaborando com a melhoria da qualidade das águas do rio.

A figura 103 apresenta a média do Índice de Qualidade das Águas para fins de Proteção da Vida Aquática, IVA, nas águas do Paraíba do Sul, no período P5 (2006 a 2010).

Figura 103 - IVA nas águas do rio Paraíba do Sul no período P5 (2006 a 2010).

A redução do IVA no período P5 (2006 a 2010) indica um aumento na concentração de contaminantes nas águas do rio, como resultado ainda do elevado volume de esgoto sem tratamento lançado no Paraíba do Sul. O Índice de Estado Trófico, IET, médio nas águas do Paraíba do Sul é apresentado na figura 104, para o período P5 (2006 a 2010).

Figura 104 - IET nas águas do rio Paraíba do Sul no período P5 (2006 a 2010).

A elevação do IET no período P5 (2006 a 2010), apresentado na figura 104 indica que, de forma global, a concentração de nutrientes na água aumentou, que é resultado do crescimento da concentração populacional e industrial da UGRHI 2.

7 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A partir dos dados levantados no decorrer desta pesquisa, considerando-se as informações avaliadas no levantamento bibliográfico, bem como os dados obtidos a partir do estudo de caso, pode-se verificar o impacto das questões relacionadas com o uso e ocupação do solo, com destaque para as atividades urbanas sobre a qualidade das águas do rio Paraíba do Sul.

Através dos dados da pesquisa, verificou-se o que o lançamento de esgotos sanitários sem tratamento nas águas do Paraíba do Sul é uma fonte de poluição importante das águas deste rio.

A população urbana da UGRHI 2 praticamente dobrou entre anos de 1981 a 2010, período de estudo desta pesquisa. O volume de esgotos sanitários submetido a algum tipo de tratamento, todavia não seguiu a mesma tendência de crescimento. No ano de 2010, aproximadamente 61% da população desta UGRHI tem seu esgoto tratado.

O impacto do lançamento do esgoto foi confirmado nos dados de qualidade das águas do Paraíba do Sul. O Médio Paraíba-SP é o trecho do rio que apresentou as menores concentrações de OD e as maiores concentrações de DQO. Estas características são resultados da elevada concentração da população urbana no trecho associado ao baixo volume de tratamento de esgoto nos municípios do trecho, com destaque para Jacareí, que no ano de 2010 trata apenas 20% do volume total coletado, São José dos Campos, que tratava aproximadamente 46% do volume coletado e Guaratinguetá, que tratava 18% do volume de esgoto coletado neste mesmo ano. Soma-se a estes fatores as características topográficas e de relevo do rio, que no compartimento Médio Paraíba-SP é sinuoso e meandrado, com reduzido gradiente de velocidade das águas, dificultando a reoxigenação e a depuração da matéria orgânica. As condições desfavoráveis deste trecho também impactam na qualidade das águas a jusante, no Baixo Paraíba-SP.

Vale ressaltar que algumas melhorias no sistema de tratamento de esgoto já foram implantadas na UGRHI 2 entre os anos de 2010 e 2011. O município de Jacareí iniciou a construção da ETE Central, que irá tratar a vazão de 208,3 L/s de esgoto sanitário. Já no município São José dos Campos, com a otimização a Estação de Tratamento de Esgotos Lavapés, interligando-a através de emissários e coletores as bacias do Ribeirão Vidoca, Rio Comprido, Córrego Ressaca, Córrego Cambuí/Putins, bairros da Região Norte do Município e da Urbanova, além da implantação do coletor tronco Senhorinha, que passou a recalcar os esgotos através de um emissário até a ETE Lavapés, atingiu, no ano de 2011, a marca de 85% de tratamento do volume total dos esgotos coletados (89%). Os municípios de Taubaté e Tremembé, no ano de 2011, atingiram a marca de 100% de tratamento do volume dos esgotos coletados, entretanto este período não foi contemplado nesta pesquisa.

Estas melhorias no sistema de tratamento de esgoto sanitário impactaram na qualidade das águas do rio, principalmente em termos de concentração de OD. Em agosto de 2011, foi amplamente divulgado pela imprensa o reaparecimento de peixes nas águas do Paraíba do Sul. Os relatórios da CETESB comprovaram que o índice de oxigenação da água do Paraíba do Sul, no trecho de São José dos Campos, subiu de 0,5 mg/L, em 2009, para 5,2 mg/L, em 2011, sendo que algumas espécies de peixes sobrevivem a partir de 5 mg/L. O pico de oxigenação ocorre em Pindamonhangaba, que passou de 2,5 mg/L, em 2009, para 6 mg/l no ano de 2011. No trecho de Taubaté e Tremembé também foram detectadas concentrações de oxigênio dissolvido semelhantes a Pindamonhangaba, como resultado da implantação da ETE Taubaté-Tremembé.

Pelos dados da pesquisa, confirmou-se que o controle do aporte de esgotos sanitários nas águas a partir da implantação das Estações de Tratamento de Esgotos demonstra ser de grande importância na melhoria da qualidade das águas do rio Paraíba do Sul em termos de redução da concentração de DBO e DQO, associados ao aumento da concentração de OD nas águas do rio Paraíba do Sul.

O impacto positivo da implantação das ETEs, todavia, apresentou uma melhoria apenas pontual na qualidade das águas do rio quando os trechos a montante não possuíam um sistema adequado de tratamento de esgoto da sua população. Todavia a qualidade das águas seriam mantidas a jusante se o sistema de coleta e tratamento fossem adequados.

A concentração de fósforo nas águas do Paraíba do Sul é também resultado das atividades urbanas, com destaque para a contribuição dos detergentes e das atividades agrícolas da UGRHI. Pelos dados levantados na pesquisa, percebe-se uma tendência de aumento da concentração deste parâmetro no rio, principalmente no Baixo Paraíba-SP. Os tratamentos convencionais de esgoto não removem fósforo, sendo necessária a implantação generalizada de sistemas terciários de tratamento de esgoto. O custo de implantação e operação destes sistemas, todavia, são extremamente elevados. A atuação nas fontes oriundas das atividades urbanas pode ser uma opção mais atrativa.

O nitrogênio, em todas as suas formas, é resultado do aporte de matéria orgânica oriunda das atividades urbanas e agrícolas. As maiores concentrações foram detectadas no Médio Paraíba-SP e Baixo Paraíba-SP. Semelhante ao fósforo, o nitrogênio também não é removido no tratamento convencional de esgoto, sendo necessário a adoção de um sistema avançado em toda a UGRHI 2 ou seu controle diretamente na fonte, embora a prioridade para os próximos 15 anos não pareça ser o nível eutrófico do rio, e sim a retenção da quantidade de matéria orgânica lançada no mesmo. Conclui-se que as ETEs com tratamento em nível secundário devem ser continuamente implementadas para que, no futuro, sistemas avançados de tratamento possam ser adotados para a redução do aporte de nitrogênio e fósforo nos rios da UGRHI 2.

O tratamento dos esgotos tem papel fundamental na melhoria da qualidade das águas, possibilitando a preservação e a manutenção da qualidade dos mananciais de abastecimento público, de modo a garantir a qualidade da água distribuída para a população após o tratamento convencional, sem ser necessária a adoção de sistemas avançados de tratamento da água.

Embora toda e qualquer ação direcionada para a melhoria dos recursos hídricos seja importante, deve-se, na medida do possível, priorizar aquelas de maior amplitude e significância de resultados, que terão efeito mais estratégico ou amplo, em detrimento das que são efêmeras e com caráter muito localizado.

Desta forma, os investimentos com a implementação do sistema de coleta e tratamento de esgotos sanitários deve priorizar os municípios que possuem grande concentração populacional e volume de tratamento de esgoto inadequado, principalmente aqueles localizados nos trechos onde as características morfológicas do rio não favorecem o processo de autodepuração da matéria orgânica.

O gerenciamento e monitoramento da qualidade das águas do Paraíba do Sul em toda a UGRHI 2 devem ser os fatores determinantes na priorização das ações de saneamento.

Em termos de saúde pública, as ETEs funcionam como uma barreira sanitária, contribuindo para a redução do número de doenças de veiculação hídrica na medida em que são disponibilizados mananciais de abastecimento de melhor qualidade. Com a redução dos lançamentos de esgotos in natura nos corpos hídricos, ocorre uma melhoria gradativa da qualidade das águas e, conseqüentemente, haverá mananciais em condições propícias para o abastecimento público, com benefícios à saúde. Além disso, a manutenção da qualidade também permite a ampliação de seus usos.

Face ao exposto, recomenda-se:

- priorizar a implantação das ETEs nos trechos do rio Paraíba do Sul no Médio Paraíba-SP, em função da elevada concentração urbana, principalmente nos municípios Jacareí , Guaratinguetá e São José dos Campos;
- fiscalizar o cumprimento da resolução CONAMA nº430/2011 quanto às características dos esgotos sanitários a serem lançados no rio e seus afluentes;

- avaliar o impacto da silvicultura e demais atividades agrícolas no aporte de nutrientes nas águas do Paraíba do Sul;
- identificar e mapear as indústrias da UGRHI 2, com o intuito de avaliar e monitorar o impacto do lançamento dos efluentes destas atividades na qualidade das águas do rio Paraíba do Sul.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGEVAP - Associação Pró-Gestão das Águas da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul. Diagnóstico dos Recursos Hídricos. Resende; 2006.

AGEVAP - Associação Pró-Gestão das Águas da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul. Plano de recursos hídricos consolidado. Resende; 2007.

AGEVAP - Associação Pró-Gestão das Águas da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul. Relatório técnico sobre a situação da cobrança com subsídios para ações de melhoria da gestão na bacia do rio Paraíba do Sul. Resende; 2010.

AGEVAP - Associação Pró-Gestão das Águas da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul. Relatório de situação da bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul. Resende; 2011.

Além Sobrinho, P. Lagoas Aeradas – Aspectos Teóricos, Resultados Experimentais, Considerações Sobre Projeto. IV Curso Internacional Sobre Controle da Poluição das Águas. Japan International Cooperation Agency - CETESB/São Paulo, 1998.

ANA – Agencia Nacional da Água. Bacia do rio Paraíba do Sul: Livro da bacia. Brasília; 2001.

ANA - Agencia Nacional das Águas. Cobrança pelo uso da água bruta na bacia do rio Paraíba do Sul: da proposta à aprovação de metodologia e critérios. Rio de Janeiro; 2002.

ANA - Agencia Nacional das Águas. Enquadramento dos corpos d'água. [homepage na internet]. Brasília, 2011. [atualizado em 6 de maio 2011; acesso 9 jul 2011]. Disponível em: http://www2.ana.gov.br/Paginas/servicos/planejamento/PlanejamentoRH_enquadramento.aspx

ANA - Agencia Nacional das Águas. Cobrança na Bacia do Paraíba do Sul. [homepage na internet]. Brasília, 2012. [atualizado em 6 de mar 2012; acesso 12 mar 2012]. Disponível em: http://www2.ana.gov.br/Paginas/servicos/cobrancaearrecadacao/BaciaPBS_Inicial.aspx

Azevedo FZ, Modaelli SDO, Ranzani AJT, Sabag EG. Gestão dos recursos hídricos no estado de São Paulo. In: Anais do I Simpósio de Recursos Hídricos do Norte e Centro-Oeste; 2007; Cuiabá; BR. Porto Alegre: ABRH; 2007. p. 52-57.

Brasil. Lei nº 3.987, de 2 de janeiro de 1920. Dispõe sobre a reorganização dos sistemas de saúde [lei na internet]. [acesso em 10 março 2011]. Disponível em: <http://www6.senado.gov.br/legislacao/ListaPublicacoes.action?id=48173>

Brasil. Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. [lei na internet]. [acesso em 23 jun 2011]. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L6938.htm

Brasil. Decreto nº 92.752, de 5 de junho de 1986. Aprova o Programa de Ações Básicas para a Defesa do Meio Ambiente, e dá outras providências. [lei na internet]. [acesso em 3 jun 2011]. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1980-1989/1985-1987/d92752.htm

Brasil. Constituição (1988). Constituição da República Federativa do Brasil. Brasília, DF: Senado; 1988.

Brasil. Lei nº 5.107, de 13 de setembro de 1996. Cria o fundo de garantia do tempo de serviço, e dá outras providências. [lei na internet]. [acesso em 10 jun 2011]. Disponível em: <http://www3.dataprev.gov.br/sislex/paginas/42/1966/5107.htm>

Brasil. Lei nº 9.433, 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 nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. [lei na internet]. [acesso em 15 jun 2010]. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9433.htm

Brasil. Lei nº 9.984, 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]. [acesso em 13 jun 2011]. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9984.htm

Brasil. Lei nº10.881, de 9 de junho de 2004. Dispõe sobre os contratos de gestão entre a Agência Nacional de Águas e entidades delegatárias das funções de Agências de Águas relativas à gestão de recursos hídricos de domínio da União e dá outras providências. [lei na internet]. [acesso em 13 jun 2011]. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2004/lei/l10.881.htm

Brasil. Lei nº11.445, de 5 de janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis n.ºs 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. Diário Oficial da União. 8 de jan 2007; Seção 1:3.

Brasil. Ministério da Saúde. Departamento de Informática do SUS. Indicadores básicos de saúde. DATASUS 2007b. [base de dados na internet]. [acesso em 15 mai 2010]. Disponível em <http://www.datasus.gov.br>.

Bueno LF, Galbiatti JA, Borges MJ. Monitoramento de variáveis de qualidade da água do horto ouro verde – São Paulo. Rev Eng Agrícola. Jaboticabal. 2000; 25: 742-748.

Campos TS, Rohlf DB. Avaliação dos valores de nitrato nas águas subterrâneas e sua correlação com as atividades agrícolas.

Cavalcanti JEWA. Manual de tratamento de efluentes industriais. 2. ed. São Paulo: Engenho; 2012.

CEPAGRI – Centro de Pesquisas Metrológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura. Dados climáticos dos municípios paulistas. [base de dados na internet]. [acesso em 15 mai 2010]. Disponível em <http://www.cpa.unicamp.br>

CETESB – Companhia de tecnologia de Saneamento Ambiental. Relatório de Qualidade de Águas Interiores do estado de São Paulo: relatório técnico. São Paulo: CETESB; 1980 a 2011.

Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 20, de 18 de junho de 1986. Estabelece a seguinte classificação das águas, doces, salobras e salinas do Território Nacional. [resolução na internet]. [acesso em 15 fev 2010]. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/>

Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. [lei na internet]. [acesso em 22 maio 2011]. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>

Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011. Complementa e altera a Resolução nº 357/2005. [lei na internet]. [acesso em 22 maio 2011]. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>

Conselho Nacional de Recursos Hídricos. Resolução nº 19, de 14 de março de 2002. Aprova o valor de cobrança pelo uso dos recursos hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul. . [resolução na internet]. [acesso em 02 mai 2011]. Disponível em: <http://www.cnrh.gov.br/sitio>

Conselho Nacional de Recursos Hídricos. Resolução nº50, de 18 de julho de 2005. Aprovou os mecanismos e critérios para a regularização de débitos consolidados referentes à cobrança pelo uso de recursos hídricos de domínio da União na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul.

Conselho Nacional de Recursos Hídricos. Resolução nº52, de 28 de novembro de 2005. Aprova os mecanismos e os valores para a cobrança pelo uso dos recursos hídricos nas bacias hidrográficas dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí. [resolução na internet]. [acesso em 02 mai 2011]. Disponível em: <http://www.cnrh.gov.br/sitio>

Conselho Nacional de Recursos Hídricos. Resolução nº 17, de 29 de maio de 2011. Estabelecer diretrizes complementares para a elaboração dos Planos de Recursos Hídricos das Bacias Hidrográficas. [resolução na internet]. [acesso em 15 nov 2011]. Disponível em: http://www.cbh.gov.br/legislacao/20010529_CNRHRes017.pdf

Cvjetanovic B. Health effects and impact of water supply and sanitation. *World Health Statistics Quarterly*. 1986;39:105-117.

Deberdt GLB. Cianobactérias: eutrofização, usos da água e saúde pública. São Paulo: SePRO, 2003.

Filho NA, Jucá V. Saúde como ausência de doença: crítica à teoria funcionalista de Christopher Boorse. *Rev Ciência e Saúde Coletiva*. 2002;7.

Fundação COPETEC. Sinopse da bacia do rio Paraíba do Sul. Rio de Janeiro; 2001.

Fundação COPETEC. Plano de recursos hídricos da Bacia do Rio Paraíba do Sul – 2007-2010. Resende; 2007.

FCR – Fundação Cristiano Rosa. Plano da bacia hidrográfica do Paraíba do Sul - UGRHI 02 - 2009-2012. São Paulo; 2009.

FCR – Fundação Cristiano Rosa. Estudos técnicos necessários à atualização do plano estadual de recursos hídricos do estado de São Paulo, para subsidiar a coordenadoria de recursos hídricos na elaboração do PERH 2012-2015. São Paulo; 2012.

FGV – Fundação Getúlio Vargas. Saneamento e Saúde [relatório na internet]. Rio de Janeiro; 2007 [acesso em 18 set 2011]. Disponível em: www.tratabrasil.org.br/

FGV – Fundação Getúlio Vargas. A falta que o saneamento faz [relatório na internet]. Rio de Janeiro; 2009 [acesso em 18 set 2011]. Disponível em: www.tratabrasil.org.br/

FGV – Fundação Getúlio Vargas. Benefícios econômicos da expansão do saneamento brasileiro [relatório na internet]. Rio de Janeiro; 2010 [acesso em 18 set 2011]. Disponível em: www.tratabrasil.org.br/

Guimarães AJA, Carvalho DF, Silva LDB. Saneamento básico. Rio de Janeiro; 2007. [Apostila do Curso de Engenharia Agrícola e Ambiental – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro].

Heller L. Saneamento e Saúde. Brasília: OPAS; 1997a. [acesso em 29 maio 2011]. Disponível em: http://www.opas.org.br/ambiente/UploadArq/Saneam_Saude_Final.pdf

Heller I, Moraes LRS, Monteiro TCN, Salles MJ, Almeida LM. Saneamento e saúde nos países em desenvolvimento. Rio de Janeiro: CC&P;1997b.

Heller L. Relação entre saúde e saneamento na perspectiva do desenvolvimento. Rev Ciência & Saúde Coletiva. 1998; 3:73-84.

Huttly SRA. The impact of inadequate sanitary conditions on health in developing countries. World Health Statistics Quarterly. 1990;43:118-126.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo 2010. Rio de Janeiro; 2011.

IPEA - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Aliança Pesquisa e Desenvolvimento. Diagnóstico do setor saneamento: estudo econômico e financeiro. Brasília, 1995.

IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Caracterização e tendências da rede urbana do Brasil. Brasília: IPEA/IBGE/UNICAMP/CEF; 2002.

Jordão EP, Pessoa CA. Tratamento de esgoto doméstico. 5. ed. Rio de Janeiro: ABES; 2009.

Kato M, Garcia EG, Wunsch W. Exposição a agentes químicos e a saúde do trabalhador. Rev Bras Saúde Ocup. 2007; 32:6-18

Kligerman DC. Gestão ambiental integrada: recursos hídricos, saneamento e saúde [tese de doutorado]. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro; 2001.

Kuroda EK. Determinação de clorofila pelo método espectrofotométrico visando o monitoramento da eficiência do tratamento de águas para abastecimento. 23º Congresso de Engenharia Sanitária e Ambiental. Campo Grande; 2005.

LECT – Laboratório de Ensino de Ciências e Tecnologia. Canal do professor. São Paulo, 2012.

Lucena AF. As políticas públicas de saneamento básico no Brasil: reformas institucionais e investimentos governamentais. Rev Plurais. 2006;4:113-130.

Magalhães, AP. A situação do monitoramento das águas do Brasil. Rev Bras Recursos Hídricos. 2000; 5: 113 – 135.

Marengo JA, Alves LM. Tendências hidrológicas da bacia do rio Paraíba do Sul. Rev Bras de Meteorologia. 2005;20: 215–226.

Mascarenhas RS, Ramos R. Evolução histórica da saúde pública. Rev Serv Esp Saúde Pública. 1966; 12: 5-48.

Metcalf L, Eddy HP. Wastewater engineering: treatment and reuse. 40. ed. Nova York: McGraw-Hill; 2003

Ministério da Saúde. Portaria nº518, de 25 de março de 2004. Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências. [lei na internet]. [acesso em 02 maio 2011]. Disponível em: <http://portal.saude.gov.br/>

Ministério da Saúde. Organização Pan Americana da Saúde. Avaliação de impacto na saúde das ações de saneamento: marco conceitual e estratégia metodológica. Brasília, DF; 2004b. [acesso em 28 maio 2011]. Disponível em: <http://www.funasa.gov.br/>

Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Programa nacional de vigilância em saúde ambiental relacionada à da água para consumo humano. Brasília, DF; 2004c.

Ministério da Saúde. Portaria nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011a. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. [lei na internet]. [acesso em 02 jan 2012]. Disponível em: <http://www.brasilsus.com.br/legislacoes/gm/110982-2914.html>

Ministério da Saúde. Sistema de Informações sobre Mortalidade [base de dados na internet]. Brasília: SIM [acesso em 2 fev 2011b]. Disponível em: <http://portal.saude.gov.br/>

OPAS - Organização Pan Americana da Saúde. Água e Saúde. Brasília, 2001.

OPAS - Organização Pan Americana da Saúde [homepage na internet]. Brasília; 2011. [atualizado em 22 maio 2011; acesso em 28 maio 2011]. Disponível em <http://new.paho.org/bra/>

Paganini WS. A identidade de um rio de contrastes: Tiête e seus múltiplos usos. São Paulo: Imprensa Oficial do Estado de São Paulo; 2007.

Patriani L, Cunha V. Paraíba do Sul: história de um rio sobrevivente. São Paulo: Horizonte; 2010.

Piveli RP, Kato MT. Qualidade das águas e poluição: aspectos físico-químicos. São Paulo: ABES; 2005.

Piveli RP. Tratamento de esgoto sanitário. São Paulo; 2007 [Apostila do curso Saneamento I – Escola Politécnica da USP].

Porto MFA. Estabelecimento de parâmetros de controle da poluição. In: Pinto L, coordenador. Hidrologia Ambiental. São Paulo: EDUSP; 1991.

PQA – Projeto Qualidade das Águas e Controle de Poluição Hídrica. Rio de Janeiro; 1999.

Quevedo CG. As atividades do homem e a evolução da dinâmica do fósforo no meio ambiente [dissertação de mestrado]. São Paulo: Faculdade de Saúde Pública da USP; 2009.

Ramos M. Gestão de recursos hídricos e cobrança pelo uso das águas. São Paulo, 2007 [Apostila do curso Gestão Ambiental – Fundação Getúlio Vargas].

Rezende SC, Heller L. O saneamento no Brasil. Políticas e Interfaces. Belo Horizonte: UFMG, 2002.

Riccomini C. O *rift* continental do sudeste do Brasil [tese de doutorado]. São Paulo: Instituto de Geociência da USP; 1989.

RIPSA - Rede Interagencial de Informações para a Saúde. Indicadores básicos para a saúde no Brasil: conceitos e aplicações [relatório na internet]. Brasília; 2008 [acesso em 12 fev 2011]. Disponível em: <http://www.ripsa.org.br/>

Rosen G. Uma história da saúde pública. Trad. de FS Moreira. São Paulo: UNESP, 1994.

Rodrigues ASL, Malafaia G. Degradação dos recursos hídricos e saúde humana: uma atualização. Rev Saúde Pública. 2002; 36:370-374.

Rouquayrol MZ, Filho NA. Epidemiologia & Saúde. 6. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan; 2009.

São Paulo. Decreto nº 8.468, de 08 de setembro de 1976. Aprova o Regulamento da Lei nº 997, de 31 de maio de 1976, que dispõe sobre a prevenção e o controle da poluição do meio ambiente. [lei na internet]. [acesso em 20 jun 2010]. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/>

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]. [acesso em 20 jun 2010]. Disponível em: <http://www.al.sp.gov.br/legislacao/>

São Paulo. Lei nº 9.034, de 27 de dezembro de 1994. Dispõe sobre o Plano Estadual de Recursos Hídricos - PERH, a ser implantado no período 1994 e 1995, em conformidade com a Lei nº 7.663, de 30 de dezembro de 1991, que instituiu normas de orientação à Política Estadual de Recursos Hídricos. [lei na internet]. [acesso em 20 jun 2010]. Disponível em: http://licenciamento.cetesb.sp.gov.br/legislacao/estadual/leis/1994_Lei_Est_9034.pdf

SEADE – Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados. Informações dos municípios paulistas [base de dados na internet]. [acesso em 15 dez 2011]. Disponível em: <http://www.seade.sp.gov.br>

SMA – Secretaria do Meio Ambiente. Subsídios ao planejamento ambiental. São Paulo; 2011.

Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental, Sistema nacional de informações sobre saneamento: diagnóstico dos serviços de água e esgotos no ano de 2009 [relatório na internet]. Brasília; 2011 [acesso em 07 ago 2011]. Disponível em: <http://www.snis.gov.br/>

SOS Rios do Brasil. São Paulo, 2012 [acesso em 07 ago 2011]. Disponível em: www.sosriosdobrasil.blogspot.com/

SSRH - Secretaria de Saneamento e Recursos Hídricos. Relatório de Situação dos Recursos Hídricos do Estado de São Paulo. São Paulo: SSRH/CRHi; 2011.

Setti AA, Lima JEF, Chaves AGM, Pereira IC. Introdução ao gerenciamento de recursos hídricos. Brasília: ANAEL, 2000.

SIGRH – Sistema de Informações para o Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo. Situação dos recursos hídricos no Estado de São Paulo – ano base 2009. São Paulo; 2011.

Straskraba M, Tundisi JG. Diretrizes para o gerenciamento de lagos. São Carlos: ILEC; 2000.

UNICEF - Fundo das Nações Unidas para a Infância. Diarreia: por que as crianças continuam morrendo e o que pode ser feito. Brasília; 2009. Disponível em: <http://www.unicef.org/brazil/pt/>

Vargas MC. O gerenciamento integrado dos recursos hídricos como problema socioambiental. Rev Ambient. Soc. 1999; 2: 109-134.

Van Haandel A, Marais G. O comportamento do sistema de lodo ativado: teoria e aplicações para projetos e operação. Campina Grande: Epgraf; 1999.

Veolia. Catálogo de produtos, 2010.

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

Ziese T, Anderson Y, De Jong B, Lofdahl S, Ramberg M. Surto de Escherichia coli O157 na Suécia. Relatórios de investigação de surtos. São Paulo, 1996.

WHO – World Health organization. Safer water, better health: costs, benefits and sustainability of interventions to protect and promote health. Report. Geneva; 2008.

9 CURRÍCULO LATTES