

IV-057 – A EXPANSÃO DOS SERVIÇOS DE TRATAMENTO DE ESGOTO SANITÁRIO E A QUALIDADE DAS ÁGUAS DO RIO PARAÍBA DO SUL

Wanderley da Silva Paganini⁽¹⁾

Professor Doutor e Livre Docente do Departamento de Saúde Ambiental da Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo (USP). Superintendente de Gestão Ambiental da Diretoria de Tecnologia, Empreendimentos e Meio Ambiente da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo – SABESP.

Denise Mecunhe Rosa

Engenheira Ambiental pela Universidade Federal do Paraná. Mestre em Saúde Pública pela Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo (FSP/USP). Engenheira de processos da Pöyry Tecnologia.

Endereço⁽¹⁾: Av. Doutor Arnaldo, 715 – Cerqueira César – São Paulo - SP - CEP: 01246-904 - Brasil - Tel: +55 (11) 3061-7712 - e-mail:paganini@usp.br

RESUMO

O elevado consumo de água é consequência direta do intenso processo de industrialização e urbanização, bem como do crescimento populacional. Estes processos podem impactar na qualidade e na disponibilidade de um manancial. Desta forma, as estações de tratamento de esgoto funcionam como uma barreira ambiental aumentando os múltiplos usos das águas.

A bacia do rio Paraíba do Sul é conhecida nacionalmente pelo elevado contingente populacional e também em função da importância econômica de sua indústria.

O rio Paraíba do Sul é muito importante para três 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. O grande desenvolvimento da região, entretanto, impacta na disponibilidade de água da bacia (AGEAP, 2006).

Neste sentido, realizou-se este estudo com o objetivo de analisar a evolução da qualidade das águas nos últimos trinta anos (entre 1981 e 2010) no caudal do rio Paraíba do Sul, considerando os impactos do crescimento populacional e os efeitos advindos da expansão dos serviços de tratamento de esgoto sanitário na qualidade das águas da extensão paulista deste rio, com base nos dados obtidos a partir dos relatórios de qualidade das águas interiores do Estado de São Paulo, publicados pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, CETESB, nas informações da Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados, SEADE e prefeituras municipais.

A análise dos resultados obtidos indicou que a redução do aporte de esgoto doméstico sem tratamento nas águas, quando priorizados os trechos onde o impacto atinge maior amplitude associado à morfologia do rio, a recuperação da qualidade das águas, em termos de DBO e OD alcança maior extensão. Em termos de nitrogênio e fósforo, é necessário adotar medidas de redução na fonte.

PALAVRAS-CHAVE: Crescimento populacional, Estação de Tratamento de Esgoto, qualidade da água, rio Paraíba do Sul.

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.

Os esgotos domésticos apresentam na sua composição elevadas concentrações de matéria orgânica e nutrientes, especialmente o fósforo e o nitrogênio. 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, caracterizam-se como agentes poluidores.

Cada parâmetro analisado na água apresenta um significado sanitário que deve ser considerado. Eles são os principais fatores de comparação da melhoria da estabilidade ou piora na qualidade da água (MARTOS, 1999).

O oxigênio dissolvido, OD, 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). Nas águas, 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 da atmosfera se adsorve nas águas naturais, devido à diferença de pressão parcial. Esta taxa de introdução de oxigênio dissolvido através da superfície depende das características hidráulicas. A fotossíntese das algas é outra fonte importante de oxigênio nas águas.

Águas poluídas caracterizam-se pela 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).

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).

A 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 abaixo dos exigidos pelos peixes, levando-os à morte (KATO e PIVELLI, 2005).

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).

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).

Os compostos de nitrogênio e o fósforo são caracterizados como macronutrientes, fundamentais em alguns processos biológicos. A presença destes nutrientes, juntamente com o dióxido de carbono são condições necessárias para o crescimento de microrganismos autótrofos (VAN HANDELL e MARAIS, 1999). O excesso de fósforo e nitrogênio em esgotos sanitários e efluentes industriais pode conduzir ao processo de eutrofização das águas naturais.

A presença de fósforo e compostos de nitrogênio 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 P₂O₅), além da própria matéria fecal, que é rica

em proteínas. A taxa de crescimento da vida aquática de superfície é determinada pela concentração limitada de nitrogênio e fósforo.

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 n° 357/2005 do CONAMA estabelece limites diferentes para a concentração de fósforo total em águas naturais, em função da forma em que ocorre o escoamento.

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).

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

A 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 Paraíba 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).

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 Pirai, 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). 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 UNIDADE DE GERENCIAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS N°2 – PARAÍBA DO SUL

A UGRHI 2 Paraíba do Sul localiza-se na região leste do território paulista, com 14.444 km² de área de drenagem. Esta UGRHI do Estado de São Paulo é composta por 34 municípios com sede na área de drenagem da bacia, e por outros 5 municípios com sede em outras bacias hidrográficas, mas com parte de seus territórios na UGRHI 02 (CETESB, 2008), conforme apresentado na figura 1.

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).

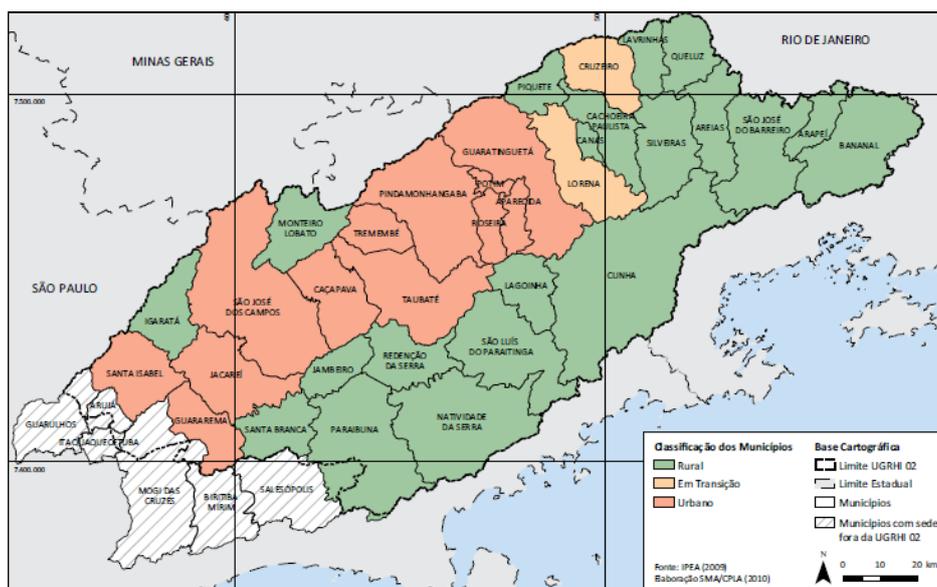


Figura 1: Municípios da UGRHI 2, conforme classificação IPEA, no ano 2009.

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).

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.

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.

A disponibilidade hídrica é estimada através de algumas vazões de referência, tais como $Q_{7,10}$, $Q_{95\%}$, 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 $Q_{7,10}$ no trecho paulista rio Paraíba do Sul é 72 m³/s e a vazão $Q_{95\%}$ é 93 m³/s (SIGHRH, 2011).

A figura 2 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.

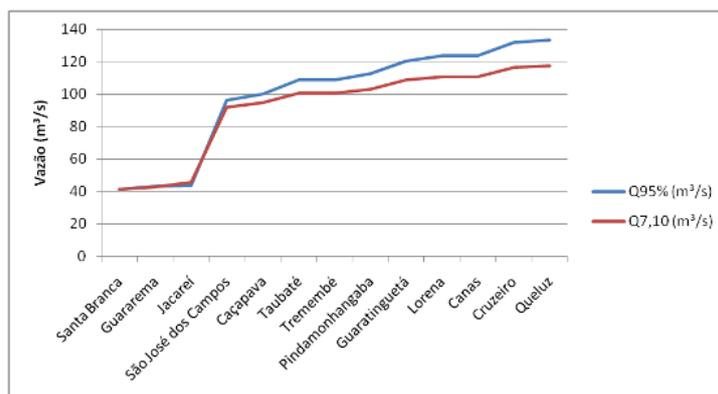


Figura 2: Gráfico das vazões $Q_{7,10}$ e $Q_{95\%}$ do rio Paraíba do Sul no trecho paulista.

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 1.

Tabela 1: 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.

MATERIAIS E MÉTODOS

No desenvolvimento da presente pesquisa, 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.

Em relação às atividades urbanas, os dados referentes à população total e urbana e também do número de indústrias foram obtidos na Fundação Sistema Nacional de Análise de Dados (SEADE).

A partir do crescimento populacional dos municípios será possível caracterizar o esgoto sanitário bruto, em termos de carga, que seria lançada no rio Paraíba do Sul e seus afluentes, caso não existissem sistemas de tratamento de esgoto. A determinação das cargas oriundas dos esgotos sanitários foi estimada 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 estimados com base em dados consagrados da literatura. A DBO adotada foi de 54 g/habitante.dia enquanto a concentração de DQO foi de 100 g/habitante.dia. Para os nutrientes, contribuição de fósforo adotada foi de 2,5 g/habitante.dia e a de nitrogênio orgânico foi de 5,0 g/habitante.dia.

A análise da evolução da qualidade das águas do rio Paraíba do Sul utilizará dados secundários sobre a concentração de OD, DBO, DQO, nitrogênio, fósforo e indicadores de qualidade das águas, compilados a partir das informações fornecidas anualmente pela CETESB, através da Rede de Monitoramento das Águas Interiores do Estado de São Paulo.

A determinação do impacto da ampliação do sistema de tratamento de esgoto sanitário nas águas do rio Paraíba do Sul será através de informações referentes à evolução dos índices de coleta e de tratamento de esgoto dos

municípios na UGRHI 2, obtidos nos Relatórios de Qualidade das Águas Interiores da CETESB, no período eleito pela pesquisa. Com base no ano de início de operação e localização das Estações de Tratamento de Esgoto Sanitário, o impacto destes sistemas na qualidade das águas do rio, para os parâmetros selecionados, será avaliado.

Para a apresentação dos resultados desta pesquisa, o período de 30 (trinta) anos de análise foi dividido em cinco grupos que englobam cinco anos em cada grupo. A relação entre as variáveis população, ano de implantação das estações de tratamento de esgotos e qualidade das águas do rio Paraíba do Sul para os parâmetros DBO, OD, nitrogênio total e fósforo para o período de 1981 a 2010 foram apresentados nos períodos indicados na tabela 2.

Tabela 2: 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

Para cada parâmetro de qualidade das águas do rio Paraíba do Sul avaliado na pesquisa, foram adotadas médias simples anuais a partir dos resultados bimestrais de concentração de cada composto nos corpos d'água (conforme disponibilizado nos relatórios da CETESB). Destas médias anuais, foram obtidas médias quinquenais simples para cada grupo, com o intuito de demonstrar a evolução dos períodos.

Para efeito didático, o trecho paulista do rio Paraíba do Sul em três compartimentos, com base nas características geográficas e de topografia do mesmo, conforme apresentado na tabela 3 a seguir.

Tabela 3: 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

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 figura 3 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.

Tabela 4: Descrição dos pontos de lançamento de esgoto dos municípios considerados na pesquisa, com a localização indicada na figura 3.

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. Jaguarí	L41	Canas	Rib. das Canas
L2	Lagoinha	Rib Rodeio	L22	Santa Isabel	Res. Jaguarí	L42	Roseira	Rib. Piratingui
L3	São Luís do Paraitinga	R. Paraitinga	L23	Monteiro Lobato	R. Buquira	L43	Cachoeira Paulista	R. Paraíba do Sul
L4	Cunha	Cór. Botucatu	L24	Caçapava	R. Paraíba 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. Paraíba do Sul	L28	Taubaté/ Tremembé	R. Paraíba 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. Paraíba do Sul	L50	Cruzeiro	R. Paraíba do Sul
L11	Santa Branca	Rib. dos Barretos	L31	Pindamonhangaba	R. Curuputuba	L51	Lavrinhas	R. Jacu
L12	Guararema	R. Paraíba do Sul	L32	Potim	R. Paraíba do Sul	L52	Queluz	R. Verde
L13	Jacareí	R. Paraíba do Sul	L33	Lavrinhas	R. Jacú	L53	Queluz	R. Paraíba do Sul
L14	Jacareí	Rib. Turi	L34	Aparecida	R. Paraíba 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. Paraíba do Sul	L38	Guaratinguetá	R. Paraíba do Sul	L58	Areias	Rib. Vermelho
L19	São José dos Campos	R. Cambuí	L39	Lorena	Rib. Taboão			
L20	Igaratá	R. Palmeira	L40	Lorena	R. Paraíba do Sul			

Tabela 5: Pontos de amostragem da CETESB considerados nesta pesquisa, com localização representada na figura 3.

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 Urbano, 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

RESULTADOS

Crescimento Populacional na UGRHI 2

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. A população desta UGRHI é predominantemente urbana: no ano de 1981 era de 1,0 milhão de habitantes nas áreas urbanas. No ano de 2010, atingiu 1,9 milhões de habitantes. Em termos percentuais, a população urbana, que no ano de 1981 representava 87% da população total da UGRHI 2, alcançando a marca de 93% no ano de 2010. Em termos absolutos, a população urbana quase dobrou nestes 30 anos. Com base na divisão do rio Paraíba do Sul adotado nesta pesquisa, a figura 4 apresenta a população urbana total de cada compartimento nos anos de 1885, 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-SP oscilou entre 282 mil e 390 mil habitantes, aproximadamente um terço da população do Médio Paraíba-SP em todos os períodos. O Alto Paraíba-SP apresentou as menores concentrações de população urbana na UGRHI 2, com um número de habitantes inferior a 115 mil, no ano de 2010.

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.

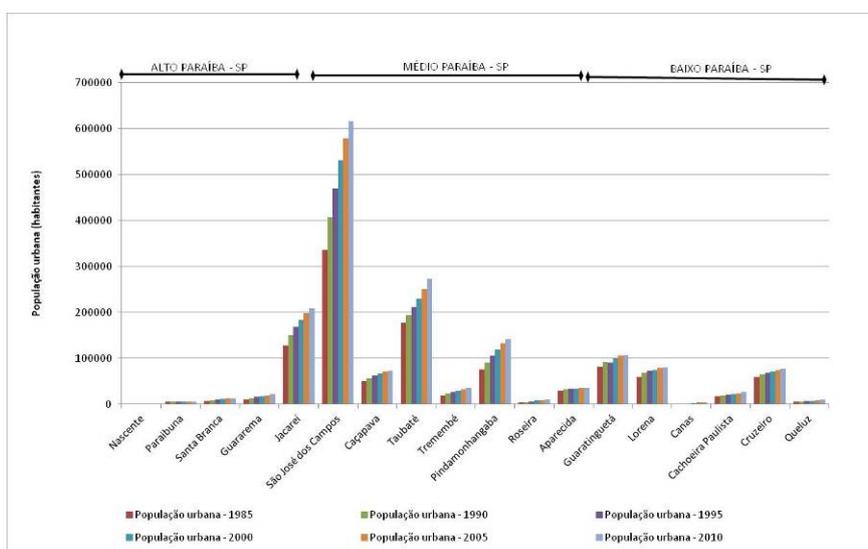


Figura 4: Distribuição da população urbana nos municípios localizados na calha do rio Paraíba do Sul, para os anos de 1985, 1990, 1995, 2000, 2005 e 2010.

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.

Número de Indústrias por compartimento do rio Paraíba do Sul na UGRHI 2

De acordo com Lei Estadual nº 9.034, de 27 de dezembro de 1941, a UGRHI 2 é classificada como industrial. Observou-se que, no ano de 2010, existiam 2.970 estabelecimentos industriais na UGRHI 2, que representava, aproximadamente, 3% do total de indústrias presentes no Estado de São Paulo.

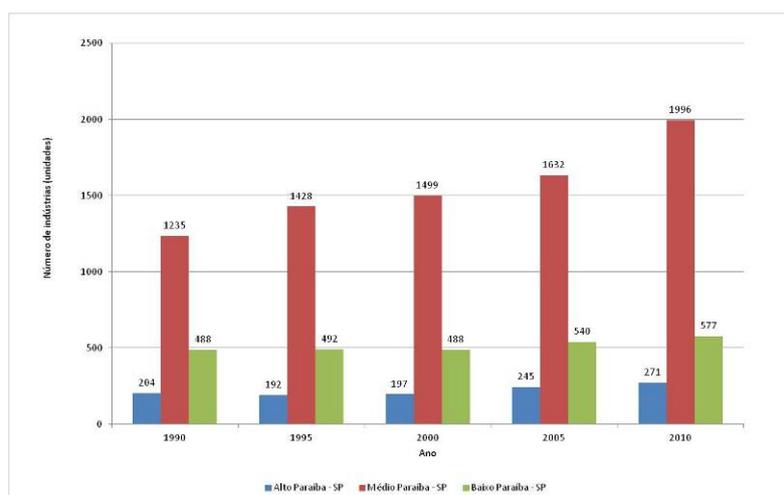


Figura 5: Número de indústrias, por compartimento da UGRHI 2, nos anos de 1990, 2000, 2005 e 2010.

Com base na figura 5, observa-se que, em todos os períodos avaliados, o maior número de indústrias sempre esteve localizado no Médio Paraíba-SP, 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-SP e 21% no Baixo Paraíba-SP.

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.

Contribuições no Esgoto Sanitário Bruto

O cálculo da contribuição de DBO, DQO, nitrogênio e fósforo no esgoto sanitário bruto, em ton/d, por compartimento, são apresentados nas figuras 6 e 7. Estes gráficos representam a carga destes parâmetros que seriam lançados diretamente no Paraíba do Sul caso não existisse nenhum sistema de tratamento.

Estas cargas estão relacionadas com a contribuição per capita da população urbana da UGRHI 2 e foram calculadas com base em valores consolidados na literatura.

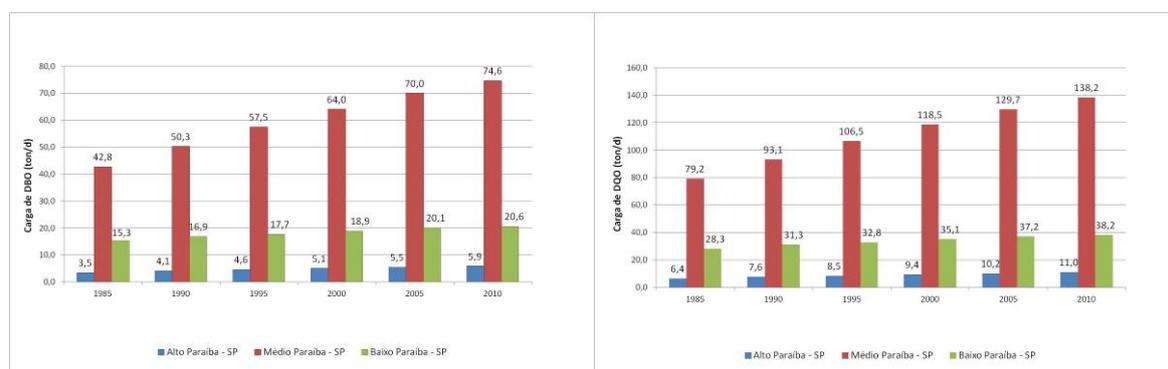


Figura 6: Carga de DBO e DQO potencial no esgoto sanitário bruto, em ton/d, em cada compartimento do rio Paraíba do Sul, nos anos de 1985, 1990, 1995, 2000 2005 e 2010.

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. A carga de DQO seguiu a mesma tendência da DBO.

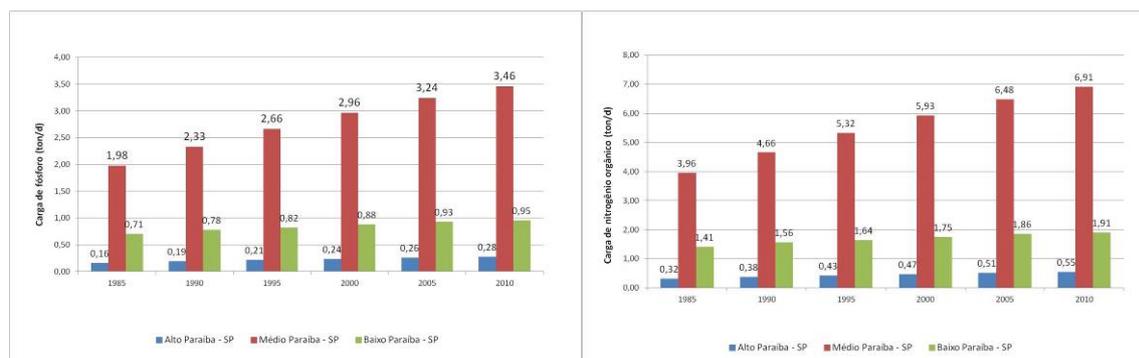


Figura 7: Carga de fósforo e nitrogênio orgânico potencial no esgoto sanitário bruto, em ton/d, em cada compartimento do rio Paraíba do Sul, nos anos de 1985, 1990, 1995, 2000 2005 e 2010.

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.

Estações de Tratamento de Esgoto na UGRHI 2

Até o ano de 1981, existiam quatro ETEs na UGRHI 2, localizadas nos municípios de Lorena, Caçapava, São José dos Campos e Pindamonhangaba. Entre 1981 e 2010, foram implantadas 35 estações de tratamento de esgoto sanitário na UGRHI 2, conforme apresentado na tabela 6, a seguir.

No período P3 (1996 até 2000) ocorreu a implantação do maior número de estações de tratamento de esgoto.

Tabela 6 – Municípios e ano de implantação das estações de tratamento de esgoto sanitário nos períodos eleitos pela pesquisa.

Período	Município e ano de implantação das Estações de Tratamento de Esgoto
1981 - 1985	Pindamonhangaba (1983), Roseira (1981), Redenção da Serra (1982).
1986 - 1990	Bananal (1986); Roseira (1989), São José dos Campos (1990).
1991 - 1995	Caçapava (1993), Lagoinha (1995).
1996 - 2000	Silveiras (1996), Guaratinguetá (1996), Igaratá (1998), Jambeiro (1998), Monteiro Lobato (1998), Pindamonhangaba (1998), São José dos Campos (1998), Santa Branca (1998), Natividade da Serra (1999), São José do Barreiro (1999), Guaratinguetá (2000).
2001 - 2005	São José dos Campos (2001), Canas (2003), São José dos Campos (2003), Jacareí (2004), Pindamonhangaba (2005), São Luiz do Paraitinga (2005), Jacareí (2005), Cunha (2005), Jacareí (2005), São Luiz do Paraitinga (2005).
2006 - 2010	Jacareí (2006), Caçapava (2008), Guararema (2008), Guaratinguetá (2008), Potim (2009), Taubaté (2010).

Carga de DBO produzida, removida e remanescente na UGRHI 2

A figura 8 apresenta a evolução das cargas de DBO produzida, removida e remanescente, em kg/d, na UGRHI 2 nos anos 1985 (P0), 1990 (P1), 1995 (P2), 2000 (P3), 2005 (P4) e 2010 (P5).

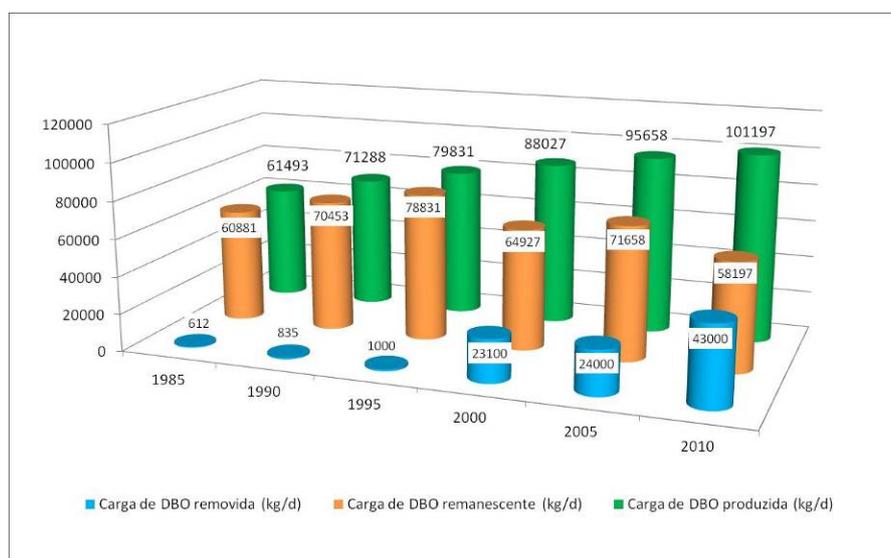


Figura 8: Carga de DBO produzida, removida e remanescente, em kg/d, na UGRHI 2 nos anos 1985, 1990 (P1), 1995 (P2), 2000(P3), 2005(P4) e 2010(P5).

A carga de DBO produzida está relacionada ao crescimento populacional. Esta carga passou de 61,5 ton/d no ano de 1985 (P0) para aproximadamente 101,5 ton/d no ano de 2010 (P5).

Até o período P2 (1991-1995), a carga de DBO removida era baixa, aproximadamente 1 ton/d em função do baixo número de ETEs. Associa-se a isto o fato de municípios com grande concentração populacional, a exemplo São José dos Campos e Taubaté possuem um baixo volume de tratamento.

No período P3 (1996-2000), ocorreu a implantação de onze ETEs, aumentando assim a carga removida. Neste período destacam-se os municípios de Pindamonhangaba e São José dos Campos, que passaram a tratar 100% e 50% do volume de esgoto coletado, na ordem de 96% e 98% respectivamente. Neste período a carga de DBO removida saltou para 23 ton/d, enquanto a carga remanescente foi reduzida para 64 ton/d.

No ano de 2005 (P4), Jacareí implantou suas primeiras ETEs passou a tratar 20% do volume dos esgotos sanitários coletados (94%). São José dos Campos atingiu a marca de 46% de tratamento do volume coletado (88%) e Pindamonhangaba passou a tratar 92% do volume dos esgotos coletados (na ordem de 91%). A remoção de carga de DBO no período foi de 23 ton/d. Esta remoção, todavia, não acompanhou o crescimento da população urbana e, conseqüentemente da DBO remanescente, que, no ano de 2005, foi de aproximadamente 72 ton/d.

A implantação de novas ETEs associadas ao aumento da coleta dos esgotos resultaram numa carga de DBO removida na ordem de 43 ton/d no período P5 (2006-2010). A carga remanescente lançada no rio passou a 58 ton/d. Destaca-se neste período o município de Caçapava passou a tratar 99% do volume de esgoto tratado (da ordem de 87%) e o município de Jacareí, que passou a tratar 20% do volume de esgoto coletado (89%). Taubaté e Tremembé 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.

Relação entre as variáveis na qualidade das águas do rio Paraíba do Sul

As figuras 9 e 10, a seguir, apresentam a evolução da concentração de OD e DBO nas águas do Paraíba do Sul, na UGRHI 2 nos períodos P0 (1981-1985), P1(1986-1990), P2 (1991-1995), P3 (1996-2000), P4 (2001-2005) e P5(2006-2010).

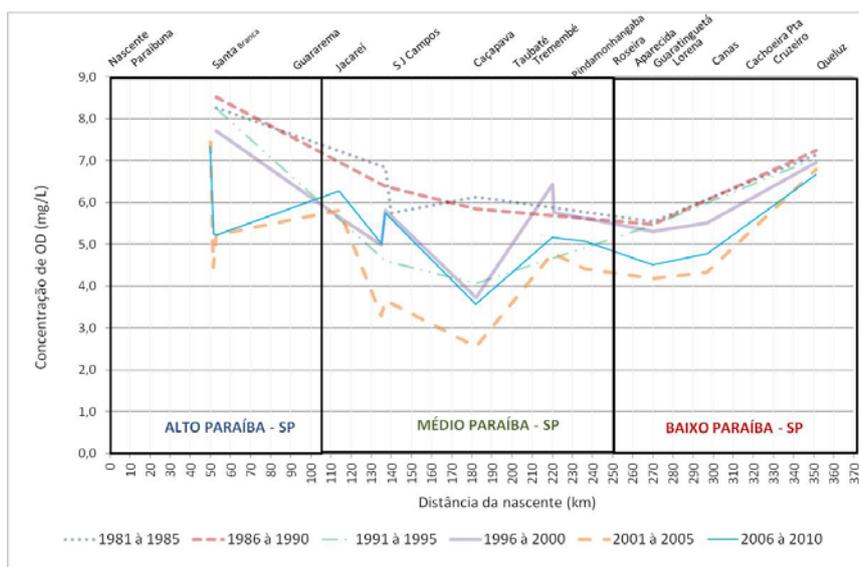


Figura 9: Concentração de OD, em mg/L, no rio Paraíba do Sul, nos períodos P0 (1981-1985), P1(1986-1990), P2 (1991-1995), P3 (1996-2000), P4 (2001-2005) e P5(2006-2010).

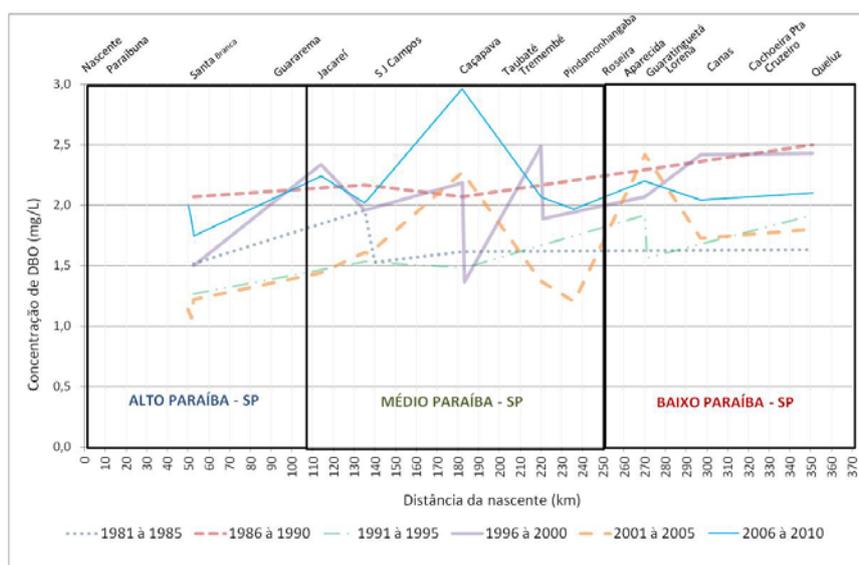


Figura 10: Concentração de DBO, em mg/L, no rio Paraíba do Sul, nos períodos P0 (1981-1985), P1(1986-1990), P2 (1991-1995), P3 (1996-2000), P4 (2001-2005) e P5(2006-2010).

De acordo com a figura, a concentração de oxigênio dissolvido nas águas do rio Paraíba do Sul apresentou a mesma tendência nos períodos avaliados: até o município de Jacareí a concentração é elevada, em função das características do rio (calha mais larga e gradiente de velocidade alto) associado a baixa concentração populacional e consequentemente o baixo volume de esgoto lançado no rio.

A partir de Jacareí, a concentração de OD se reduz muito, como resultado da elevada concentração populacional associada ao baixo volume de tratamento de esgoto neste município. Soma-se a isto o fato do Paraíba do Sul, no trecho entre Jacareí e Roseira ser sinuoso e meandrado, com gradiente de velocidade baixo, o que não favorece a reoxigenação das águas.

A partir de Guaratinguetá, as concentrações de OD nas águas voltam a aumentar, em função principalmente das características do rio, que apresenta um aumento na calha e trechos encachoeirados, favorecendo assim a reoxigenação das águas.

Acompanhando o crescimento populacional, a concentração de DBO nas águas do Paraíba do Sul apresentou uma tendência de aumento. A maior concentração nas águas ocorreu no Médio Paraíba-SP, entre os municípios de São José dos Campos e Caçapava. Mesmo com o grande investimento na coleta e tratamento de esgoto de alguns municípios, o impacto da redução da carga remanescente em alguns períodos não foi suficiente para impactar na qualidade das águas deste compartimento. Este trecho que acumula elevada concentração populacional, baixo índice de tratamento de esgotos associados à baixa velocidade das águas do rio, que dificulta o processo de reoxigenação das águas e autodepuração da matéria orgânica. Soma-se a o deficiente sistema de tratamento de esgoto de um município muito populoso a montante deste trecho, Jacareí, que implantou sua primeira ETE no ano de 2004 e que, no ano de 2010 tratava apenas 20% do volume total de esgoto coletado (na ordem de 89%).

A partir de Caçapava (até a divisa com RJ), a concentração de DBO se reduziu em todos os períodos, quando comparado com o compartimento a montante. Esta tendência de redução da DBO no Baixo Paraíba-SP, está relacionada principalmente ao aumento da velocidade das águas do rio neste trecho, que favorecem a autodepuração da matéria orgânica, associado ao elevado volume de tratamento de esgoto sanitário nos municípios, principalmente naqueles que possuem de maior concentração populacional (Pindamonhangaba, Guaratinguetá e Lorena).

As figuras 11 e 12 apresentam a evolução da concentração de fósforo e nitrogênio nas águas do Paraíba do Sul, na UGRHI 2 nos períodos P0 (1981-1985), P1(1986-1990), P2 (1991-1995), P3 (1996-2000), P4 (2001-2005) e P5(2006-2010).

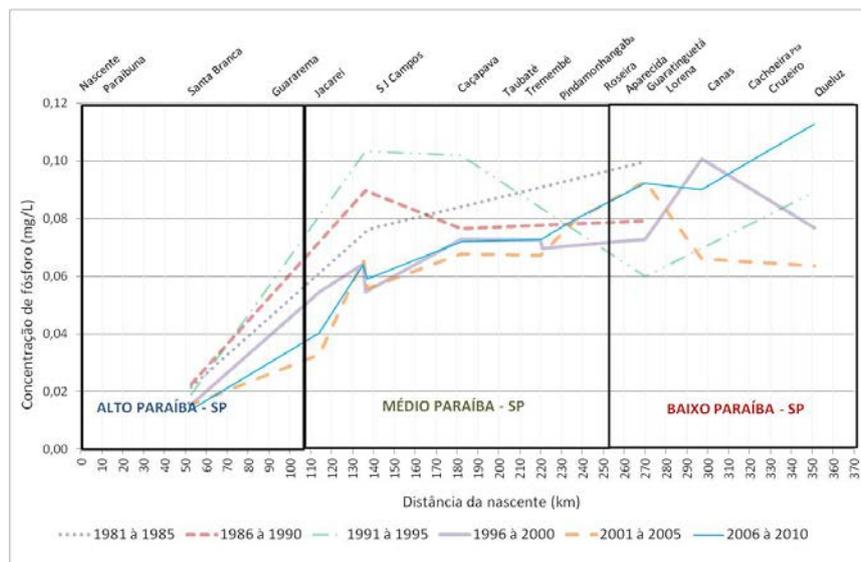


Figura 11: Concentração de fósforo, em mg/L, no rio Paraíba do Sul, nos períodos P0 (1981-1985), P1(1986-1990), P2 (1991-1995), P3 (1996-2000), P4 (2001-2005) e P5(2006-2010).

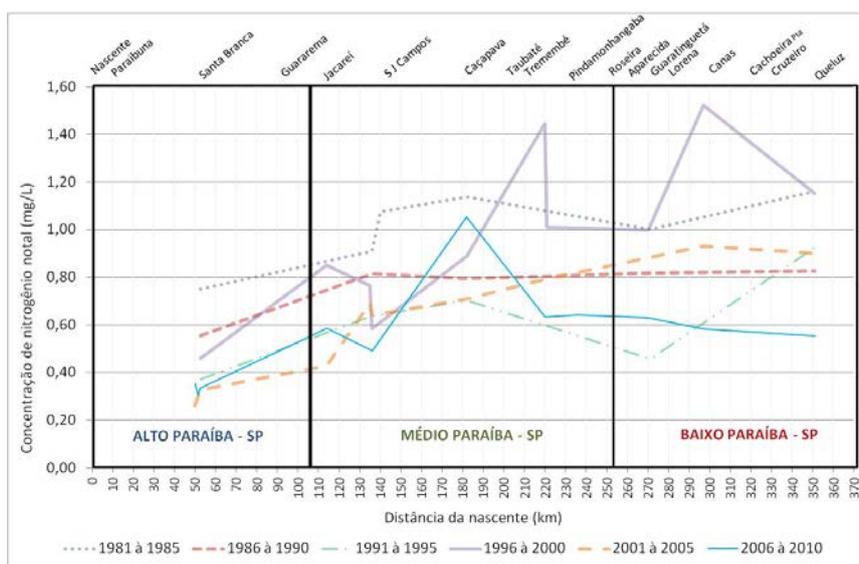


Figura 12: Concentração de nitrogênio total, em mg/L, no rio Paraíba do Sul, nos períodos P0 (1981-1985), P1(1986-1990), P2 (1991-1995), P3 (1996-2000), P4 (2001-2005) e P5(2006-2010).

Pelos dados levantados na pesquisa, percebe-se uma tendência de aumento da concentração de fósforo no rio, principalmente no trecho a partir de Jacareí. Os tratamentos convencionais de esgoto não removem fósforo, sendo necessária a implantação generalizada de sistemas terciários de tratamento de esgoto.

Entre o trecho de Santa Branca a Jacareí, esta curva seguiu a mesma tendência nos períodos analisados, aumentando da nascente até o município de São José dos Campos, com uma pequena queda após a ETE Lavapés (P3), provavelmente em virtude da diminuição do volume de esgoto sem tratamento lançado no Paraíba do Sul.

No trecho entre Caçapava até Queluz, 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 concentração de nitrogênio total nas águas do rio Paraíba do Sul também apresentou uma curva similar em todos os períodos, com uma tendência de aumento da nascente para Queluz, apresenta maiores concentrações no trecho entre Jacareí e Tremembé, com grande volume de lançamento de esgoto. Este composto também não é reduzido no tratamento em nível secundário.

CONCLUSÕES

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 tinha 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 resultantes da elevada concentração da população urbana no trecho associada ao baixo volume de tratamento de esgoto nos municípios do trecho. 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.

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

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 2. A concentração de nitrogênio também está relacionada, principalmente, à atividade agrícola.

Os tratamentos de esgoto em nível secundário não removem nitrogênio e fósforo, de tal modo que para a manutenção da qualidade da água dos corpos receptores, especialmente onde não houver capacidade de diluição, será preciso implantar sistemas terciários de tratamento de esgotos.

Conclui-se que, para melhorar de maneira gradativa a qualidade dos recursos hídricos, deve-se obedecer a lógica da evolução da implantação de sistemas de tratamento de esgotos, a exemplo do que foi feito em países desenvolvidos, ou seja, ao invés da implantação de sistemas terciários de tratamento de esgoto, as ETEs com tratamento em nível secundário devem ser priorizadas, reduzindo o aporte de matéria orgânica carbonácea nos corpos d'água, e a partir da universalização, num segundo estágio de evolução, deve-se buscar a remoção de nitrogênio e fósforo por meio de alternativas tecnológicas e sistemas avançados de tratamento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AGEVAP - Associação Pró-Gestão das Águas da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul. Diagnóstico dos recursos hídricos. Resende RJ, 2006.
2. AGEVAP - Associação Pró-Gestão das Águas da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul. Plano de recursos hídricos consolidado. Resende RJ, 2007.
3. ANA – Agência Nacional da Água. Bacia do rio Paraíba do Sul: Livro da bacia. Brasília DF, 2001.
4. CETESB – Companhia de tecnologia de Saneamento Ambiental. Relatório de qualidade de águas interiores do estado de São Paulo: relatório técnico. CETESB. São Paulo SP, 1980 a 2011.
5. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução n° 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Brasil, 2005.
6. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução n° 430, de 13 de maio de 2011. Complementa e altera a Resolução n° 357/2005. Brasil, 2011.
7. Fundação COPETEC. Plano de recursos hídricos da Bacia do Rio Paraíba do Sul – 2007-2010. Resende RJ, 2007.
8. IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo 2010. Rio de Janeiro RJ, 2011.
9. IPEA - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Aliança Pesquisa e Desenvolvimento. Diagnóstico do setor saneamento: estudo econômico e financeiro. Brasília DF, 1995.
10. MARENGO, J.A., ALVES, L. M. Tendências hidrológicas da bacia do rio Paraíba do Sul. Rev Bras de Meteorologia, v.20, p.215–226, ago. 2005.
11. MARTOS, M.Y.H.G. Análise temporal da qualidade da água em um trecho do rio Sorocaba e de seus afluentes Ipanema e Pirajibu e comparação com a legislação ambiental vigente. São Paulo, 1999. Dissertação de mestrado-Faculdade de Geociências-Universidade Estadual de São Paulo SP, 1999.
12. PAGANINI, W.S. A identidade de um rio de contrastes: Tiête e seus múltiplos usos. São Paulo: Imprensa Oficial do Estado de São Paulo, 2007. São Paulo SP, 2007.
13. PIVELI, R.P., KATO, M.T. Qualidade das águas e poluição: aspectos físico-químicos. ABES; 2005. São Paulo SP, 2005.
14. PIVELI, R.P. Tratamento de esgoto sanitário. Apostila do curso Saneamento I da Escola Politécnica da USP, 2007. São Paulo SP, 2007.
15. ROSA, D.M. A evolução da qualidade das águas no rio Paraíba do Sul. São Paulo, 2012. Dissertação de mestrado-Faculdade de Saúde Pública-Universidade de São Paulo. São Paulo SP, 2012.
16. SEADE – Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados. Informações dos municípios paulistas. São Paulo SP, 2011.
17. 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 SP, 2011.

18. SMA – Secretaria do Meio Ambiente. Subsídios ao planejamento ambiental. São Paulo SP, 2011.
19. PQA – Projeto Qualidade das Águas e Controle de Poluição Hídrica. Rio de Janeiro RJ, 1999.
20. VAN HAANDEL, A., MARAIS, G. O comportamento do sistema de lodo ativado: teoria e aplicações para projetos e operação. Egraf, 1999. Campina Grande PA, 1999.
21. VON SPERLING, M. Introdução a qualidade da água e ao tratamento de esgoto. DESA/UFMG; v.1, 2 ed, Belo Horizonte MG, 1996.