

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”**

**FACULDADE DE ENGENHARIA  
CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA**

**HERMES MAURÍCIO NUNES**

**APLICAÇÃO DE MODELO DE CORRELAÇÃO ENTRE USO E COBERTURA DA  
TERRA E QUALIDADE DA ÁGUA NO MANANCIAL DO ALTO CURSO DO RIO  
SANTO ANASTÁCIO – UGRHI-22/PONTAL DO PARANAPANEMA – SÃO PAULO  
/ BRASIL**

Ilha Solteira  
2018

MESTRADO PROFISSIONAL EM REDE NACIONAL EM GESTÃO E REGULAÇÃO DE  
RECURSOS HÍDRICOS

**HERMES MAURÍCIO NUNES**

**APLICAÇÃO DE MODELO DE CORRELAÇÃO ENTRE USO E COBERTURA DA  
TERRA E QUALIDADE DA ÁGUA NO MANANCIAL DO ALTO CURSO DO RIO  
SANTO ANASTÁCIO – UGRHI-22/PONTAL DO PARANAPANEMA – SÃO PAULO  
/ BRASIL**

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – UNESP como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre do programa de Mestrado Profissional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos.

Nome do orientador  
**Antônio Cezar Leal**

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

N972a Nunes, Hermes Maurício.  
Aplicação de modelo de correlação entre uso e cobertura da terra e qualidade da água no manancial do alto curso do Rio Santo Anastácio – UGRHI-22/Pontal do Paranapanema – São Paulo/Brasil / Hermes Maurício Nunes. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2018  
135 f. : il.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Área de conhecimento: Gestão e Regulação de Recursos Hídricos, 2018

Orientador: Antônio Cezar Leal  
Inclui bibliografia

1. Gestão e regulação dos recursos hídricos. 2. Enquadramento. 3. Modelagem. 4. Planejamento de bacias hidrográficas. 5. Política Nacional de Recursos Hídricos.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Ilha Solteira

**CERTIFICADO DE APROVAÇÃO**

**TÍTULO DA DISSERTAÇÃO:** Aplicação de modelo de correlação entre uso e cobertura da terra e qualidade da água no manancial do alto curso do rio Santo Anastácio - UGRHI - 22 / Pontal do Paranapanema - São Paulo/Brasil

**AUTOR: HERMES MAURICIO NUNES**

**ORIENTADOR: ANTONIO CEZAR LEAL**

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em GESTÃO E REGULAÇÃO DE RECURSOS HÍDRICOS - PROFÁGUA, área: Regulação e Governança de Recursos Hídricos pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. ANTONIO CEZAR LEAL  
Departamento de Geografia / Faculdade de Ciências e Tecnologia de Presidente Prudente

Prof. Dr. JOSÉ TADEU GARCIA TOMMASELLI  
Departamento de Geografia / Faculdade de Ciências e Tecnologia de Presidente Prudente

Prof. Dr. EDUARDO PIZZOLIM DIBIESO  
Departamento de Geografia / Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Maringá

Ilha Solteira, 01 de setembro de 2018

## DEDICATÓRIA

Ao meu filho, minha mãe, meus irmãos e toda minha  
família.

## AGRADECIMENTOS

Na esfera espiritual, agradeço ao Deus cristão que guia meus caminhos.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001, agradeço também ao Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos – ProfÁgua, Projeto CAPES/ANA AUXPE N°. 2717/2015, pelo apoio técnico científico aportado até o momento.

Ao grupo GADIS da FCT UNESP de Presidente Prudente por compartilhar estrutura e material de estudo.

À SABESP, representada pela Coordenadora Caroline Governatori, do Gerente de Departamento Antônio Fernandes Garcia Junior e Superintendente Dr.º Wanderley da Silva Paganini por flexibilizar meu horário de trabalho para realização das atividades previstas no curso do ProfÁgua.

Na esfera pessoal, pelo convívio, amizade construída no decorrer desse desafio:

Ao Coordenador geral do ProfÁgua, Professor Drº Jefferson Oliveira Nascimento.

Ao meu orientador Professor Drº Antônio César Leal que pacientemente soube me guiar nessa empreitada.

Ao Professor Drº Paulo Augusto Romera e Silva pelo apoio técnico no início da pesquisa.

Aos professores convidados para minha qualificação: Drº José Tadeu Garcia Tommaselli e Drª Renata Ribeiro Araújo por suas valiosas contribuições.

A todos os professores e colegas de turma de mestrado espalhados pelo Brasil e em especial à turma da UNESP de Ilha Solteira/SP.

“A obrigação de suportar nos dá o direito de saber.”  
Rachel Carson (1969)

## RESUMO

O objetivo desta dissertação é aplicar a ferramenta do módulo I do modelo MQUAL 2.0 para quantificar a geração de cargas difusas por meio de coeficientes de transporte de cargas para os parâmetros fósforo, nitrogênio e demanda bioquímica de oxigênio – DBO<sub>5,20</sub>, no diagnóstico do ano de 2016 e cenários com ausência de serviços de saneamento, cenários induzidos pela recuperação de mata nativa e cenários tendenciais em relação à dinâmica na alteração do uso e cobertura da terra em 2026 e 2036. O estudo foi realizado no manancial do alto curso do rio Santo Anastácio, inserido na UGRHI-22 do Estado de São Paulo. As fragilidades ambientais na bacia hidrográfica do rio Santo Anastácio por ação antrópica envolvendo práticas de manejo em diversos níveis no uso e cobertura da terra observadas a partir do ano de 1986, um ano após a ampliação da represa e acompanhada de dez em dez anos até 2016, com o monitoramento de qualidade da água e medição de vazão pelo órgão de controle ambiental do estado de São Paulo – CETESB, no ponto STAN43. Este estudo tem como dados principais, mapas históricos de uso e cobertura da terra do manancial do alto curso do rio Santo Anastácio, dos anos de 1986, 1996, 2006 e 2016. Os resultados de fósforo, nitrogênio e DBO<sub>5,20</sub>, no ponto de coleta STAN43, no ano 2016 em foram, respectivamente: 0,214 mg/l; 0,981 mg/l e 20,457 mg/l. A importância da demonstração dos conceitos atrelados ao uso desta ferramenta de modelagem, de operação matemática simples, fornece aos membros dos Comitês de Bacia Hidrográfica uma visualização prática do rio que temos, do rio que queremos e do rio que podemos ter. Conclui-se neste trabalho a necessidade de ampliação dos pontos de monitoramento da qualidade da água em áreas representativas de uso e cobertura da terra para uma validação e calibração dos coeficientes de transporte de cargas difusas aplicáveis ao manancial do alto curso do rio Santo Anastácio.

**Palavras-chave:** Gestão e regulação dos recursos hídricos. Enquadramento. Modelagem. Planejamento de bacias hidrográficas. Política Nacional de Recursos Hídricos.



## ABSTRACT

The objective of this dissertation is to apply the tool of module I of the MQUAL 2.0 model to quantify the generation of diffuse loads by means of load transport coefficients for the parameters phosphorus, nitrogen and biochemical oxygen demand - BOD<sub>5,20</sub>, in the diagnosis of the year of 2016 and scenarios with absence of sanitation services, scenarios induced by the recovery of native forest and trend scenarios in relation to the dynamics in the use and land cover change in 2026 and 2036. The study was carried out in the high river source of the Santo Anastácio, inserted in UGRHI-22 of the State of São Paulo. Environmental fragilities in the Santo Anastácio river basin by anthropic action involving management practices at various levels of land use and cover observed from 1986, one year after the dam was enlarged and monitored every ten years until 2016, with the monitoring of water quality and flow measurement by the environmental control agency of the State of São Paulo – CETESB, at STAN43. This study has a main data, historical maps of land use and cover of the high-water source of the Santo Anastácio river, from 1986, 1996, 2006 e 2016. The results of phosphorus, nitrogen and BOD<sub>5,20</sub>, at the point of collection STAN43, in year 2016 in were, respectively: 0.214 mg/l; 0.981 mg/l and 20.457 mg/l. The importance of demonstrating concepts linked to the use of this modeling tool, simple mathematical operation, provides the members of the River Basin Committees with a practical view of the river we have, the river we want and the river we can have. This paper concludes with the need to expand the monitoring points of water quality in representative areas of land use and land cover for validation and calibration of the diffusion-load transport coefficients applicable to the high-water source of the Santo Anastácio river.

**Keywords:** Management and regulation of water resources. Framework. Modeling. Watershed planning. National Policy on Water Resource.

**LISTA DE FIGURAS**

<b>Figura 1</b>	- Mananciais de maiores conflitos na RMSP	35
<b>Figura 2</b>	- Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos – UGRHI-22	46
<b>Figura 3</b>	- Localização do manancial do alto curso do rio Santo Anastácio e sua posição quanto à gestão e regulação de recursos hídricos no estado de São Paulo	51
<b>Figura 4</b>	- Divisão do manancial do alto curso do rio Santo Anastácio em sub-bacias e unidades hidrológicas	54
<b>Figura 5</b>	- Esquema de transferência de carga no manancial do alto curso do rio Santo Anastácio	65
<b>Figura 6</b>	- Série mensal de temperatura do ar do manancial do alto curso do rio Santo Anastácio	70
<b>Figura 7</b>	- Série mensal pluviométrica do manancial do alto curso do rio Santo Anastácio	71
<b>Figura 8</b>	- Balanço hídrico climático normal do manancial do alto curso do rio Santo Anastácio	74
<b>Figura 9</b>	- Uso e cobertura da terra no período seco de 1986	82
<b>Figura 10</b>	- Uso e cobertura da terra no período seco de 1996.	85
<b>Figura 11</b>	- Uso e cobertura da terra no período seco de 2006	87
<b>Figura 12</b>	- Uso e cobertura da terra no período seco de 2016	89
<b>Figura 13</b>	- Cenário tendencial do uso e cobertura da terra no manancial do alto curso do rio Santo Anastácio	101
<b>Figura 14</b>	- Cenário induzido do uso e cobertura da terra no manancial do alto curso do rio Santo Anastácio	103
<b>Figura 15</b>	- Cenários tendenciais e induzidos de geração de carga, dos anos de 2026 e 2036, segundo o modelo MQUAL 2.0, para o manancial do alto curso do rio Santo Anastácio.	118

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b>	- Caracterização dos mananciais da RMSP e do manancial do alto curso do rio Santo Anastácio em termos populacionais, ocupação e serviços de saneamento	36
<b>Tabela 2</b>	- Comparação de coeficiente de fósforo nas principais versões do MQUAL	42
<b>Tabela 3</b>	- Área de contribuição e densidade populacional dos municípios integrantes da bacia hidrográfica do manancial do alto curso do rio Santo Anastácio	49
<b>Tabela 4</b>	- Coeficientes de geração de cargas para o modelo MQUAL 2.0	66
<b>Tabela 5</b>	- Estimativa de evapotranspiração média do manancial do alto curso do rio Santo Anastácio, de 01/01/1998 à 31/12/2016, segundo os conceitos de Thornthwaite & Mather (1955)	73
<b>Tabela 6</b>	- Regionalização hidrológica do manancial do alto curso do rio Santo Anastácio	77
<b>Tabela 7</b>	- Resultados laboratoriais de P Total, Nitrogênio Total e DBO <sub>5,20</sub>	79
<b>Tabela 8</b>	- Uso e cobertura da terra no manancial do alto curso do rio Santo Anastácio nos anos de 1986 e 1996	92
<b>Tabela 9</b>	- Uso e cobertura da terra no manancial do alto curso do rio Santo Anastácio nos anos de 1996 e 2006	95
<b>Tabela 10</b>	- Uso e cobertura da terra no manancial do alto curso do rio Santo Anastácio nos anos de 2006 e 2016	98
<b>Tabela 11</b>	- Uso e cobertura da terra no manancial do alto curso do rio Santo Anastácio nos anos de 1986, 1996, 2006 e 2016	100
<b>Tabela 12</b>	- Uso e cobertura da terra em grupos de sub-bacias de características distintas	105
<b>Tabela 13</b>	- Geração diária de carga em kg no manancial do alto curso do rio Santo Anastácio em cenário real de 2016	106
<b>Tabela 14</b>	- Concentração de fósforo (P), nitrogênio (N) e DBO <sub>5,20</sub> no manancial do alto curso do rio Santo Anastácio em cenário real de 2016	107
<b>Tabela 15</b>	- Geração diária de carga em kg no manancial do alto curso do rio Santo Anastácio em cenário de 2016 sem sistema de saneamento básico	109

<b>Tabela 16</b>	- Concentração de fósforo (P), nitrogênio (N) e DBO <sub>5,20</sub> no manancial do alto curso do rio Santo Anastácio em cenário de 2016 sem saneamento básico	109
<b>Tabela 17</b>	- Geração diária de carga em kg no manancial do alto curso do rio Santo Anastácio em cenário induzido de 2026	110
<b>Tabela 18</b>	- Concentração de fósforo (P), nitrogênio (N) e DBO <sub>5,20</sub> no manancial do alto curso do rio Santo Anastácio em cenário induzido de 2026	111
<b>Tabela 19</b>	- Geração diária de carga em kg no manancial do alto curso do rio Santo Anastácio em cenário tendencial de 2026	112
<b>Tabela 20</b>	- Concentração de fósforo (P), nitrogênio (N) e DBO <sub>5,20</sub> no alto curso do rio Santo Anastácio em cenário tendencial de 2026	112
<b>Tabela 21</b>	- Geração diária de carga em kg no manancial do alto curso do rio Santo Anastácio em cenário induzido de 2036	113
<b>Tabela 22</b>	- Concentração de fósforo (P), nitrogênio (N) e DBO <sub>5,20</sub> no manancial do alto curso do rio Santo Anastácio em cenário induzido de 2036	114
<b>Tabela 23</b>	- Geração diária de carga em kg no manancial do alto curso do rio Santo Anastácio em cenário tendencial de 2036	115
<b>Tabela 24</b>	- Concentração de fósforo (P), nitrogênio (N) e DBO <sub>5,20</sub> no manancial do alto curso do rio Santo Anastácio em cenário tendencial de 2016	116

**LISTA DE QUADROS**

- Quadro 01** - Concepção metodológica da análise da bacia hidrográfica e da qualidade da água como subsídio ao planejamento ambiental e à gestão dos recursos hídricos da bacia hidrográfica do manancial do alto curso do rio Santo Anastácio 57

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ANA	Agência Nacional de Águas
AOD	Área de Ocupação Dirigida
APRM	Área de Proteção e Recuperação de Mananciais
ARA	Área de Recuperação Ambiental
ARO	Área de Restrição à Ocupação
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CBH	Comitê de Bacias Hidrográficas
CBH - PP	Comitê de Bacia Hidrográfica do Pontal do Paranapanema
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
CRH	Conselho Estadual de Recursos Hídricos
DAEE	Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo
DBO <sub>5,20</sub>	Demanda Bioquímica de Oxigênio - 5 dias de incubação, 20 °C
EEE	Estação Elevatória de Esgoto
ETA	Estação de Tratamento de Água
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
FCT	Faculdade de Ciências e Tecnologia
GADIS	Gestão Ambiental e Dinâmica Socioespacial
GIOVANNI	Geospatial Interactive Online Visualization ANd aNalysis Infrastructure
GIS	Sistema de Informação Geográfica
HAR03	Modelo de simulação de abatimentos de carga nos reservatórios
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
MERRA2	Modern-Era Retrospective Analysis for Research and Applications, version 2
MQUAL	Modelo de correlação entre o uso e cobertura da terra e a qualidade da água
N	Nitrogênio
NASA	National Aeronautics and Space Administration
OD	Oxigênio Dissolvido
P	Fósforo
PDPA	Plano de Desenvolvimento e Proteção Ambiental
PERH	Política Estadual de Recursos Hídricos
PIB	Produto Interno Bruto
PNMA	Política Nacional de Meio Ambiente
PNRH	Política Nacional de Recursos Hídricos
ProfÁgua	Mestrado Profissional em rede nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos

Q7,10	Vazão mínima anual de sete dias consecutivos e período de retorno de 10 anos
QGIS	Software de tratamento de imagens via satélite
RMSP	Região Metropolitana de São Paulo
SEADE	Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados
SERH	Sistema Estadual de Recursos Hídricos
SIMOX III	Modelo de simulação de abatimento de carga nos afluentes
SINGRHI	Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos
SISNAMA	Sistema Nacional de Meio Ambiente
SPAT	Sistema Produtor Alto Tietê
STAN43	Ponto de coleta da CETESB
TRMM	Satélite Tropical Rainfall Measuring Mission
U.H.	Unidade Hidrográfica
UGRHI	Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos
UGRHI 22	Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Pontal do Paranapanema
UNESP	Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”
USGC	United States Geographic and Geological Service

## LISTA DE SÍMBOLOS

<i>T</i>	Temperatura média do ar superficial
<i>i</i>	Índice térmico mensal
<i>N</i>	Duração do dia em horas
<i>ND</i>	Número de dias no mês
<i>ETP</i>	Evapotranspiração potencial
<i>ETR</i>	Evapotranspiração real
<i>C</i>	É a relação entre a média das mínimas anuais de sete dias consecutivos e a média das mínimas anuais de um mês
<i>X<sub>T</sub></i>	É uma variável adimensional da relação entre a série de vazões mínimas anuais de determinada duração e a vazão média das mínimas de mesma duração
<i>A+B</i>	É a simplificação das relações $a/Q$ e $b/Q$ , onde $Q$ é a vazão média de longo período e onde “a” e “b” são os parâmetros de regressão linear da descarga $Q$ plurianual, numa dada seção de um curso d’água



## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	16
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b>	20
<b>2.1</b>	<b>Gestão e regulação dos recursos hídricos no Brasil</b>	20
2.1.2	<i>A qualidade da água</i>	23
2.1.2	<i>Regionalização hidrológica</i>	27
2.1.3	<i>Poluição difusa</i>	28
<b>2.2</b>	<b>A gestão das águas dos mananciais paulistas</b>	30
2.2.1	<i>O Plano de Desenvolvimento e Proteção Ambiental - PDPA</i>	33
2.2.2	<i>Modelo de correlação entre uso e cobertura da terra e a qualidade da água</i>	37
<b>3</b>	<b>UGRHI - 22 – PONTAL DO PARANAPANEMA</b>	41
<b>3.1</b>	<b>O manancial do alto curso do rio Santo Anastácio</b>	42
<b>4</b>	<b>METODOLOGIA</b>	49
<b>4.1</b>	<b>Roteiro Metodológico</b>	51
<b>4.2</b>	<b>Obtenção de dados secundários</b>	52
4.2.1	<i>Determinação do balanço hídrico</i>	52
4.2.2	<i>Determinação da regionalização hidrológica</i>	54
4.2.3	<i>Escolha do laudo de análise e parâmetros de estudo</i>	55
4.2.4	<i>Evolução histórica</i>	55
<b>4.3</b>	<b>Cálculo para os cenários dos anos de 2016, 2026 e 2036</b>	56
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b>	63
<b>5.1</b>	<b>Caracterização da bacia hidrográfica do manancial do alto curso do Rio Santo Anastácio</b>	63
5.1.1	<i>Clima</i>	63
5.1.2	<i>Balanço Hídrico</i>	65
5.1.3	<i>Regionalização Hidrológica</i>	68
5.1.4	<i>A qualidade da água</i>	70
5.1.5	<i>Uso e cobertura da terra</i>	72
<b>5.2</b>	<b>Diagnóstico de geração de carga – ano base - 2016</b>	97
<b>5.3</b>	<b>Simulação de cenários de geração de carga</b>	100
5.3.1	<i>Cenário de 2016 sem serviços de saneamento básico</i>	100
5.3.2	<i>Cenários induzido e tendencial para 2026</i>	102
5.3.3	<i>Cenários induzido e tendencial para 2036</i>	105
<b>6</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	112
	<b>REFERÊNCIAS</b>	115

## 1 INTRODUÇÃO

A água, na sua forma mais simples, é composta por dois átomos de hidrogênio e um de oxigênio, presente no corpo humano e cobrindo parcialmente a superfície da Terra, a água é um bem de valor econômico e um dos pilares da vida.

E por este motivo, o abastecimento público é o uso mais nobre dentre tantos outros de cunho econômico, mas, não exclusivo, o que gera conflitos pelo seu uso e conseqüentemente sua oferta em termos quantitativos e qualitativos, tanto nos seus reservatórios subterrâneos como nos superficiais.

Essa disponibilidade quantitativa é influenciada por precipitações atmosféricas sobre os continentes, localização geográfica e concentrações populacionais. A disponibilidade qualitativa é influenciada pela cultura protecionista ou degradadora de seus usuários. (BITTENCOURT; PAULA, 2014)

Dentre as formas de gestão de uso da água, o Brasil, adotou o sistema de gerenciamento descentralizado, com a participação do poder público, dos usuários e das comunidades, tendo definido a bacia hidrográfica, como unidade territorial para implementar a Política Nacional de Recursos Hídricos, criando assim o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. (BRASIL, 1997)

Outros fundamentos que pautaram a Lei das Águas foi o de proporcionar o uso múltiplo da água, exceto em caso de escassez, onde a prioridade é o consumo humano e a dessedentação de animais. E não menos importante, e principal inspiração desta pesquisa, a água é dotada de valor econômico e é um bem de domínio público e é dever de todos assegurar à atual e futuras gerações a necessária disponibilidade em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos.

A Lei Federal 9.433, de 08 de janeiro de 1997 apresentou entre outros instrumentos de gestão de recursos hídricos, o enquadramento dos corpos hídricos segundo seus usos preponderantes.

O enquadramento é referência para os demais instrumentos de gestão de recursos hídricos (outorga, cobrança) e instrumentos de gestão ambiental (licenciamento, monitoramento), sendo, portanto, um importante elo entre o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos – SINGRH e o Sistema Nacional de Meio Ambiente - SISNAMA. (ANA, 2009)

No Estado de São Paulo os resultados obtidos no monitoramento das águas superficiais são comparados como os respectivos padrões de qualidade das classes de enquadramento, de cada corpo d'água de acordo com o Decreto Estadual 10.755 de 22 de novembro de 1977. (SÃO PAULO, 1977)

Diferentemente de outras bacias hidrográficas do Estado de São Paulo, a UGRHI-22 Pontal do Paranapanema usufrui no geral de boa quantidade e qualidade de água de seus principais corpos d'águas para atender as necessidades do desenvolvimento econômico. (CETESB, 2016)

Em busca de subsidiar a melhor tomada de decisão, tendo o conhecimento de possíveis impactos para cada alternativa apresentada ao recurso hídrico, adota-se como ferramenta de gestão, a modelagem, para obter projeções de qualidade da água do manancial sob diversas hipóteses de uso e ocupação da bacia hidrográfica. (SÃO PAULO, 2010)

Há somente um ponto de monitoramento de vazão e qualidade da água, monitorado pela CETESB antes da captação para consumo humano, ponto STAN43 situado nas coordenadas geográficas 22°12'17" S e 51°26'05" O, segundo Saad et al. (2015). Como o enquadramento é um instrumento de planejamento e de relação direta com várias políticas setoriais, entre elas, o saneamento e o uso e cobertura da terra, faz-se necessário considerar todo o impacto existente e futuros cenários ambientais causados por uma mudança de classe de qualidade do rio.

Dibieso (2013) constatou que a bacia do manancial possui 72,73 km<sup>2</sup> de áreas protegidas pela legislação, ou seja, aproximadamente 37% de sua área total e que aproximadamente apenas 21% das áreas de preservação permanente e das zonas de preservação ambiental estão cobertas com alguma vegetação nativa, sendo que o restante possui uso irregular.

Através da correlação entre uso e cobertura da terra e qualidade da água é possível determinar a geração de cargas poluentes, a exemplo do modelo MQUAL 2.0, vindo a contribuir com os estudos já realizados na bacia hidrográfica do manancial do alto curso do rio Santo Anastácio, apresentando ao Comitê de Bacias Hidrográficas, um melhor entendimento desse instrumento, presente no Plano de Desenvolvimento e Proteção Ambiental.

O objetivo geral desta dissertação é aplicar a ferramenta MQUAL 2.0 para quantificar a geração de carga difusa no manancial.

Compreender essa ferramenta e apontar pontos de melhoria para aplicação no manancial.

O modelo foi concebido como função de explicitar as relações entre o uso, ocupação e manejo do solo na bacia, e a qualidade das águas para fins de abastecimento público, de forma a subsidiar a tomada de decisões com o melhor conhecimento possível das consequências de cada alternativa sobre o sistema hídrico, oferecendo resposta à análise:

- da qualidade futura do manancial sob diversas hipóteses de ocupação da bacia, de implantação de sistemas de saneamento e ações de controle;
- de novas políticas de uso do solo, com a identificação clara das contribuições específicas de cada categoria de uso do solo na qualidade da água, além de áreas prioritárias para preservação e recuperação;
- do licenciamento de grandes empreendimentos, com o uso de uma ferramenta adequada para avaliação de impactos sobre a qualidade das águas;
- de novas medidas de controle ambiental que possam ser propostas, a partir do conhecimento mais detalhado da bacia.

A pesquisa de mestrado foi realizada em cinco etapas. A primeira etapa, demonstrada no segundo e terceiro capítulos, é o levantamento bibliográfico da gestão dos recursos hídricos no Brasil e no Estado de São Paulo, com destaque para a Lei de Proteção de Mananciais de Interesse Regional, seus instrumentos, tais como o Plano de Desenvolvimento e Proteção Ambiental, responsável em integrar a Política Nacional de Recursos Hídricos, Política Nacional de Meio Ambiente e demais políticas setoriais como o saneamento e o uso e cobertura da terra e o modelo de correlação entre o uso e cobertura da terra e a qualidade da água – MQUAL 2.0. A gestão dos recursos hídricos no Pontal do Paranapanema e o manancial do alto curso do rio Santo Anastácio.

A segunda etapa, capítulo quatro, é estruturada no roteiro metodológico, buscando apresentar de forma clara e possível de serem replicadas, as ações para realização da pesquisa, dentre elas a obtenção de dados secundários.

Levantamento dos laudos de análise e vazão, no ponto STAN43 da CETESB, e a aplicabilidade do balanço hídrico na escolha do laudo de análise de referência;

determinação da vazão mínima Q7,10 de cada sub-bacia hidrográfica pelo método de regionalização hidrológica, desenvolvido pelo DAEE; determinação da concentração de carga no ponto STAN43. Ao final desta fase, focou-se na construção de mapas históricos de uso e cobertura da terra, do manancial do alto curso do rio Santo Anastácio, nos anos de 1986, 1996, 2006 e 2016.

Na terceira etapa, após obtenção de dados secundários a partir da caracterização da área de estudo, utilizou-se o modelo MQUAL 2.0, para estimar a geração de carga de fósforo total, nitrogênio total e DBO<sub>5,20</sub> no ano base de 2016, em uma situação real de serviço universalizado de saneamento básico e cujo esgoto tratado é lançado a jusante da área de estudo.

A quarta etapa, abordou cinco cenários a saber:

a) Cenário de 2016, geração de carga poluente sem os serviços de saneamento existente, mantido o uso e cobertura da terra;

b) Cenário Induzido de 2026, com a recuperação da mata nativa na proporção do ano de 2006, não crescimento da área urbana e chácaras, e divisão equitativa entre área agrícola e campo;

c) Cenário Tendencial de 2026, com base na evolução dos usos entre 1986 e 2016;

d) Cenário Induzido de 2036, com a recuperação da mata nativa na proporção do ano de 1986, não crescimento da área urbana e chácaras, e divisão equitativa entre área agrícola e campo;

e) Cenário Tendencial de 2036, com base na evolução dos usos entre 1986 e 2016.

A quinta etapa analisa os resultados obtidos em relação ao enquadramento da classe do rio e faz considerações finais quanto à aplicabilidade do modelo MQUAL 2.0 no manancial do alto curso do rio Santo Anastácio.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

Buscando um bom entendimento sobre a gestão dos recursos hídricos no Brasil e no Estado de São Paulo e sua linha de conceitos que leva ao enquadramento de mananciais, em especial ao manancial do alto curso do rio Santo Anastácio, este referencial teórico foi subdividido nos seguintes tópicos: gestão e regulação dos recursos hídricos no Brasil; gestão das águas dos mananciais paulistas e um capítulo adicional para abordagem da área de estudo: o manancial do alto curso do rio Santo Anastácio inserido na UGRHI – 22 Pontal do Paranapanema.

### **2.1 Gestão e regulação dos recursos hídricos no Brasil**

O Brasil é um país rico em reservas hídricas, e a apropriação dessa riqueza mineral influenciou no desenvolvimento econômico, constituindo-se em recurso de valor econômico, cuja gestão apresenta diversas particularidades. (SCANTIMBURGO, 2015)

Dentre as particularidades que interferem no sistema de gestão de bacias hidrográficas estão suas extensões territoriais, o crescimento populacional somado às atividades econômicas de cada região, gerando conflitos que necessitam de abordagens específicas para coordenar os usos preponderantes da água. (BARBOSA, 2003)

Dentre os maiores resultados desses esforços para a gestão da água destacam-se a implantação da Política Nacional de Recursos Hídricos – PNRH, instituída pela Lei nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997 – Lei das Águas: um marco na gestão de recursos hídricos, abandonando o modelo centralizado típico do regime militar, para uma gestão descentralizada dando novos espaços participativo de deliberação pública. (BRASIL, 1997; COSTA; MAGALHÃES, 2008)

Esse espaço participativo é evidenciado pela governança, onde uma multiplicidade de atores interage e participa dos processos de concepção e implementação das políticas públicas. (COSTA, 2012)

A concepção de políticas públicas é devida a escassez de água em quantidade ou qualidade, ou na execução dos melhores exemplos, gerir a água abundante de

hoje para não faltar para as gerações futuras, pois a escassez aflora conflitos entre o direito de uso pelos atores sociais. (SILVA, 2008)

Para execução da PNRH foi criada a Agência Nacional de Águas – ANA pela Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000, para conduzir o processo de estruturação do Sistema Nacional de Recursos Hídricos entre os diversos atores. (BRASIL, 2000)

Entre os objetivos da ANA, está o de assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos, ou seja, preservar a água onde ela exista, fazer chegar onde não existe ou onde não há acesso à água devido à pobreza. (BRASIL, 1997)

Os outros objetivos da ANA envolvem a utilização racional e integrada dos recursos hídricos, a prevenção e defesa contra eventos hidrológicos críticos, que são desafiados com a realidade atual de muitas regiões devido ao balanço hídrico deficitário e agravantes dos efeitos das mudanças climáticas. (VISENTIN et al., 2015)

Os instrumentos previstos na PNRH são: I – planos de recursos hídricos; II – enquadramento; III – outorga; IV – cobrança; e V – sistemas de informações sobre recursos hídricos. Destes, é o enquadramento que visa assegurar às águas qualidade compatível com os usos mais exigentes a que forem destinadas e diminuir os custos de combate à poluição das águas, mediante ações preventivas permanentes. (BRASIL, 1997)

O enquadramento dos corpos hídricos segundo seus usos preponderantes, articula-se com os demais instrumentos, com a Política Nacional do Meio Ambiente – PNMA, setor de saneamento e com a política de uso e cobertura da terra, porém, todo instrumento de planejamento, a exemplo do enquadramento, necessita de confiabilidade nos dados e informações para que sejam tomadas decisões em várias esferas e escalas de gestão, no entanto, esses dados estão disponíveis em recortes políticos-administrativos e dos setores censitários, não em nível de bacia hidrográfica. (ANA, 2009; OLIVEIRA, 2013)

O enquadramento é um dos mais importantes instrumentos de gestão de recursos hídricos e é o aspecto legal das aspirações da sociedade organizada dos usuários de água para diversos fins de modo a assegurar qualidade compatível com os usos mais exigentes da bacia hidrográfica. (OPPA; GASTALDINI; MISSIO, 2007)

O enquadramento é um instrumento que tem por finalidade classificar os corpos d'água em níveis de qualidade para usos pré-determinados de modo a garantir que a

qualidade desta água mantida ou a ser alcançada esteja compatível com o respectivo uso. (ANDRADE; MAURI; MENDONÇA, 2013)

Alcançar ou manter a qualidade da água para atender determinado uso requer a necessidade de um diagnóstico que mensure o nível de degradação em termos qualitativo e quantitativo dos recursos hídricos ocorridos de forma natural ou decorrente de atividade antrópica. (BELONDI, 2003)

A proposta de enquadramento de corpos d'água considerando a degradação da qualidade da água e a regionalização hidrológica é realizada por modelos que auxiliam a tomada de decisões referentes ao gerenciamento de recursos hídricos. (BINOTO, 2012)

O estudo para enquadramento dos corpos hídricos em níveis qualitativos deve avaliar os diferentes usos e cobertura da terra da bacia hidrográfica e apresentar uma ferramenta que oriente os representantes dos comitês de bacia hidrográfica na tomada de decisão. (FARIA; TRANNIN; SIMÕES, 2011)

A ferramenta ou modelo escolhido norteará a definição de metas intermediárias de qualidade de água para os usos preponderantes de modo a interferir na aplicação dos instrumentos de outorga, cobrança e plano de bacia hidrográfica. (LIMA, 2016)

A ligação entre a PNRH e PNMA pelo enquadramento se dá pela Resolução CONAMA nº 430, de 13 de maio de 2011 que dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. (BRASIL, 2011)

O enquadramento de qualidade de água em mananciais enfrenta diversas barreiras no país, como a deficiência de infraestrutura sanitária, lançamento de efluentes industriais, disposição inadequada de resíduos e uso indiscriminado de agrotóxico de modo a comprometer o corpo hídrico. (MOREIRA, 2007)

Além do uso do corpo hídrico para lançamento de esgoto tratado, o setor de saneamento, utiliza-o prioritariamente para o abastecimento público, através da captação em mananciais de água salobra e/ou doces, sendo esta última classificada em: a) especial; b) classe I; c) classe II; d) classe III; e) classe IV. (BRASIL, 2005)

No Estado de São Paulo o Decreto nº 10.755, de 22 de novembro de 1977 dispõe sobre o enquadramento dos corpos de água receptores e a lei 997 de 31 de maio de 1976 dispõe sobre o controle da poluição do meio ambiente. (SÃO PAULO, 1976; 1977)



Este controle da poluição do meio ambiente é realizado por meio de monitoramento das águas superficiais em escala de bacia hidrográfica onde está inserido o manancial, sendo um apoio técnico essencial para correlação entre o uso e cobertura da terra e a qualidade da água. (TODESCHINI et al., 2016)

Busca-se com o monitoramento para fins de proposta de enquadramento um estudo técnico pautado em conceitos químicos, físicos e biológicos consistentes para tomadas de decisões justas que impactam em custos reais de investimentos. (FERREIRA; FERNANDES; KAVISK, 2016)

A tomada de decisão referente às ações de efetivação do programa de enquadramento por parte dos gestores que compõe o Comitê de Bacia Hidrográfica requer tempo para consenso, principalmente se a bacia hidrográfica contiver manancial para abastecimento em momentos de crise hídrica. (TORRES; MEDEIROS; FREITAS, 2016)

A crise no abastecimento de água ocorrida recentemente nas grandes metrópoles brasileiras, em especial no Estado de São Paulo após o inverno mais seco das últimas décadas, lançou-se um holofote sobre a gestão das águas dos mananciais para abastecimento público do Estado mais rico e populoso do Brasil.

### *2.1.1 A qualidade da água*

Avaliar a qualidade da água é um processo que envolve planejamento de forma que considere todas as características físicas, químicas e biológicas, no tempo e espaço, para só então verificar sua compatibilidade com o uso atual e/ou futuro pretendido. (OLIVEIRA, E., 2015)

De forma natural, a água, nos corpos hídricos, já sofre alteração do meio ambiente pelo transporte de substâncias através do ciclo hidrológico, e potencializado por ações antrópicas. Portanto, manter ou até mesmo alcançar os limites desejáveis de qualidade da água, implica na implantação de políticas públicas, tais como a PNMA, PNRH, políticas de saneamento e uso e cobertura da terra, que juntos, têm o objetivo de controlar fatores que afetam o ambiente físico, dentre os quais a qualidade da água. (BITTENCOURT; PAULA, 2014)

Esses impactos precisam ser monitorados e estudados de forma constante com o objetivo de melhorar o entendimento das formas e graus de contaminação para o

desenvolvimento de práticas de mitigadoras de contaminação. (BORTOLUZZI et al., 2005)

A amostragem de água no corpo hídrico, preferencialmente, deve considerar todo o ciclo hidrológico para que contabilize as condições críticas de vazão, ou ao menos, alcance valores próximos da vazão mínima, e para uma maior confiabilidade dos resultados, o laboratório que executa as análises deve dispor de um sistema de gestão da qualidade na produção de dados válidos de cargas poluentes. (CAVALCANTI, 2016)

Os parâmetros, cujas cargas poluentes são estimadas neste estudo pelo modelo MQUAL 2.0, são: o fósforo, o nitrogênio e a Demanda Bioquímica de Oxigênio e terão conceitos e considerações tratados neste tópico.

O fósforo é um parâmetro de grande interesse em estudos de eutrofização de reservatórios para abastecimento público. Na forma natural é encontrado na dissolução de compostos do solo, decomposição da matéria orgânica e na composição celular de microrganismos. (VON SPERLING, 2007)

Quando em origem antropogênica, o fósforo é comumente presente em despejos domésticos e industriais, detergentes, excrementos de animais e fertilizantes. As formas mais simples encontrados nos corpos d'água são os ortofosfatos e as moléculas mais complexas com dois ou mais átomos de fósforo, são os polifosfatos. (TOLEDO et al., 2009)

Compreender a dinâmica dos poluentes dentro de uma bacia hidrográfica, entre eles o fósforo, dá ao gestor de recursos hídricos, uma visão do papel importante deste elemento químico na eutrofização de ambiente aquáticos em fundos de córregos e represas. (PELEGRINI et al., 2005; SCHAEFER, 2015)

Segundo Alvarez, (2014), ao estudar a dinâmica da transferência e transformação do fósforo nos solos em duas sub-bacias hidrográficas, observou que a erosão causa a perda da camada fértil do solo, de água, elementos químicos, moléculas de agrotóxicos e micro-organismos, causando a poluição do solo.

O fósforo, em menor escala, está presente na dissolução de compostos do solo, no carreamento de excrementos de animais, e quando na forma de fosfato, sua origem é associada às descargas, como industriais, domésticas e agrícolas. (TOLEDO et al., 2009)

A alta dependência de agrotóxicos, segundo Pelegrini et al. (2008), ao investigarem a ocupação da terra e o processo de poluição ocasionado pela dinâmica do fósforo, identificou-os, como corresponsáveis pela contaminação difusa do solo e da água, de forma a atingir os mananciais quando aplicados em áreas de cabeceiras.

Os sedimentos erodidos de áreas de maior ação antrópica possuem maior potencial de eutrofização das águas superficiais, segundo Pelegrini et al. (2005) ao estudarem a dinâmica do fósforo nos cursos d'água durante eventos pluviométricos e sua relação com a quantidade e as propriedades físico-químicas dos sedimentos oriundos de diferentes condições de uso do solo.

Schaefer (2015) procurando determinar o potencial de retenção ou liberação de fósforo solúvel em função da ação antrópica em duas bacias hidrográficas no município de Júlio de Castilho, observou que na ausência de atividade intensiva de aves e suínos, os sedimentos nos leitos de rios indicaram baixa capacidade de fornecimento de fósforo para a coluna de água.

O fracionamento químico do fósforo permite identificar a origem de sedimentos de sub-bacias hidrográfica com diferentes graus de antropização, segundo Toledo et al. (2009) que buscaram determinar a dinâmica dos processos de contaminação hidrográfica do fósforo em relação ao uso e cobertura da terra.

Outro elemento químico, cuja dinâmica de transporte deve ser entendida por gestores de recursos hídricos, é o nitrogênio, e seu processo de desnitrificação em áreas de florestas ripárias, zonas de pastos e vertente agrícola. (BEZERRA, 2009)

Juntamente com o fósforo, o nitrogênio tem a particularidade de causar o crescimento excessivos de algas em reservatório, podendo em casos extremos, prejudicar o abastecimento público, a recreação e a preservação da vida aquática. (BITTENCOURT; PAULA, 2014)

O nitrogênio é um elemento indispensável para o crescimento de algas e em alta concentração provoca a eutrofização em reservatórios. Quando em origem antropogênica, o nitrogênio é comumente presente em despejos domésticos, despejos industriais, detergentes, excrementos de animais e fertilizantes.

As formas e estados de oxidação apresentado na biosfera durante o seu ciclo no meio aquático: podendo se apresentar na forma molecular ( $N_2$ ), escapando para a atmosfera, nitrogênio orgânico, dissolvido e em suspensão, amônia (livre  $NH_3$  e ionizada  $NH_4^+$ ), nitrito ( $NO_2^-$ ) e nitrato ( $NO_3^-$ ). Nos processos de conversão da amônia

a nitrito e deste a nitrato, implica no consumo de oxigênio dissolvido, podendo afetar a vida aquática. (VON SPERLING, 2007)

Bezerra (2009) investigou as mudanças dos processos que regulam a dinâmica do nitrogênio no solo em paisagens alteradas para o desenvolvimento estratégico de manejo do uso da terra na bacia hidrográfica do ribeirão Caxambu.

O parâmetro de maior importância na caracterização do grau de poluição de um corpo hídrico é a Demanda Bioquímica de Oxigênio – DBO<sub>5,20</sub>, que indica de forma indireta, o potencial de consumo do oxigênio dissolvido. (BITTENCOURT; PAULA, 2014)

A DBO é definida como a quantidade de oxigênio diatômico, necessária para oxidar a matéria orgânica presente na água através da decomposição microbiana. Termos como DBO<sub>c</sub> e DBO<sub>n</sub> são referências às parcelas carbonáceas e nitrogenadas da DBO. A parcela carbonácea é subdividida em não biodegradável e biodegradável, ambas na forma dissolvida ou em suspensão, oriundas de fonte natural, nas matérias orgânica vegetal e animal, e de fonte antropogênica via despejos domésticos e industriais. (VON SPERLING, 1996)

O uso de modelos hidrológicos aliados ao Sistema de Informações Geográficas – SIG na determinação da geração de cargas poluentes, tais como o nitrogênio, permite visualizar cenários que orientem os gestores de recursos hídricos a adotarem práticas conservacionistas. (TANIWAKI et al., 2013)

Outros parâmetros, além de fósforo, nitrogênio e DBO<sub>5,20</sub>, são indicadores de qualidade da água, tais como resíduos sólidos e suas diversas parcelas, Coliformes Totais, Coliformes Termotolerantes e outros, que não são abordados, por não fazer parte do escopo deste estudo.

A importância da avaliação da qualidade da água em eventos de precipitação é consequência da carga de lavagem oriunda da poluição difusa e escoamento, conforme observado por Souza, Gastaldini e Araújo (2015) ao analisarem parâmetros de qualidade da água em períodos secos em sub-bacias de diferentes usos do solo e número de habitantes no Rio Vacacaí-Mirim no município de Santa Maria/RS.

O primeiro objetivo da Política Nacional de Recursos Hídricos, no Inciso I do art. 2º da Lei 9433, de 08 de janeiro de 1.997: “Assegurar à atual e as futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos”, demonstra o conceito de indissociabilidade entre a quantidade e a

qualidade da água e a integração de ambos com o uso destinado. (OKAWA; POLETO, 2014)

### *2.1.2 Regionalização hidrológica*

O ciclo hidrológico, embora complexo, é facilmente explicado quando dividido em etapas, tais como: a) A água evapora de oceanos e lagos; b) A água evaporada forma nuvens; c) As nuvens deslocam-se pela atmosfera em padrões climáticos globais; d) O vapor da água se condensa e se precipita na forma de chuva, neve ou granizo; e) A chuva chega ao solo e escoam por ele até os pequenos córregos; f) Os córregos escoam para os rios e, finalmente, para os oceanos e os lagos. (GRIBBIN, 2013)

A vazão de referência é comumente utilizada em modelos de qualidade da água, cujo objetivo da modelagem pode exigir, particularidades da vazão: a) observada em um determinado período; b) a vazão média; c) vazão mínima. (VON SPERLING, 2007)

Neste estudo, a vazão de referência para o cálculo de geração de cargas e concentração equivalente, será adotada a vazão mínima  $Q_{7,10}$ , definida como, a vazão mínima com um período de retorno de 10 anos e período de duração de sete dias consecutivos. (BITTENCOURT; PAULA, 2014)

O conceito do cálculo da  $Q_{7,10}$ , é o conceito de média móvel, calculada para sete termos. Com o valor da menor média de sete dias de cada ano, estatisticamente interpola ou extrapola o valor para o tempo de retorno de dez anos. Porém, frequentemente, a inexistência de registros fluviométricos nas seções fluviais, ocasiona a mudança de método de cálculo, no caso, usa-se o método de regionalização hidrológica. (VON SPERLING, 2007)

Para o estudo hidrológico se faz necessário contar com uma rede de pontos pluviométricos e fluviométricos, além de longos períodos de coletas por meio de leituras e observações. (BAPTISTA, 2012)

A regionalização hidrológica é um produto do campo da Hidrologia, definida como ciência que trata da água na Terra, sua ocorrência, circulação, distribuição, propriedades físicas, propriedades químicas e sua reação com o meio ambiente. (CHOW, 1959)

O conceito de cálculo da regionalização hidrológica é a utilização de estações fluviométricas existentes e associadas à bacia de drenagem com características similares à da área estudada, que analisadas em seu conjunto, especializadas e empregadas para se estimar vazões em locais não medidos.(NAGHETTINI, 2006 citado por VON SPERLING, 2007)

Os resultados de obras e trabalhos técnicos fracassados pelo desconhecimento de estudos hidrológicos são de conhecimentos de engenheiros em geral, tal qual vultosas obras de captação e adução de água em mananciais inadequados e retificação de rios que com o passar do tempo agravaram as enchentes em outros locais. (VARGAS, 1999)

A utilização de dados de vazões de rios no decorrer de anos numa seção específica, tem sido a base de consulta para subsidiar empreendimentos para o abastecimento público, manutenção da vida aquática e controle de enchentes. (LEOPOLD, 1994)

O Estado de São Paulo, desde 1.980 utiliza o modelo de regionalização das variáveis hidrológicas baseado nos totais anuais de precipitados de 444 postos pluviométricos que consolidou uma carta de isoietas médias anuais, séries de descargas mensais observadas em 219 estações fluviométricas e série de vazões diárias de 88 postos fluviométricos. (SÃO PAULO, 1988)

### *2.1.3 Poluição difusa*

O planejamento inadequado do uso e cobertura da terra leva ao desenvolvimento dos processos erosivos no solo, transportando sedimentos e ocasionando a perda de nutrientes, que além da perda produtiva do solo impacta na qualidade da água dos corpos hídricos. (RASCHE A et al., 2012)

A outrora relação harmoniosa entre homem e natureza foi deteriorada quando os anseios da humanidade exigiram da natureza um maior esforço na absorção das cargas de poluição geradas por atividades econômicas e falta de comprometimento com as gerações futuras. (BARSANO; BARBOSA; VIANA, 2014)

As cargas poluentes podem ter origem pontual ou difusa. As fontes pontuais de poluição têm forma de estimativas de carga bem mais simples quando comparadas com as cargas originadas de fontes difusas. (SOUZA; GASTALDINI, 2014)

Entende-se por poluição por carga difusa, o impacto causado por diversas atividades, das quais não é possível identificar sua origem com precisão e cuja ocorrência intermitente depende da duração e intensidade das chuvas na bacia hidrográfica. (PORTO, 1995)

Embora a origem das cargas difusas seja de difícil identificação, a dinâmica de transporte de cargas poluentes em superfícies urbanas aliado ao alto grau de impermeabilização dos solos, contribui para o aumento do escoamento superficial, que arrasta esses poluentes até os corpos d'água. (HAUPT, 2009)

Há os poluentes oriundos de atividades agropecuárias, presentes nos sedimentos, fertilizantes, pesticidas e dejetos animais, entre eles, o nitrogênio, que na forma de nitrato, não se fixa no solo e é arrastado, via escoamento superficial, para os rios. (CERETTA et al., 2005)

As cargas poluentes chegam até os rios por infiltração no solo e por escoamento superficial. A etapa de infiltração consiste na entrada da água nas camadas superficiais do solo, se movendo em direção ao lençol freático. E o escoamento superficial atinge os rios pela superfície da bacia hidrográfica. (TUCCII, 2009)

Souza e Gastaldini (2014) ao avaliarem a carga de poluição difusa em quatro bacias hidrográficas do rio Vacacaí em Santa Maria/SP, utilizaram um polutograma para observar a variabilidade dos poluentes em relação à vazão de maior carga de lavagem em área urbana.

Além da precipitação e temperatura, outros fatores influenciam o processo de infiltração, tais como: tipo de solo; cobertura vegetal; umidade do solo; e estado da superfície do solo. (GRIBBIN, 2013)

Fatores fisiográficos, também influenciam o escoamento superficial e conseqüentemente o arraste de cargas poluentes, ou seja, quanto maior for a declividade a área da bacia hidrográfica, maior será a vazão no exutório. Outros fatores são as condições de superfícies como: tipo de solo; topografia; rede de drenagem; e obras hidráulicas. (GARCEZ, 1988)

Kuchinski et al. (2013), ao avaliarem as cargas de poluentes em águas superficiais e nos sedimentos oriundos das redes de drenagem urbana do arroio Cadena/RS, notaram que a diferença na carga de poluentes é decorrente do nível de degradação elevada devido às atividades antropizadas na região.

Vários trabalhos são desenvolvidos em escala global com a utilização de coeficientes de exportação de cargas poluentes relacionados ao uso e cobertura da terra, tendo os pesquisadores Dillon e Kirchner (1975) os primeiros a relacionar tais coeficientes com a geologia do terreno e o uso e cobertura da terra. (RYDING; RAST, 1989)

Modelos de qualidade da água são utilizados desde a primeira metade do século XX, tendo como exemplo, a aplicação no rio Ohio pelo modelo de Streeter Phelps em 1925, o trabalho de maior relevância à época. (CHAPRA, 1997)

## **2.2 A gestão das águas dos mananciais paulistas**

Com PIB de 1.708.222 em milhões de reais o que equivale a aproximadamente 32,13% do PIB nacional, o Estado de São Paulo tem destaque como polo nacional da industrialização e também com grande participação no setor agropecuário, destacando-se a monocultura do setor canavieiro e a criação de gado. (SEADE, 2017)

Somado a isto conta com uma população de 41.262.199 habitantes, conforme divulgação do último censo divulgado pelo IBGE e uma projeção de 47.203.417 pessoas para o ano 2050 em uma área de 248.222,36 km<sup>2</sup>. (SEADE, 2017; IBGE, 2010)

A grandiosidade dos números ocasiona a preocupação em torno do impacto sobre os recursos hídricos decorrente das atividades antrópicas, pois a deficiência da percepção ambiental da população e seus anseios de ocupação da terra, não associam de maneira direta o uso e cobertura da terra com a preservação dos mananciais. (CASAZZA, 2012)

Esses impactos, normalmente evidenciados com déficit da infraestrutura em esgotamento sanitário em áreas periféricas demonstram a realidade da consequência na qualidade de vida da população excludente, visto nos entornos das represas Billings e Guarapiranga. (COSTA, 2017)

A demanda por habitação por parte da população mais carente e a urgência de serviços de saneamento básico somados ao entendimento que a preservação e proteção dos mananciais é necessária para obter água em quantidade e qualidade para o abastecimento público, resultou no conceito de gestão integrada dos recursos hídricos. (JÚLIO, 2014)



No entanto, entre o governo de Juscelino Kubitschek que vivenciou o crescimento econômico e o regime militar iniciado em 1.964, aumentou a demandas da sociedade por água e segundo Mateus (2004) essa demanda é relacionada com a degradação dos recursos hídricos pelo inadequado uso e cobertura da terra da bacia hidrográfica.

A falta de gestão integrada dos recursos hídricos integrados com o uso e cobertura da terra classificou a Região Metropolitana de São Paulo - RMSPP como área crítica de poluição industrial através do Decreto Federal nº 76.389, de 3 de outubro de 1975. (BRASIL, 1975)

As primeiras leis de proteção aos mananciais foram criadas quatro anos antes, a partir do Plano Metropolitano de Desenvolvimento Integrado - PMDI em 1971 decorrente do potencial de degradação no entorno dos mananciais devido à uma má gestão de uso e ocupação da terra. (JULIO, 2014)

As primeiras ações para preservar os mananciais da RMSPP foi declarar dezoito cursos e reservatórios de água como interesse para abastecimento público, passando a exigir licenciamento ambiental e implantando fiscalização com multas. (SÃO PAULO, 1975)

Esses diplomas legais juntaram-se ao PMDI com o intuito de criar uma “barreira legal” à expansão urbana com a finalidade de proteger os recursos hídricos, porém não vingou, pois, a mancha urbana avançou na direção dos reservatórios de abastecimento. (YKEMATSU, 2014)

Ainda de modo centralizado e não participativo, em 1976 o Ministério de Minas e Energia e o governo paulista, buscando solução para o saneamento na bacia hidrográfica do Alto Tietê e de Cubatão, institucionalizaram o Comitê Especial de Estudos Integrados de Bacias Hidrográficas à criação de outros comitês, Paraíba do Sul e Ribeira do Iguape. (PORTO; PORTO, 2008)

No período de vigência das Leis na década de 1970, faltou articulação entre as políticas setoriais e falta de participação dos agentes locais tais como prefeituras e sociedade civil. (SANCHES, 2003)

Na década de 1.990 os gestores de recursos hídricos, tanto nacionais como internacionais passaram a divulgar o conceito de gestão integrada das águas em resposta ao avanço da degradação dos recursos hídricos. (JULIO, 2014)

Com a redemocratização do país e um cenário onde o uso e cobertura da terra tomou rumo diferente do previsto pelo governo com as leis anteriores, em São Paulo criou-se o Sistema Estadual de Recursos Hídricos - SERH. (SÃO PAULO, 1991)

A consequência da criação do SERH para a interface uso e cobertura da terra e qualidade da água, foi a criação da Lei de Proteção de Mananciais que resultou na Política de Proteção e Recuperação dos Mananciais de Interesse Regional do Estado de São Paulo, Lei nº 9.866, de 28 de novembro de 1997. (SÃO PAULO, 1997)

A lei de proteção dos mananciais definiu tem como objetivos preservar e recuperar os mananciais paulistas de interesse regional, compatibilizar as ações de preservação dos mananciais de abastecimento e as de proteção do meio ambiente com o uso e cobertura da terra e o desenvolvimento econômico, descentralizar o planejamento e a gestão de bacias hidrográficas com vistas à sua proteção e recuperação, integrar os programas e políticas habitacionais à preservação do meio ambiente. (SÃO PAULO, 1997)

Os instrumentos de gestão e planejamento previsto na Lei 9866/1997 são: áreas de intervenção e respectivas diretrizes e normas ambientais e urbanísticas de interesse regional; normas para implantação de infraestrutura sanitária; mecanismo de compensação financeira aos municípios; Plano de Desenvolvimento e Proteção Ambiental – PDPA; controle das atividades potencialmente degradadoras do meio ambiente, capazes de afetar os mananciais; Sistema Gerencial de Informações; imposição de penalidades por infrações às disposições da lei de mananciais e das leis específicas de cada APRM.

O Plano de Desenvolvimento e Proteção Ambiental – PDPA como instrumento da lei de proteção dos mananciais foi elaborado com o intuito de nortear ações de soluções visando a preservação de um manancial indispensável ao abastecimento público. (NAGATA, 2004)

### *2.2.1 O Plano de Desenvolvimento e Proteção Ambiental - PDPA*

O PDPA é um dos instrumentos de planejamento e gestão das Áreas de Proteção e Recuperação de Mananciais – APRM previsto na Lei 9.866, de 28 de novembro de 1997.

O artigo 31 da lei lista os conteúdos previstos em um PDPA, dentre eles há a proposta de um programa integrado de monitoramento ambiental, metas de curto, médio e longo prazo de obtenção de padrões qualidade ambiental, reenquadramento de áreas de qualidade ambiental entre outros. (SÃO PAULO, 1997)

O grande desafio de um PDPA como instrumento de gestão e planejamento de APRM é servir de base para formulação de leis específicas de proteção e recuperação dos mananciais para solucionar conflitos existentes e difíceis de serem mapeados. (SÃO PAULO, 2006; 2009; 2015a; 2015b)

Enquanto o enquadramento é o instrumento de gestão das águas que faz a ligação entre a Política Nacional de Recursos Hídricos - PNRH e a Política Nacional de Meio Ambiente - PNMA, o PDPA liga essas duas políticas às políticas de desenvolvimento regional. (HENRIQUE et al., 2017)

O conteúdo mínimo exigido em um PDPA, conforme citado no artigo 31 da Lei Estadual 9.866, de 28 de novembro de 1997, deve abordar:

I – diretrizes para o estabelecimento de políticas setoriais relativas a habitação, transporte, manejo de recursos naturais, saneamento ambiental e infraestrutura que interfiram na qualidade dos mananciais;

II - diretrizes para o estabelecimento de programas de indução à implantação de usos e atividades compatíveis com a proteção e recuperação ambiental da APRM;

III - metas de curto, médio e longo prazos, para a obtenção de padrões de qualidade ambiental;

IV - proposta de atualização das diretrizes e normas ambientais e urbanísticas de interesse regional;

V - proposta de reenquadramento das Áreas de Recuperação Ambiental;

VI - programas, projetos e ações de recuperação, proteção e conservação da qualidade ambiental;

VII - Programa Integrado de Monitoramento da Qualidade Ambiental;

VIII - Programa Integrado de Educação Ambiental;

IX - Programa Integrado de Controle e Fiscalização;

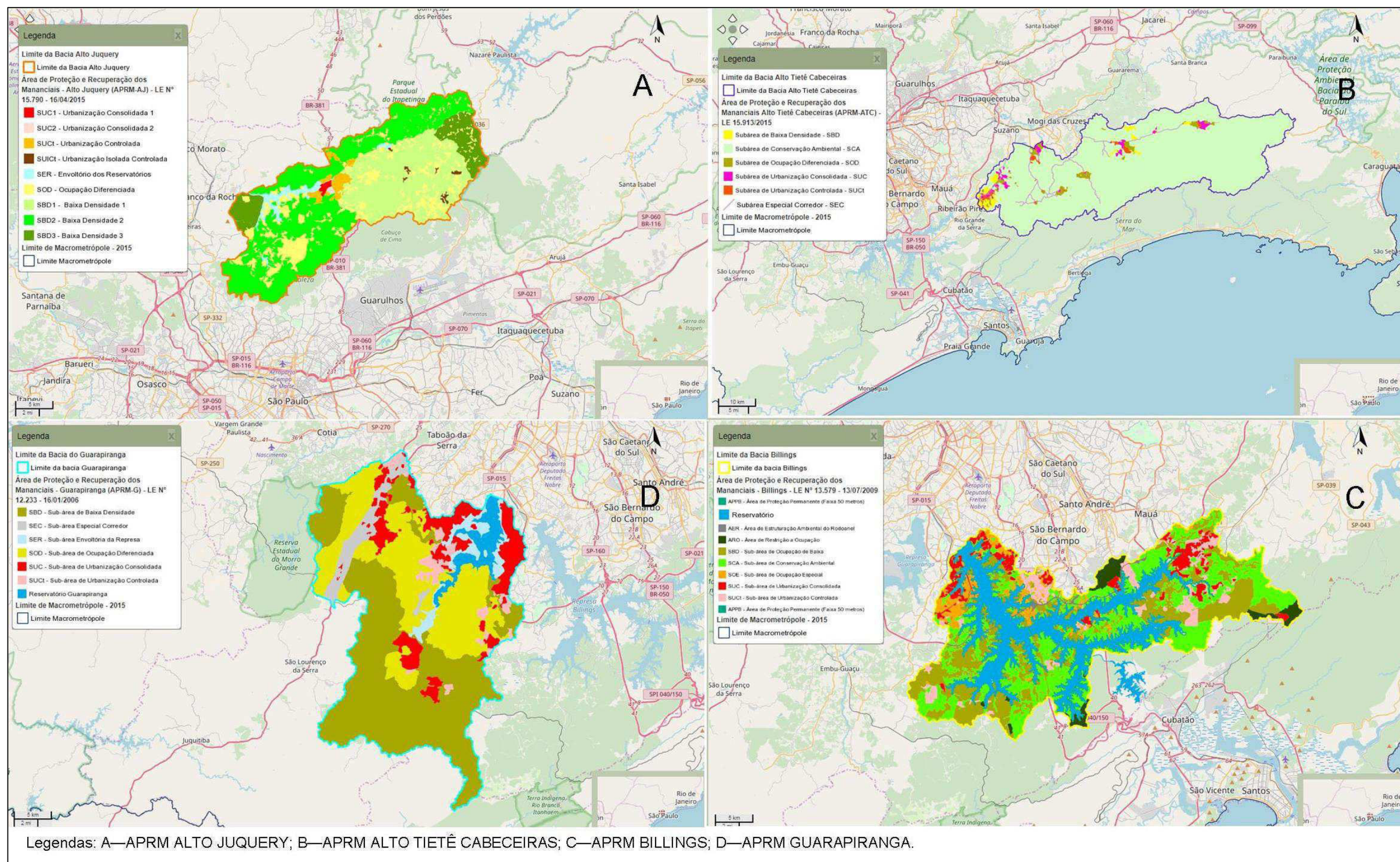
X - Programa de Investimento Anual e Plurianual.”

A formatação dos PDPA's depende muito do estágio em que a implantação da APRM se encontra, as perspectivas de criação da lei específica, a síntese das reuniões com os municípios para elaboração do documento e formas de tratativas em

casos onde há divisão política para tratar questões de bacia hidrográfica com dois subcomitês de bacias hidrográficas. (DRENATEC, 2007)

Os mananciais com os maiores conflitos ambientais paulistas estão localizados na RMSP, conforme Figura 1, o que demandou evolução na elaboração dos PDPA's de forma a se adaptar a diversas unidades de estudos de diferentes áreas, densidade populacional, preservação ambiental, riscos geológicos e hidrológicos. (HENRIQUE et al., 2017)

Figura 1 - Mananciais de maiores conflitos na RMSP



Fonte: Adaptado de Datageo (2018)

A Figura 1, apresenta mananciais da RMSP e seus zoneamento no uso da terra, onde a figura 1A corresponde à APRM Alto Juquery, a figura 1B à APRM Alto Tietê Cabeceiras, 1C APRM Billings e 1D APRM Guarapiranga.

Os mananciais do Alto Juquery, Tietê Cabeceiras, Billings e Guarapiranga possuem leis específicas para sua gestão dos recursos hídricos e uso e cobertura da terra.

O PDPA do manancial do alto curso do rio Santo Anastácio diferenciou-se dos demais da RMSP na sua elaboração por apresentar de forma explícita a colaboração de pesquisadores em níveis de mestrado e doutorado na caracterização da bacia hidrográfica. (KMA, 2012)

Na Tabela 1 são caracterizados alguns mananciais da RMSP e o manancial do alto curso do rio Santo Anastácio em termos populacionais, ocupação irregular e deficiências de serviços de saneamento.

Tabela 1 - Caracterização dos mananciais da RMSP e do manancial do alto curso do rio Santo Anastácio em termos populacionais, ocupação e serviços de saneamento

Manancial	Área (km <sup>2</sup> )	População total no manancial	Densidade populacional (hab./km <sup>2</sup> )	Áreas de ocupação irregular	Áreas com deficiência em saneamento básico (km <sup>2</sup> )
<b>Guarapiranga</b>	638,96	883309	1382,48	49,17	19,60
<b>Billings</b>	582,83	944798	1621,05	36,84	17,30
<b>Alto Juquery</b>	366,91	68233	185,97	12,90	3,11
<b>Alto Tietê Cabeceiras</b>	1258,57	130575	103,75	16,56	1,98
<b>Jaguari</b>	1308,49	98382	75,19	8,31	0,34
<b>Guaió</b>	64,37	48776	757,74	1,07	1,84
<b>Capivari-Monos</b>	146,27	3931	26,87	3,33	...
<b>Alto Juquiá</b>	948,51	42404	44,71	0,47	...
<b>Cabuçu</b>	23,74	0	0,00	...	...
<b>Cotia</b>	105,98	0	0,00	...	...
<b>Tanque Grande</b>	7,79	294	37,74	...	...
<b>Manancial do alto curso do rio Santo Anastácio</b>	197,70	31883	161,27	...	...

Fonte: Adaptado de Henrique et al. (2017); KMA (2012)

Conforme a Tabela 1, em termos de área de bacia hidrográfica, o manancial do alto curso do rio Santo Anastácio equipara-se aos mananciais Alto Juquery, Capivari

Monos e Cotia. A população aproxima-se do encontrado nos mananciais Guaió e Alto Juquiá e, no entanto, a densidade populacional se assemelha ao Alto Juquery.

Excluindo os casos dos reservatórios Cabuçu e Cotia, pela ausência representativa de população, o manancial Tanque Grande é o único com características semelhantes ao manancial do alto curso do rio Santo Anastácio, nos registros de área de ocupação irregular e déficit de serviços de saneamento.

A particularidade de cada manancial na questão de combate ao avanço urbano define as diferenças como este assunto é abordado, mas em geral é tratado como zoneamento com terminação proposta pela lei de mananciais como: Área de Restrição à Ocupação - ARO; Área de Recuperação Ambiental - ARA; Área de Ocupação Dirigida – AOD. (SÃO PAULO, 2009)

Na maioria dos PDPA's, o modelo MQUAL é o instrumento auxiliar de previsão de cenários e prognóstico da avaliação das cargas poluidoras na bacia hidrográfica. (SÃO PAULO, 2006;2010; COBRAPE, 2010)

Na APRM Alto Juquiá a estimativa da carga afluyente foi através do modelo QUAL-UFMG e a carga admissível do reservatório foi obtida por métodos de diversos autores: Vollenweider (1968), Larsen e Mercier (1973), Salas e Martino (1991) e o método simplificado de Salas e Martino (2001). Tendo como meta manter a carga do manancial abaixo da carga admissível para a tratabilidade em uma estação de tratamento de água. (COBRAPE, 2016)

A inclusão do PDPA no Plano Estadual de Recursos Hídricos – PERH dá – se com a aprovação pelo Conselho Estadual de Recursos Hídricos – CRH e primeiramente pelo Comitê de Bacia Hidrográfica - CBH, onde alinha – seu conteúdo técnico à discussão do enquadramento dos corpos hídricos correlacionados ao uso e cobertura da terra através da modelagem matemática. (COBRAPE, 2006)

### *2.2.2 Modelo de correlação entre uso e cobertura da terra e a qualidade da água*

Os conceitos de modelos matemáticos segundo Lee (1973, apud VON SPERLING, 2007) são: a) uma representação da realidade; b) uma tradução simplificada e generalizada do mundo real; c) A redução de uma variedade complexa a um nível que se pode entender e representar.

O advento da computação nas décadas seguintes ampliou a potencialidade de visualização de cenários através de modelagem de qualidade de água nas bacias hidrográficas, de tal forma que se tornou possível mensurar com maior precisão custos de mitigação economicamente viáveis. (THOMANN; SOBEL, 1964)

A confiabilidade em modelos matemáticos para suporte na decisão do enquadramento de mananciais está atrelada ao impacto econômico e social que é gerado na bacia hidrográfica devido às mudanças de cultura na ocupação da terra, na redução de cargas oriundas de poluição difusa e outras medidas como fiscalização, monitoramento etc. (PINHEIRO et al., 2013)

Além do conhecimento dos conceitos de todas as variáveis que ocorrem na geração de cargas difusas para a aplicação dos modelos, é importante um monitoramento extenso, confiabilidade dos dados analíticos, medição de vazão do rio no ponto e horário de coleta, prática esta que vem sendo adotada nos últimos relatórios apresentados pela CETESB. (CETESB, 2016)

Os prognósticos alcançados com a modelagem matemática tem considerado três panoramas para análise e discussões nos CBH com o intuito de orientar um eventual processo de enquadramento:

I – Um panorama onde as condições de uso e ocupação da terra, as infraestruturas de saneamento permanecem constantes;

II – Um cenário tendencial com projeção de 5 a 10 anos onde é mantido a proporção de crescimento populacional e infraestrutura;

III – e uma projeção com investimentos e ações previstas em programas existentes na bacia hidrográfica, melhorias no sistema de saneamento e manejo do solo com fins de atender a redução na geração de cargas poluentes. (CALMON et al., 2016)

Dentre os modelos, o mais utilizado no Estado de São Paulo é o MQUAL nas versões 1.0 e 2.0, cuja primeira versão em 1998 deu-se por intermédio do Programa de Saneamento Ambiental da Bacia Hidrográfica do Guarapiranga, tornando-se posteriormente um dos principais instrumentos dos PDPA's e das Leis Específicas voltadas para a produção de água nos mananciais. (HAUPT, 2009; SÃO PAULO, 2010; COBRAPE, 2016)

O MQUAL tem sido difundido principalmente nos mananciais do Estado de São Paulo com maior destaque na bacia hidrográfica do Alto Tietê, sendo as represas



Guarapiranga e Billings os casos de maior histórico de uso em virtude de sua peculiaridade decorrente de ocupação intensa e desordenada com impactos relevantes na qualidade da água. (IMAGIIRE et al., 2017)

O uso do MQUAL, seguindo as premissas de definir a metodologia do uso de concentração e vazão, adequação dos coeficientes de exportação permitiu o cálculo e controle das cargas de fósforo afluente ao reservatório discriminado por bacia hidrográfica e por município nos PDPA's onde foi utilizado. (SÃO PAULO, 2010; IPT, 2014)

O produto gerado pelo modelo MQUAL oferece diretriz para elaboração de novas políticas de uso e cobertura da terra de modo a identificar o impacto na qualidade da água, direciona as análises de licenciamento de empreendimentos visando o enquadramento do manancial pelo cumprimento de metas intermediárias. (COBRAPE, 2010)

O modelo aplicado nos PDPA's das APRM's de Alto Juquery, Alto Tietê-Cabeceiras, Billings, Guarapiranga, Guaió, Jaguary e Santo Anastácio foi o MQUAL, ideal para avaliar a qualidade da água em bacias hidrográficas em função do uso e ocupação da terra. (IPT, 2008;2014; COBRAPE, 2010;2016)

Segundo Carolino (2015) o modelo de correlação entre a qualidade da água e o uso e cobertura da terra – MQUAL foi a base teórica de todo o processo de gestão da bacia hidrográfica do Guarapiranga e o início do processo de minimização de conflitos não previstos na legislação da década de 1970. (COBRAPE, 2006)

O MQUAL foi desenvolvido com uma estrutura que permite o melhoramento contínuo após a aquisição de novas informações, pois vai além da metodologia simplificada de unidade de carga e congrega aspectos dos mecanismos de transporte de cargas de poluição difusa. (HAUPT, 2009)

Desde sua concepção original é constituído por três módulos: 1) Geração de cargas de poluentes associados à fontes pontuais e difusas, sendo estas últimas obtidas através de coeficientes de exportação associado à tipologia do uso e cobertura da terra; 2) Simulação de abatimento de carga dos principais tributários por meio do modelo SIMOX-III cujo conceito está ligado ao modelo de Streeter-Phelps; 3) Simulação de abatimento de cargas nos reservatórios com o uso do modelo HAR03. (COBRAPE, 2010)

O módulo I: soma as cargas difusas e pontuais resultante dos produtos das áreas de cada categoria de uso e cobertura da terra pelos respectivos coeficientes de exportação. A seguir temo a equação 1 que dá suporte ao modelo de geração de cargas difusas no modo seco do MQUAL 2.0:

$$W_{tu} = [(S_i \cdot A_i \cdot C_i) + (S_j \cdot P_j \cdot e_j)] \dots \dots \dots (1)$$

Onde:

$W_{tu}$  = carga anual em tempo seco em kg/ano

$f_t$  – coeficiente de transporte na sub-bacia hidrográfica;

$A_i$  – é a área ocupada por diferentes categorias de uso e cobertura da terra em  $km^2$ ;

$C_i$  – é o coeficiente de exportação de cargas difusas de diferentes categoria de uso e cobertura da terra ( $kg/km^2.dia$ );

$P_j$  – população urbana residente na sub-bacia hidrográfica em situação diversa de infraestrutura sanitária ambiental;

$e_j$  – é o coeficiente de exportação de esgotos gerados por população em situação diversa de infraestrutura sanitária ambiental ( $kg/hab.dia$ );

$S_i$  e  $S_j$  – representam as somatórias das cargas nas diversas categorias presentes na bacia hidrográfica.

Este trabalho tratará do módulo I de geração de cargas do modelo MQUAL e não tratará dos demais módulos que compõe o modelo: o modelo SIMON e o modelo HAR03.

O modelo SIMON III (Dissolved oxygenium simulation model), parte integrante do módulo II do MQUAL, é unidimensional e determinístico e ideal para estimativa de oxigênio dissolvido - OD, Demanda Bioquímica de Oxigênio -  $DBO_{5,20}$ , bactérias, nitrogênio e fósforo e não será utilizado neste trabalho pois o cálculo de cargas pontuais não é objeto deste estudo.

O HAR03 utilizado no terceiro módulo do MQUAL, segundo Rocha e Costa (2015) contemplam o transporte advectivo e dispersivo em lagos e reservatórios utilizando um sistema ortogonal de segmentação e também não será tratado neste assunto devido a particularidade do manancial do alto curso do rio Santo Anastácio e o desvio de parte de seus afluentes para jusante do reservatório.

O modelo MQUAL 2.0, muito utilizado para cenários de tempo seco, também permite seu uso para estudo em tempos úmidos, como estudado por Castro (2010)

ao utilizar fatores de redução de carga na Billings para cenários distintos com 20% e 70% em relação aos valores de tempo seco e chuvoso na simulação de situações de melhorias na infraestrutura urbanística.

Ao longo do tempo o MQUAL tem-se adaptado à realidade de cada bacia hidrográfica e essas adequações gerou diversos modelos a partir da concepção original chamada de MQUAL 1.0 utilizada no PDPA do Guarapiranga. As versões adaptadas foram: MQUAL 2.0, MQUAL 2.aj, MQUAL 1.5, MQUAL 1.6G, MQUAL 2.5J, MQUAL – Alto Juquery, MQUAL 2.6 – Guaió, MQUAL SPAT, MQUAL – PDPA ATC. (COBRAPE, 2006; IPT, 2008)

A versão 1.0 de 1997 e a versão 2.0 desenvolvida em 1998 diferem entre si principalmente pela inclusão de estimativa de carga associada aos eventos de chuva, que quase não é utilizado, pois os gestores e técnicos tem trabalhado mais no modo tempo seco. A versão 2.aj foi desenvolvida em 1998 para o estudo de várzea e versão 1.6 de 2006 tem utilizado a interface com a tecnologia de Sistemas de Informações Geográficas – GIS. (SÃO PAULO, 2010)

A interface com a tecnologia GIS fornece indicadores importantes para a tomada de decisão quanto ao uso da água para abastecimento com base em quatro parâmetros passíveis de serem obtidos, tais como a quantidade hídrica disponível, demanda hídrica, qualidade hídrica dos corpos d'água e as delimitações do uso e ocupação da terra. (FRANCISCO; CARVALHO, 2008)

A Tabela 2 a seguir apresenta a variação dos coeficientes de carga de exportação por categoria de uso e cobertura da terra, infraestrutura de saneamento básico e densidade populacional.

Tabela 2 - Comparação de coeficiente de fósforo nas principais versões do MQUAL

Categories	Unidade	MQUAL 1.0	MQUAL 2.0	MQUAL Jaguari	MQUAL Juquery	MQUAL Guaió	MQUAL SPAT*
<b>Atividade Agrícola</b>	kg/km <sup>2</sup> .dia	0,34600	0,06600	0,06600	0,01000	0,02650	0,09230
<b>Reflorestamento</b>	kg/km <sup>2</sup> .dia	0,03910	0,00200	0,00200	0,00200	0,00750	0,02200
<b>Mata/Capoeirão</b>	kg/km <sup>2</sup> .dia	0,03910	0,00200	0,00200	0,00200	0,00750	0,02590
<b>Capoeira/Campo</b>	kg/km <sup>2</sup> .dia	0,02790	0,00100	0,00100	0,00300	0,00530	0,01200
<b>Chácaras</b>	kg/km <sup>2</sup> .dia	0,05020	0,00500	0,00500	0,00400	0,00190	0,08440
<b>Áreas Urbanas SPAT</b>	kg/km <sup>2</sup> .dia	...	...	...	...	...	0,11280
<b>Áreas Urbanas Padrão Superior</b>	kg/km <sup>2</sup> .dia	0,03380	0,13600	0,13600	0,10000	0,05440	0,13600
<b>Áreas Urbanas Padrão Inferior</b>	kg/km <sup>2</sup> .dia	0,13530	0,27200	0,27200	0,20000	0,10880	0,27190
<b>Áreas de Uso Industrial e Comercial</b>	kg/km <sup>2</sup> .dia	0,08120	0,19000	0,19000	0,15000	0,07610	0,19040
<b>População com lançamento direto</b>	kg/hab.dia	0,00093	0,00151	0,00151	0,00259	0,00101	0,00151
<b>População com sistemas individuais - Alta Densidade</b>	kg/hab.dia	0,00079	0,00121	0,00121	0,00050	0,00081	0,00121
<b>População com sistemas individuais - Baixa densidade</b>	kg/hab.dia	0,00060	0,00076	0,00076	0,00010	0,00050	0,00076

Fonte: Adaptado de Imagiire et al. (2017).

\*SPAT= Sistema Produtor Alto Tietê.

A Tabela 2 mostra que a principal alteração nos pesos dos coeficientes da versão MQUAL 1.0 para o MQUAL 2.0 tem sido que esta última, utilizada na Billings, além da já citada adaptação para uso no modo seco, gera uma carga difusa maior em área de uso urbano quando comparada ao uso rural e florestas.

No uso da versão MQUAL 1.0 no Guarapiranga que pautou a carga meta estipulada pela Lei Específica nº 12.233, de 16 de janeiro de 2006, obrigando a nova versão ser utilizada nos estudos posteriores como informação complementar, pois o estabelecimento de metas a partir de cenários do MQUAL 1.0 é incompatível com ajustes de melhorias em novas versões, ocorrendo variações nos resultados. (IMAGIIRE et al., 2017)

O modelo MQUAL Jaguari se adaptou bem ao modelo MQUAL 2.0 enquanto que a aplicação dos modelos nos mananciais Alto Juquery, Guaió e SPAT tiveram a

necessidade de calibrar seus coeficientes para suas realidades na dinâmica de transporte de cargas poluentes.

Observa – se a importância de se citar a versão utilizada no MQUAL devido aos valores significativos dos coeficientes geradores de carga. Segundo São Paulo (2010), independente de usar uma versão ou outra, o instrumento avaliará corretamente o impacto de um empreendimento ou ação.

Imagiire et al. (2017) analisaram a aplicação do MQUAL em diversos estudos e identificou pontos de possíveis melhorias para maior efetividade da ferramenta, entre as quais se destacam: incorporação da população rural na estimativa de geração de efluentes; estabelecimento das cargas meta com base na capacidade suporte dos reservatórios a partir de modelos específicos para esta finalidade; validação dos coeficientes quando houver atualização, em bacias hidrográficas aleatórias para verificar se os mesmos representam a totalidade da bacia hidrográfica.

Carolino (2015) descreve o modelo como muito complexo, de difícil entendimento e compreensão de modo que sua aplicabilidade operacional só possível por equipes técnicas muitas vezes raras nos órgãos municipais, sugerindo um estágio intermediário de aprendizagem enquanto o modelo não tiver aplicação plena na bacia hidrográfica.

Embora pouco usado o modo úmido presente no modelo MQUAL 2.0 foi usado para estimar cargas nas estações úmidas com monitoramento de cerca de noventa eventos de chuva, nas mesmas sub-bacias hidrográficas, obtendo concentrações típicas de diversos poluentes. (CASTRO, 2010)

Ikematsu (2014) entende que para uma melhora no desenvolvimento do modelo MQUAL a Lei Específica não deve prever metas e modelagem específica de controle, deixando isso para o PDPA que deve ser revisto a cada quatro anos.

Jesus (2006) considerando o MQUAL um modelo de regime estacionário onde a carga gerada é constante ao longo do tempo, optou em usar um modelo hidrodinâmico que considera a variação temporal das cargas poluidoras, do mesmo modo que se tem nas vazões afluentes, na operação do reservatório e nas condições meteorológicas.

Ferrara (2013) aponta que somente depois de regulamentado e ter sido a base da Lei Específica do Guarapiranga, que o MQUAL passou a ser mais utilizado, deixando ainda em aberto questões quanto à sua efetividade que depende de padrões

dinâmicos tais como a qualidade da água, índice de tratamento de esgoto e padrões de ocupação da terra.

Para que o MQUAL torne – se um modelo fiel aos acontecimentos reais é necessário uma contínua avaliação, estudos atualizados e o empenho de todos os gestores envolvidos no uso da ferramenta. (SÃO PAULO, 2010)

Deve ser entendimento de gestores que adotam a metodologia de determinação de geração de cargas de poluentes com o uso de coeficientes de exportação, que o uso desses coeficientes deve ser feito com cautela e os mesmos podem não servir como parâmetros globais. (RYDING; RAST, 1989)

Após o entendimento do modelo MQUAL entre os diversos atores na gestão das águas e com base nas informações disponibilizadas de cenários futuros, tem-se as informações para definição dos investimentos necessários para assegurar e ampliar a produção de água para o abastecimento da população. (IKEMATSU, 2014)

O cenário com investimentos possíveis pode não ser suficiente para alcançar o enquadramento desejado em determinado trecho de um rio, levando a um quarto cenário onde se estima o investimento real para atingir a classe desejada, exigindo muitas vezes uma eficiência maior de 95% da Estação de Tratamento de Esgotos - ETE. (GOMES; SIMÕES, 2014)

A projeção desses investimentos tendo o enquadramento do corpo hídrico é mais bem entendida ao dividir a bacia hidrográfica em várias sub-bacias hidrográficas, adotando a vazão mínima de referência nos cálculos das concentrações dos parâmetros utilizados, com cenários prevendo três níveis de infraestrutura de saneamento básico. (CALMON et al., 2014; COBRAPE, 2016)

Outra exigência para ter o enquadramento na pauta de discussão entre os gestores de recursos hídricos é a ampliação da rede de monitoramento da qualidade da água em pontos de amostragem que represente os diversos uso e cobertura da terra como área de atividade rural, produção de eucalipto, etc. (VALENTE; CRUZ; BAGGIOTTO, 2016)

### **3 UGRHI - 22 – PONTAL DO PARANAPANEMA**

O Pontal do Paranapanema - UGRHI-22 tem sofrido com diversas transformações do uso e cobertura da terra promovida pelo homem por décadas, resultando na diminuição das áreas de vegetação, aumento da área urbana e mudança do uso da terra da pecuária para a agricultura extensiva. (GARCIA; LEAL, 2012)

Estas transformações do uso e cobertura da terra tem alterado a quantidade e qualidade da água, de forma que foi necessário compreender a gestão das águas em bacias hidrográficas como meio de criar condições para intervir na degradação ambiental. (LEAL, 2000)

As interferências decorrentes da gestão das águas fazem apresentar problemas e conflitos, a exemplo da necessidade de proteção e preservação do manancial público das cidades de Presidente Prudente e Álvares Machado, resultando na elaboração do PDPA do manancial do alto curso do rio Santo Anastácio. (SOARES; LEAL, 2018)

O conflito gerado na necessidade de recompor matas ciliares na UGRHI-22 é evidenciado por áreas erodidas, assoreamento de rios, disposição inadequada de resíduos sólidos urbanos decorrentes do não comprometimento com a manutenção da qualidade e quantidade das águas por proprietários de terra e governo. (TROMBETA; LEAL, 2016)

Conflitos, gerados em torno de múltiplas demandas de interesse pelo uso dos recursos hídricos são debatidos em fóruns de decisão, em ambiente participativo, nos Comitês de Bacias Hidrográficas – CBH's. (JACOBI, 2005)

CBH's que contam com a apreciação da sociedade civil, com envolvimento histórico de organizações civis, de participação ampliada, engajada e qualificada, ajudam a equilibrar os diversos fatores negativos existentes na respectiva bacia hidrográfica. (IKEMATSU, 2004)

Instalado em 21 de junho de 1996, o Comitê de Bacia Hidrográfica do Pontal do Paranapanema – CBH – PP tem como atribuição orientar os gestores de diversos setores envolvidos na gestão de recursos hídricos a recuperar, proteger e desenvolver uma gestão participativa dos recursos hídricos nos 26 municípios abrangidos pela unidade hidrográfica conforme demonstrado na Figura 2:

Figura 2 - Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos – UGRHI-22.



Fonte: KMA (2012)

A Figura 2, lista os municípios que compõe a UGRHI-22, indicando os municípios cuja área abrange outras UGRHI's, casos dos municípios de Álvares Machado, Indiana, Martinópolis, Piquerobi, Presidente Prudente e Rancharia.

Dentre os principais estudos desenvolvidos na UGRHI 22 estão o Plano de Bacia Hidrográfica do Pontal do Paranapanema e o Relatório de Situação dos Recursos Hídricos, cujo conteúdo é o alicerce do Plano de Bacia Hidrográfica, instrumento de planejamento previsto na Lei das Águas.

Atualmente o CBH-PP em parceria com as instituições de ensino tem aumentando seu banco de dados sobre os diagnósticos ambientais de bacias hidrográfica, cuja disponibilidade hídrica é afetada por lançamentos industriais e



efeitos da poluição difusa oriundos da atividade agropecuária. (RODRIGUES; OSCO; RAMOS, 2017)

### **3.1 O manancial do alto curso do rio Santo Anastácio**

Mananciais ou nascentes, superficiais ou subterrâneos são fontes de abastecimento humano ou de diversos outros usos, seja recreativo ou econômico, e seu uso é função de um processo de planejamento onde é analisado a qualidade, a quantidade e o volume disponível. (BITTENCOURT; PAULA, 2014)

O manancial do alto curso do rio Santo Anastácio, faz parte da bacia hidrográfica do rio Paraná, porém, para efeito de gestão de suas águas e em função dos limites da UGRHI-22 do Estado de São Paulo, é tratado como parte da bacia do rio Paranapanema.

Possui área de 197,70 km<sup>2</sup>, limitada pelas coordenadas de quadrante 21°15'S e 51°30'W e 22°05'S e 51°16'W e volume reservado de água para abastecimento público é de 1.720.000 m<sup>3</sup>, segundo dados da Secretaria de Planejamento de Presidente Prudente enquanto que 50% do Q<sub>7,10</sub> do ponto de captação é de 264 l/s segundo o modelo de regionalização hidrológica do DAEE. (KMA, 2012)

Desde o final do século XIX, o manancial passou por vários ciclos econômicos, como a produção de café e algodão, que alteraram significativamente sua paisagem, trazendo para os dias atuais a discussão de necessidade de reflorestamento e o custo econômico dessa iniciativa. (MATOS; PIROLI, 2012)

As fragilidades ambientais na bacia hidrográfica do rio Santo Anastácio foram modificadas por ação antrópica envolvendo práticas de manejo em diversos níveis no uso e cobertura da terra. (QUARESMA, 2017)

Essas alterações físicas de seu entorno aliado ao uso e cobertura da terra e as características físico-química da água compõem a paisagem do manancial do alto curso do rio Santo Anastácio e regulam a quantidade de sedimentos e concentrações químicas que serão disponibilizadas na forma de solutos e carreadas aos cursos d'água. (GONÇALVES; ROCHA; FERREIRA, 2011)

O uso de geotecnologia na bacia hidrográfica do rio Santo Anastácio tem sido utilizado para auxiliar na interpretação mais precisa de condições ambientais e

quantificar as áreas de uso e cobertura da terra que possa contribuir para cenários adversos ao meio ambiente equilibrado. (SANTOS; ROCHA, 2014)

Esse mapeamento do uso e cobertura da terra, todas as informações fisiográficas, biológicas e socioeconômicas, segundo Taniwaki et al. (2013) possibilitam a compreensão da amplitude dos impactos causados e ações de planejamento da ocupação do solo de forma sustentáveis, a exemplo do estudo de estimativa de carga difusa na represa de Itupararanga/SP.

A diminuição de mata nativa às margens de rio, é um desses cenários adversos, de potencial piora na qualidade de água do manancial quando somado às erosões e carreamento de poluentes difusos nos pontos de maior escoamento superficial encontrados nas sub-bacias. (DIBIESO, 2013)

Além de diplomas legais de nível estadual e federal, o uso e cobertura da terra no manancial do alto curso do rio Santo Anastácio passa prioritariamente pelas decisões municipais em classificar as áreas de uso urbano ou rural.

O município de Presidente Prudente conta com a Lei Municipal 153, de 10 de janeiro de 2008, que dispõe sobre o zoneamento de uso e ocupação da terra da área urbana do Distrito Sede do município de Presidente Prudente e suas alterações. (PRESIDENTE PRUDENTE, 2008)

A legislação municipal de Presidente Prudente é apontada pelo PDPA como a mais restrita para preservação do manancial para as faixas marginais de qualquer curso d'água, desde a borda da calha do leito regular, no entorno de lagos e lagoas naturais, exceto para nascentes e dos olhos d'águas perenes, no entanto não há legislações para os demais municípios limítrofes ao manancial e cuja definição de natural ou artificial precisa ser revista. (KMA, 2012)

Além do estudo de uso e cobertura da terra e da pluviometria, outros fatores que nos fazem entender a demanda de água para atividades humanas através da qualidade da água, são as vazões, a área da bacia e o período seco antecedente ao evento da coleta de monitoramento. (KUCHINSKI et al., 2013)

Na Tabela 3 é representado a proporção e contribuição na bacia hidrográfica de cada município.

Tabela 3 - Área de contribuição e densidade populacional dos municípios integrantes da bacia hidrográfica do manancial do alto curso do rio Santo Anastácio

Municípios	Área em km <sup>2</sup> na bacia hidrográfica do manancial	% de contribuição na bacia hidrográfica do manancial	Densidade Populacional <sup>1</sup>
<b>Álvares Machado</b>	12,92	6,54	68,11
<b>Anhumas</b>	35,39	17,90	12,15
<b>Pirapozinho</b>	57,09	28,88	55,40
<b>Presidente Prudente</b>	65,29	33,02	387,58
<b>Regente Feijó</b>	27,01	13,66	72,94
<b>Total</b>	197,70	100,00	160,59

Fonte: Adaptado de Dibieso (2013)

A Tabela 3 relaciona a área proporcional pertencente a cada município no manancial do alto curso do rio Santo Anastácio e sua respectiva densidade populacional, esses dados tem sua importância, para quantificar a carga difusa presente no esgoto, que, com ou sem tratamento chega aos corpos hídricos.

Apenas o esgoto tratado do distrito de Espigão, município de Regente Feijó é lançado no manancial do alto curso do rio Santo Anastácio, enquanto que, o esgoto de Presidente Prudente é enviado por sistemas de estações elevatórias de esgoto – EEE's e tratado à jusante do reservatório. A pequena parte urbana de Pirapozinho, que compõe o manancial, tem o seu esgoto enviado e tratado na vertente paulista da bacia hidrográfica do rio Paranapanema.

Segundo Sudo (1980), o estudo sobre o rio Santo Anastácio, um pequeno afluente do rio Paraná, tem sua importância devido à localização da principal cidade do Oeste paulista e juntamente com os rios Tietê, Aguapeí, Peixe e São José dos Dourados formarem o grupo de drenagem mais importante da cuesta paulista.

Quinze por cento das propriedades rurais na bacia hidrográfica do manancial utilizam a água das cabeceiras de drenagem para uso doméstico e outros 85% optam por águas subterrâneas por julgarem que não há volume e qualidade nas águas superficiais para atendimentos de seus usos. (DIBIESO, 2013)

O enquadramento do rio neste trecho foi definido como classe 2 pelo Decreto Estadual nº 10.755, de 22 novembro de 1.977, e abrange um total de 2.209 segmentos de canais. As maiores densidades hidrográficas, juntamente com a densidade de drenagem, indicam que as sub-bacias Noite Negra, Embiri, Nascente do rio Santo

<sup>1</sup> Com base em dados do IBGE

Anastácio e Lajeadozinho apresentam maior escoamento superficial da água e conseqüentemente propensa ao desenvolvimento de erosões e carreamento de poluentes difusos ao corpo hídrico. (DIBIESO, 2013, P.93)

Há dois pontos de monitoramento de água no manancial: um privado pertencente à companhia responsável pelo abastecimento público, cujo ponto de coleta é a foz da bacia em estudo; e outro realizado pela CETESB cujo resultado dos laudos são divulgados anualmente em seu site. (CETESB, 2016)

O ponto da CETESB é chamado de STAN43 (22°12'17" S e 51°26'05" O) na nascente do manancial do alto curso do rio Santo Anastácio que desde 2014 tem fornecido dados bimestrais dos índices de qualidade da água.

Segundo CETESB (2016), os índices de qualidade da água sofrem influência de piora devido ao lançamento de cargas pontuais, pelo regime de chuvas menos intenso, diminuindo sua capacidade de diluição, deficiência no sistema de saneamento básico, carga difusa urbana e aumento das ocupações irregulares.

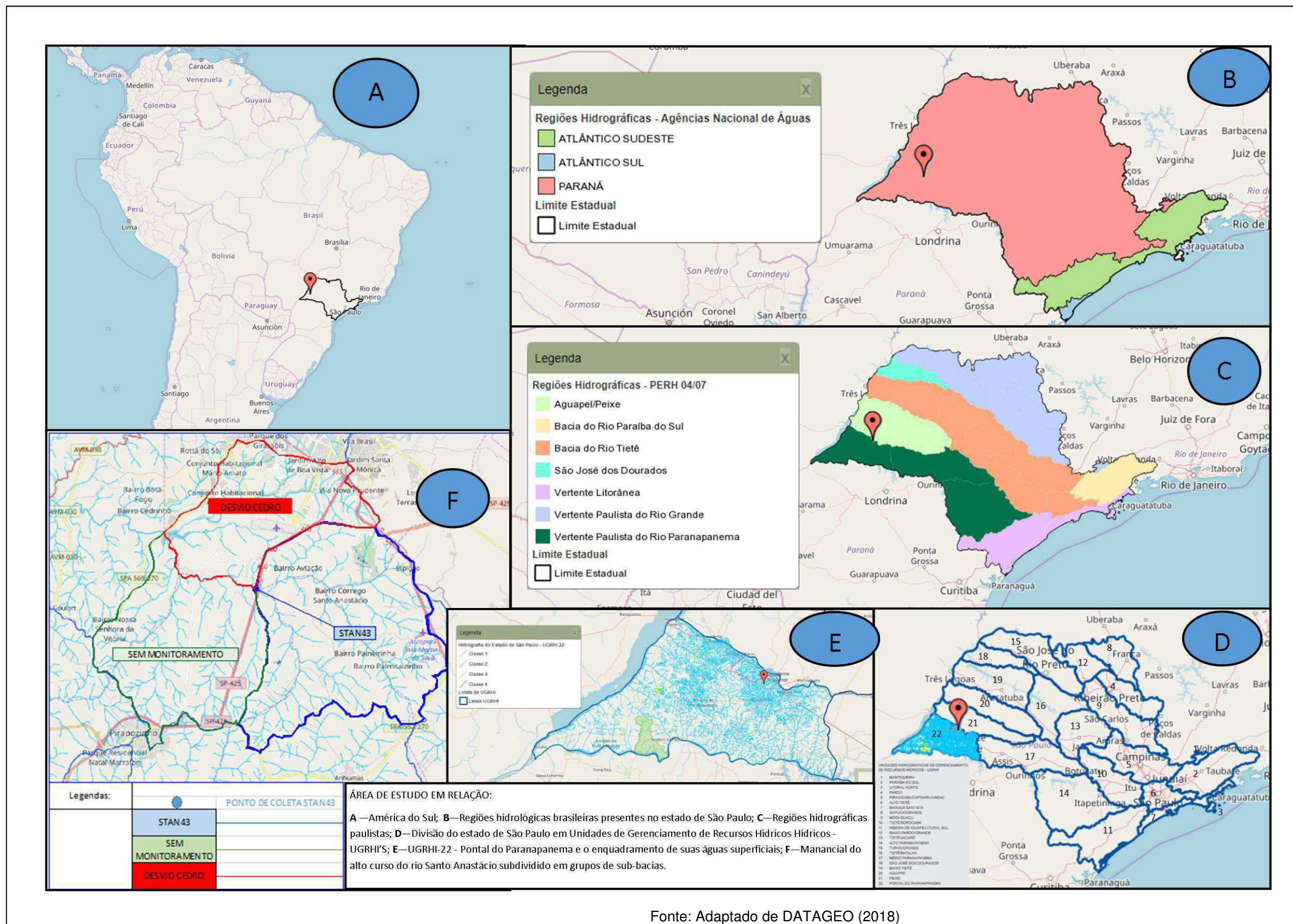
A UGRHI – 22 não apresenta problemas em relação à disponibilidade de água, seja ela subterrânea ou superficial, esse pensamento leva em consideração apenas as grandes vazões do rio Paraná e seu afluente o rio Paranapanema. (SAAD, 2013)

Segundo ANA (2010), em sua versão online, até 2015 a avaliação oferta/demanda de água de Presidente Prudente era considerada satisfatória com a estrutura de manancial existente, ou seja, Rio Santo Anastácio, Balneário da Amizade e Rio do Peixe.

Os municípios de Álvares Machado, Anhumas, Pirapozinho e Regente Feijó, segundo a mesma agência, com dados de 2015, requerem ampliação do sistema de abastecimento. Porém, devido à proximidade dos sistemas sede, Álvares Machado é o único município além de Presidente Prudente abastecido parcialmente pelo Rio Santo Anastácio.

Na figura 3, é possível ter um amplo entendimento da localização do manancial do alto curso do rio Santo Anastácio e sua posição quanto aos sistemas de gestão e regulação de seus recursos hídricos.

Figura 3 - Localização do manancial do alto curso do rio Santo Anastácio e sua posição quanto à gestão e regulação de recursos hídricos no estado de São Paulo.



Fonte: Adaptado de DATAGEO (2018)

A Figura 3 apresenta seis situações de localização em termos de gestão e regulação dos recursos hídricos que deve ser abordado para um bom entendimento do escopo de estudo.

Na Figura 3A verifica-se o ponto de estudo inserido na América do Sul e no Estado de São Paulo indicando indiretamente que os diplomas legais que regem a gestão e regulação dos recursos hídrico neste local são a PNRH e a PERH do estado de São Paulo.

A Figura 3B, dentro da PNRH, indica que boa parte da faixa litorânea paulista está incluída na região hidrográfica Atlântico Sudeste representada na cor verde, uma pequena porção do litoral sul, de cor azul, está inserido na região hidrográfica Atlântico Sul e a maior parte do Estado, representada em tom de laranja, pertence à região hidrográfica do Paraná, onde no extremo oeste encontra-se a área de pesquisa.

A Figura 3C, mostra o Estado de São Paulo subdividido em regiões hidrográficas conforme a PERH 04/07, onde ao norte em tom azul encontra-se a vertente paulista do rio Grande. Abaixo desta, ao oeste encontra-se a bacia hidrográfica do rio São José dos Dourados, no tom verde água.

Na região central do estado, em cor laranja, têm-se a bacia hidrográfica do rio Tietê. Em tom amarelo, na região nordeste do estado têm se a bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul. A vertente litorânea em cor lilás. No oeste do estado, na cor verde clara têm-se as bacias hidrográficas dos rios Aguapeí e Peixe.

E por fim, na região sudoeste, em tom verde escuro, encontra-se a vertente paulista do rio Paranapanema, onde no extremo oeste encontra-se a área de pesquisa.

Como visto na Figura 3D, com exceção das regiões hidrográficas dos rios Paraíba do Sul, São José dos Dourados e “Aguapeí/Peixe”, as demais, devido às extensas áreas com particularidades econômicas diferenciadas, foram divididas em 22 Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos-UGRHI's.

A exemplo da vertente litorânea, da vertente paulista do Rio Grande e da bacia hidrográfica do rio Tietê: a vertente do rio Paranapanema também foi subdividido pelas UGRHI's: 14 - Alto Paranapanema, 17 - Médio Paranapanema e 22 - Pontal do Paranapanema.

A Figura 3E, destaca a região hidrográfica da UGRHI 22, delimitada ao norte com a UGRHI 21 – Peixe, ao leste com a UGRHI17 – Médio Paranapanema, ao sul com a vertente paranaense do rio Paranapanema e ao oeste com a vertente sul-matogrossense do rio Paraná.

Na porção norte da UGRHI 22 entre os municípios de Regente Feijó e Anhumas nasce o rio Santo Anastácio, cujas nascentes do rio serve de manancial de abastecimento público para os municípios de Presidente Prudente e Álvares Machado.

Na Figura 3F, demonstra toda a área de contribuição das nascentes do rio Santo Anastácio até a represa de abastecimento público em Presidente Prudente, formando o manancial do alto curso do rio Santo Anastácio.

A malha rodoviária pavimentada, representada pelas rodovias Raposo Tavares, Júlio Budiski e Assis Chateaubriand, conta com alto fluxo de veículos utilizados para o acesso aos estados de Mato Grosso do Sul e Paraná.

Ao Norte confronta-se com a expansão urbana da sede do município de Presidente Prudente e ao extremo leste integra toda área urbana do pequeno distrito de Espigão, município de Regente Feijó.

As áreas rurais que integram a bacia hidrográfica estão localizadas ao sul nos municípios de Anhumas e Pirapozinho e a oeste com Álvares Machado.

A divisão hidrográfica é apresentada na Figura 4.

Figura 4 - Divisão do manancial do alto curso do rio Santo Anastácio em sub-bacias e unidades hidrológicas.



Fonte: Adaptado de Dibieso (2013)



A Figura 4 subdivide o manancial do alto curso do rio Santo Anastácio em 18 unidades, sendo 11 sub-bacias e sete unidades hidrográficas e complementa as informações da subfigura 3F.

As sub-bacias que compõem o grupo chamado de STAN43, neste estudo, são: Olga, Embiri, Nascentes do rio Santo Anastácio e Noite Negra, juntamente com as unidades hidrográficas II, III, IV e V.

As sub-bacias que compõem o grupo chamado de Sem Monitoramento, neste estudo, são: São Sebastião, Lajeadoinho, Sub-Bacia Hidrográfica I, Araci e Pindaíba, juntamente com a unidade hidrográfica VI.

As sub-bacias que compõem o grupo chamado de Desvio Cedro, neste estudo, são: Cedro e Cedrinho, juntamente com as unidades hidrográficas I e VII, no entanto, apenas o córrego do Cedro é passível de potencial desvio de suas águas à jusante da represa.

## 4 METODOLOGIA

Para o entendimento do tema estudado e conseqüentemente atingir os objetivos propostos desta dissertação, optou-se na realização de pesquisa bibliográfica que abordasse, da esfera global para local, a Política Nacional de Recursos Hídricos, a Política Estadual de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo, a Lei de Proteção aos Mananciais de Interesse Regional, o Plano de Desenvolvimento e Proteção Ambiental – PDPA, o modelo de correlação entre o uso e cobertura da terra e a qualidade da água – MQUAL 2.0 e o manancial do alto curso do rio Santo Anastácio inserido na UGRHI-22 – Pontal do Paranapanema.

O modelo de disposição das informações metodológicas apresentadas segue a linha desenvolvida por Dibieso (2013), objetivando a compreensão de sua dinâmica, interdependência e dos processos decorrentes destas relações.

O mapeamento do uso e cobertura da terra apresentado neste trabalho foi elaborado e compilado nas escalas de 1:35.000, as imagens orbitais obtidas foram: do Satélite Landsat 5, sensor Thematic Mapper, resolução espacial 30m x 30m, datadas de 23/05/1986, 21/07/1996, 28/04/2006 e órbita ponto 222-75. As imagens referência para o uso do modelo MQUAL 2.0 foram obtidas pelo satélite Landsat 8, sensor Operational Land Imager, resolução 30m x 30m, datada de 07/04/2016 e órbita ponto 222-75.

No entanto, vale ressaltar que a resolução 30m x 30m das imagens obtidas não são adequadas para um mapa de escala 1:35.000, porém, as imagens utilizadas eram as disponíveis para a realização deste estudo.

Para a elaboração das cartas foi utilizado o software QGIS, versão 2.18 Las Palmas, com dados vetoriais disponibilizados pelo grupo de pesquisa de Gestão Ambiental e Dinâmica Socioespacial – GADIS, da FCT UNESP de Presidente Prudente/SP.

O conteúdo trabalhado na caracterização de dados de importância significativa na avaliação do uso do modelo de correlação entre o uso e cobertura da terra e a qualidade da água – MQUAL 2.0, encontra-se detalhado no Quadro 1.

Quadro 1 - Concepção metodológica da análise da bacia hidrográfica e da qualidade da água como subsídio ao planejamento ambiental e à gestão dos recursos hídricos da bacia hidrográfica do manancial do alto curso do rio Santo Anastácio

FASE	ETAPAS	ATIVIDADES ESPECÍFICAS
1 - Organização	Desenvolvimento teórico e metodológico	Levantamento bibliográfico sobre o referencial teórico e metodológico, em especial, sobre os temas: Política Nacional de Recursos Hídricos, Política Estadual de Recursos Hídricos, Lei de Proteção aos Mananciais de Interesse Regional, Plano de Desenvolvimento e Proteção Ambiental - PDPA, Modelo de correlação entre o uso e cobertura da terra e manancial do alto curso do rio Santo Anastácio inserido na UGRHI-22 - Pontal do Paranapanema.
2 - Obtenção de dados secundários	Geração de dados secundários, de caracterização do manancial do alto curso do rio Santo Anastácio	A caracterização da área de estudo desde a sua forma de gestão e regulação dos recursos hídricos dentro do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos – SINGRH, suas características climatológicas (uso das EQUAÇÕES 2, 3 e 4), regionalização hidrológica, qualidade da água e histórico de evolução do uso e cobertura da terra nos anos de 1986 (um ano após ampliação da represa de abastecimento público), 1996, 2006 e 2016 (ano de monitoramento qualitativo e quantitativo da água do manancial) e, que fornecem elementos necessários para obtenção dos dados de entrada no modelo de correlação entre uso e cobertura da terra e qualidade da água.
3 - Resultados do ano base de 2016	Obtenção de dados de geração de carga	Quantificação das cargas diárias dos poluentes fósforo total, nitrogênio total e DBO <sub>5,20</sub> em kg, com precisão de duas casas decimais, e quantificação das respectivas concentrações em mg/L com precisão de três casas decimais utilizando a EQUAÇÃO 1. Essa quantificação será feita em três regiões do manancial do alto curso do rio Santo Anastácio. A divisão dessas regiões considerou um grupo de sub-bacias monitoradas pelo ponto STAN43 da CETESB, um segundo grupo de sub-bacias, à jusante do primeiro grupo, na área sul do manancial do alto curso do rio Santo Anastácio denominado de Sem Monitoramento e cujas vazões de água alimentam integralmente o reservatório de abastecimento e por fim, um terceiro grupo, à jusante do primeiro grupo, denominado de Desvio de Cedro, cuja parte de suas vazões são desviadas à jusante do reservatório.
4 - Cenários	Simulações de cenários induzidos e tendenciais de geração de cargas	Seguindo o mesmo padrão de apresentação de dados do item anterior, a quantificação de cargas poluentes, com o uso do modelo MQUAL 2.0, considerará os seguintes cenários: Cenário 1 - Ano de 2016 - simulando condições hipotéticas sem sistema de esgotamento sanitário; Cenário 2 - Ano de 2026 - simulando condição induzida na qual a área de mata nativa é recuperada aos níveis do ano de 2006, a urbanização é estabilizada e há um equilíbrio quantitativo entre as áreas de campo e agrícola; Cenário 3 - Ano de 2026 - é mantido a progressão aritmética tendencial das áreas urbanizadas de padrão superior, industriais e comerciais, chácaras e movimento de terra, mata e reflorestamento, campo e agrícola; Cenário 4 - Ano de 2036 - simulando condição induzida na qual a área de mata nativa é recuperada aos níveis do ano de 1986, a urbanização é estabilizada e há um equilíbrio quantitativo entre as áreas de campo e agrícola; Cenário 5 - Ano de 2036 - é mantido a progressão aritmética tendencial das áreas urbanizadas de padrão superior, industriais e comerciais, chácaras e movimento de terra, mata e reflorestamento, campo e agrícola;
5 - Considerações finais	Considerações finais	Considerou-se diversos conceitos teóricos no decorrer da dissertação para a elaboração de recomendações de estudos complementares.

Fonte: Elaborado pelo Autor (2018)

#### 4.1 Roteiro Metodológico

Com o intuito de ampliar o entendimento da proposta de trabalho, detalha-se a seguir as etapas citadas anteriormente.

O roteiro metodológico inicia com a abordagem sobre a extensa área territorial do Brasil e a problemática em gerir os recursos hídricos em ambientes de disponibilidade hídrica diversas, culminando na criação da Política Nacional de Recursos Hídricos – PNRH e na Agência Nacional de Águas – ANA, cuja função em especial é orientar as entidades envolvidas na gestão dos recursos hídricos na implantação dos instrumentos da PNRH, com ênfase ao enquadramento dos recursos hídricos segundo seus usos preponderantes, associando conceitos de qualidade e quantidade da água de forma integrada.

Em seguida, o cenário abordado é o Estado de São Paulo, faz-se referência aos números econômicos e de sua importância no cenário nacional, para então relacionar ao custo da exploração dos recursos hídricos e um breve histórico das tratativas governamentais desde o período democrático de Juscelino Kubitschek e o milagre econômico, passando pela gestão centralizada nos governos militares até a política descentralizada e participativa, onde criou-se a Lei de Proteção aos Mananciais de Interesse Regional alinhados às Política Estadual de Recursos Hídricos e Política Nacional de Recursos Hídricos.

A abordagem em torno do Plano de Desenvolvimento e Proteção Ambiental – PDPA é a descrição da sua importância como instrumento de gestão de Áreas de Proteção de Mananciais – APRM, de seu conteúdo mínimo, sua comparação com o instrumento de enquadramento previsto na PNRH que faz a ligação com a PNMA, enquanto que o PDPA, além desta ligação, também relaciona outras políticas de desenvolvimento regional, como o saneamento e o uso e cobertura da terra.

É apresentado o modelo MQUAL, antecedido por conceitos teóricos de propagação de poluição difusa por fenômenos hidrológicos, como a precipitação, infiltração, evapotranspiração e escoamento superficial, para relacioná-los com os coeficientes de transporte de carga previsto nas diversas versões do modelo, a exemplo da versão utilizada neste trabalho, MQUAL 2.0.

O conhecimento da área de estudo desde a sua forma de gestão e regulação dos recursos hídricos dentro do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos

Hídricos – SINGRH e suas características climatológicas, regionalização hidrológica, uso e cobertura da terra e qualidade da água, que fornecem elementos necessários para obtenção dos dados de entrada no modelo de correlação entre uso e cobertura da terra e qualidade da água.

O manancial do alto curso do rio Santo Anastácio foi subdividido em três regiões a saber, com base no ponto de coleta STAN43:

- à montante do ponto de coleta, denominado de grupo de sub-bacias hidrográficas contribuintes do “STAN43”;
- a porção sul, à jusante do ponto “STAN43”, cujas sub-bacias hidrográficas contribuem integralmente com suas vazões no reservatório de abastecimento público, foi denominada de “Sem Monitoramento”;
- a porção norte, à jusante do ponto STAN43, cuja contribuição de vazões de suas sub-bacias hidrográficas ao reservatório, além de não serem monitoradas, podem ser alteradas, devido a existência de infraestrutura de desvio de água da sub-bacia hidrográfica do Cedro para à jusante do reservatório. Esta região foi denominada de “Desvio Cedro”.

## **4.2 Obtenção de dados secundários**

A segunda etapa consistiu na caracterização da bacia hidrográfica através da determinação do balanço hídrico e regionalização hidrológica das sub-bacias do manancial, cuja finalidade foi obter os períodos secos e as vazões mínimas das sub-bacias hidrográficas.

### *4.2.1 Determinação do balanço hídrico*

Para o cálculo do balanço hídrico, segundo os conceitos de Thornthwaite & Mather (1955), os dados de entrada são representados série histórica de precipitação e os dados de saída pela série histórica da evapotranspiração. (AMORIM NETO, 1989)

A evapotranspiração é a forma pela qual a água da superfície terrestre passa para a atmosfera no estado de vapor, afetando a disponibilidade de água no perfil do

solo em áreas agrícolas ou de vegetação natural e em reservatórios superficiais. (PINTO et al., 1976)

A medição de precipitação, definida como a quantidade de chuva caída e acumulada sobre uma superfície plana e impermeável pela altura da água desta mesma superfície, pode ser realizada por: pluviômetros, pluviógrafos, radares meteorológicos e estimativas a partir de imagens de satélites. (GRIBBIN, 2013)

A série mensal da evapotranspiração é obtida através da série histórica mensal de temperatura média do ar superficial (**T**), do índice térmico mensal (**i**) calculado pela fórmula:

$$i = (T/5)^{1,514} \dots\dots\dots(2)$$

duração do dia em horas – **N**, número de dias no mês – **ND**, evapotranspiração potencial, calculada pela fórmula:

$$ETP = 16 \cdot (10 \cdot T / i) \dots\dots\dots(3)$$

A evapotranspiração – **ETR** é dada pela fórmula:

$$ETR = N \cdot ND \cdot ETP \dots\dots\dots(4)$$

em mm/mês.

A base de dados utilizada foi a plataforma GIOVANNI/NASA para obtenção de série histórica de temperatura do ar superficial em graus Celsius mensal no período de janeiro de 1996 a dezembro de 2016 da base MERRA2 Model M2TMNXFLX v5.12.4, para o quadrante: 51,52°W; 22,29°S; 51,33°; 22,13°S equivalente à bacia do manancial do alto curso do rio Santo Anastácio.

A mesma plataforma GIOVANNI/NASA, foi utilizada para obtenção dos dados da série histórica de precipitação em mm/dia no período de 01 de janeiro de 1998 a 31 de dezembro de 2016 da base TRMM\_TRMM\_3B42\_Daily v7, para o quadrante: 51,52°W; 22,29°S; 51,33°; 22,13°S equivalente à bacia do manancial do alto curso do rio Santo Anastácio.

Com os conceitos de Thornthwaite & Mather (1955), contabilizou-se a água do solo em função da transpiração real mensal, com base nos dados obtidos na plataforma GIOVANNI, tendo em conta a latitude do local e a duração do dia solar no decorrer do ano. (AYOADE, 1996)

Os produtos obtidos com o balanço hídrico são as demonstrações dos meses com déficit hídrico, excedente hídrico e fases intermediárias de reposição e retirada hídrica segundo os conceitos de Thornthwaite & Mather (1955). (GARCEZ, 1988)

#### 4.2.2 Determinação da regionalização hidrológica

A regionalização hidrológica, cujo modelo desenvolvido pelo DAEE (SÃO PAULO, 1988) identificou regiões hidrológicas semelhantes no Estado de São Paulo, solicita como dados de entrada as coordenadas geográficas do ponto de interesse e a área em km<sup>2</sup> da bacia hidrográfica entre diversos dados de saída apresenta a vazão mínima  $Q_{7,10}$  por meio das seguintes fórmulas:

$$Q_{7,10} = C \cdot X_{10} \cdot (A+B) \cdot Q \dots\dots\dots(5)$$

Onde:

$Q_{7,10}$  – É a vazão mínima anual de sete dias consecutivos e período de retorno de dez anos;

C – É a relação entre a média das mínimas anuais de sete dias consecutivos e a média das mínimas anuais de um mês, cujo modelo identificou três regiões hidrológicas semelhantes no Estado de São Paulo para o parâmetro C, cujo valor para o rio Santo Anastácio a título de conhecimento é 0,85 (SÃO PAULO, 1988);

$X_T$  – É uma variável adimensional da relação entre a série de vazões mínimas anuais de determinada duração e a vazão médias das mínimas de mesma duração;

(A+B) – é a simplificação das relações  $a/Q$  e  $b/Q$ , onde Q é a vazão média de longo período e onde “a” e “b” são os parâmetros de regressão linear da descarga Q plurianual, numa dada seção de um curso d’água, com o total anual médio precipitado (P):

$$Q = a + b \cdot P \dots\dots\dots(6)$$

Os parâmetros  $X_T$ , A e B são conhecidos e a regionalização dos parâmetros A e B delimitou o Estado de São Paulo em 14 regiões semelhantes. (SÃO PAULO, 1988)

#### 4.2.3 Escolha do laudo de análise e parâmetros de estudo

Após a caracterização quantitativa deu-se início à etapa de busca de dados qualitativos da água do manancial para os parâmetros nitrogênio, fósforo e DBO<sub>5,20</sub> para análise de concentração, medição de vazão no momento de coleta, presença de

chuva nas últimas 24 horas, período seco, disponibilidade de todos os parâmetros para avaliação.

A fonte de dados tem sido os relatórios anuais de qualidade de água superficial do Estado de São Paulo elaborado pela CETESB e disponibilizado no site deste órgão executor da política estadual de meio ambiente desde 2014 em séries bimestrais de meses pares. (CETESB, 2015;2016;2017).

Os laudos de análise são referentes ao ponto STAN43 localizado nas coordenadas 22°12'17"S e 51°26'05"O, na Rodovia Assis Chateaubriand, junto à régua do DAEE, 8D-002, que liga os municípios de Presidente Prudente/SP e Pirapozinho/SP.

O ponto de monitoramento de qualidade da água, de propriedade privada, da companhia de saneamento básico que opera na área urbana do município de Presidente Prudente, está localizado à jusante da represa, cuja comparação dos laudos com o modelo só seria possível com um estudo completo envolvendo os módulos 2 e 3 do MQUAL 2.0.

#### *4.2.4 Evolução histórica*

Consistiu na realização de mapas de uso e cobertura da terra da bacia hidrográfica do manancial do alto curso do rio Santo Anastácio para os anos de 1986, 1996, 2006 e 2016. O ano de 1986 é época de partida devido ao primeiro ano após a ampliação da represa de captação de água para saneamento. As demais épocas foram estudadas em períodos de dez anos até o ano de 2016, ano base para definição de cenários por conter laudo de qualidade dos parâmetros estudados e medição de vazão no momento da coleta.

O mapeamento do uso e cobertura da terra elaborado por Dibieso (2013) e pelo PDPA do Santo Anastácio tem sido usado como parâmetro para o primeiro estudo do modelo de correlação entre uso e cobertura da terra e qualidade da água – MQUAL 2.0, cuja metodologia foi definir os usos por município para chegar ao uso da bacia.

As imagens de satélites da série Landsat utilizadas foram obtidas através do banco de dados da USGC – United States Geographic and Geological Service, cujo download de acesso é <https://earthexplorer.usgs.gov/>.



As imagens do satélite Landsat 5 TM foram utilizadas para os anos de 1986, 1996 e 2006 e as imagens Landsat 8 OLI para o ano de 2016.

O processo de classificação das imagens foi feito no software QGIS 2.18 Las Palmas e as classes de uso e ocupação da terra definidas para este estudo foram: atividade agrícola, reflorestamento, mata/capoeirão, chácaras, áreas urbanas – padrão superior, áreas urbanas – padrão inferior, áreas de uso industrial e comercial previstas para o modelo de correlação qualidade da água e uso e ocupação da terra utilizados no PDPA do manancial do alto Santo Anastácio.

As técnicas de interpretação de imagens de satélite foram usadas para diferenciar áreas urbanizadas de padrão superior das áreas industrializadas, por meio de imagens disponíveis no Google Maps, com a intenção de ajustar os dados de área do ano de 2016.

### **4.3 Cálculo para os cenários dos anos de 2016, 2026 e 2036**

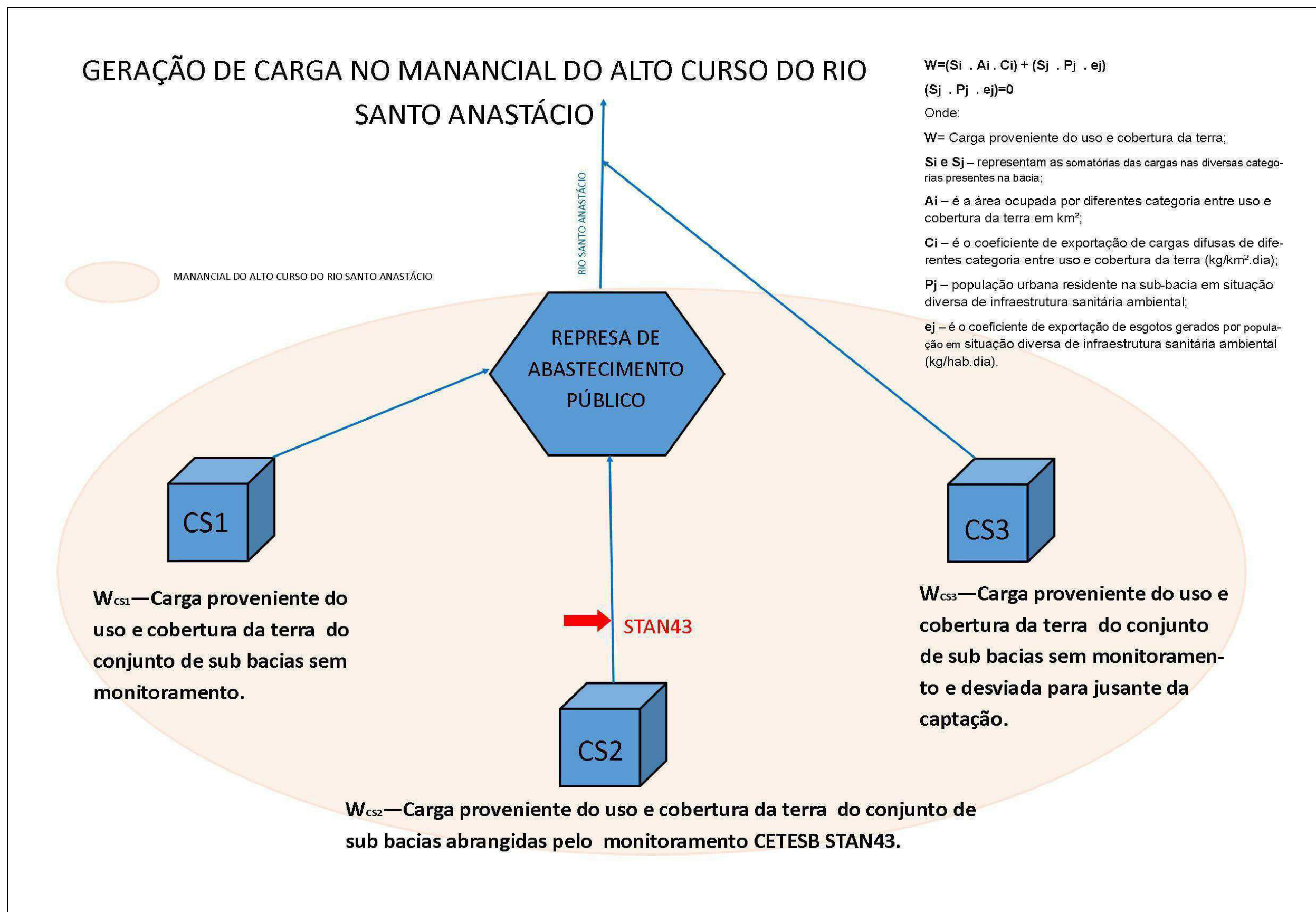
A escolha pelo uso do modelo MQUAL 2.0, além da evolução técnica que atribui valores aos coeficientes de exportação de carga, considerando períodos secos e úmidos quando comparado com outras versões, deu-se pelo uso deste modelo no PDPA do manancial do alto curso do rio Santo Anastácio, em período anterior ao início de monitoramento pela CETESB no ponto STAN43.

Considerando, o objetivo deste estudo de abordar somente a geração de carga difusa por meio de coeficientes de exportação dos parâmetros fósforo, nitrogênio e DBO<sub>5,20</sub>, é utilizado apenas o módulo 1 do modelo MQUAL 2.0. Ou seja, não é considerado neste estudo as contribuições de poluição pontual e o processo de dispersão dos poluentes existentes na represa de abastecimento.

No cenário base de uso e cobertura da terra de 2016, calculou-se a geração diária de carga em kg, utilizando o modelo MQUAL 2.0, determinou-se suas concentrações equivalentes na vazão mínima Q<sub>7,10</sub>. Esse resultado foi comparado com os dados de análise do laudo de 23/06/2016 do ponto STAN43 realizado pela CETESB, considerando neste método as condições de uso e cobertura da terra e a universalização do saneamento.

A Figura 5 apresenta um fluxograma de geração de carga com contribuição decorrente do uso e cobertura da terra no manancial do alto curso do rio Santo Anastácio:

Figura 5 - Esquema de transferência de carga no manancial do alto curso do rio Santo Anastácio.



A Figura 5 representa fielmente a situação de geração de cargas do manancial do alto curso do rio Santo Anastácio e seu monitoramento de dados públicos. Wcs<sub>1</sub> é carga proveniente do conjunto de sub-bacias hidrográficas – CS1 sem monitoramento e conforme fluxograma tem toda sua carga direcionada para o reservatório de abastecimento público. Wcs<sub>2</sub> é a carga proveniente do uso e cobertura da terra do conjunto de sub-bacias hidrográficas – CS2 abrangidas pelo monitoramento do ponto CETESB STAN43 e contribuinte integral do reservatório de abastecimento público. O ponto Wcs<sub>3</sub> é a carga proveniente do uso e cobertura da terra do conjunto de sub-bacias hidrográficas – CS3 sem monitoramento e cuja parte de suas vazões são potencialmente passíveis de desvios à jusante do reservatório de abastecimento público.

Medidas indiretas de cargas difusas de fósforo total, nitrogênio total e DBO<sub>5,20</sub> podem ser obtidas através de modelos que utilizam coeficientes de exportação de carga (C<sub>i</sub>), obtidos através de observações sob condições hidrológicas médias em bacias hidrográficas, no ciclo anual. (MORUZZI et al., 2012)

A Tabela 4 a seguir indica os coeficientes de geração de carga de fósforo total, nitrogênio total e DBO<sub>5,20</sub> relacionada com o tipo de fonte poluidora.

**Tabela 4 - Coeficientes de geração de cargas para o modelo MQUAL 2.0**

TIPOS DE FONTES POLUIDORAS	Unidade	Fósforo Total	Nitrogênio Total	DBO <sub>5,20</sub>
<b>Áreas Urbanas - Padrão Superior</b>	kg/km <sup>2</sup> .dia	0,136	0,951	16,000
<b>Áreas de Uso Industrial e Comercial</b>	kg/km <sup>2</sup> .dia	0,190	1,665	32,000
<b>Solo exposto / Movimentação de terra</b>	kg/km <sup>2</sup> .dia	0,005	0,090	3,800
<b>Mata / Capoeirão</b>	kg/km <sup>2</sup> .dia	0,002	0,060	1,172
<b>Reflorestamento</b>	kg/km <sup>2</sup> .dia	0,002	0,060	1,172
<b>Capoeira Campo</b>	kg/km <sup>2</sup> .dia	0,001	0,050	1,079
<b>Atividade Agrícola</b>	kg/km <sup>2</sup> .dia	0,066	0,227	4,917
<b>População com lançamento direto de esgotos nos corpos de água</b>	kg/hab.dia	0,002	0,012	0,056
<b>População de áreas urbanizadas com sistema individual de disposição de esgotos - Baixa Densidade</b>	kg/hab.dia	0,001	0,006	0,034

Fonte: Secretaria do Meio Ambiente - SMA (2006)

A Tabela 4, apresenta os coeficientes de geração de cargas de fósforo, nitrogênio e  $DBO_{5,20}$  para as classes de uso e cobertura da terra aplicáveis ao modelo MQUAL e existente no manancial do alto curso do rio Santo Anastácio, que são: área urbana de padrão superior, área de uso industrial e comercial, solo exposto e movimentação de terra, mata e capoeirão, reflorestamento, capoeira campo e atividade agrícola. Além de fatores como lançamento direto de esgoto nos corpos d'água e baixa densidade populacional.

Os dados de entrada para o modelo de correlação entre o uso e cobertura da terra e a qualidade da água são as áreas de cada uso ( $A_i$ ) e cobertura da terra por sub-bacia hidrográfica, a população urbana equivalente a cada sub-bacia hidrográfica ( $P_j$ ), a população atendida com infraestrutura de serviços de saneamento básico ( $e_j$ ) em cada sub-bacia hidrográfica. Neste estudo, considerou-se, a característica da bacia hidrográfica, que conta com o serviço de saneamento básico universalizado.

O cálculo da geração de carga em kg/dia foi efetuado somando o produto da área de cada uso e cobertura da terra ( $S_i$  e  $S_j$ ) pelo seu respectivo coeficiente de exportação de carga ( $C_i$ ) previsto no modelo MQUAL 2.0 e somado pela geração de carga equivalente ao esgoto gerado na sub-bacia hidrográfica que nesta realidade todo o esgoto urbano é afastado e tratado à jusante da área de estudo.

No cenário 1 – simula-se o manancial do alto curso do rio Santo Anastácio, em 2016, com os mesmos dados de uso e cobertura da terra, porém, sem os serviços de saneamento básico universalizado existente. Calculou-se a geração diária de carga em kg utilizando o modelo MQUAL 2.0 e determinou-se suas concentrações equivalentes na vazão mínima  $Q_{7,10}$ .

No caso do manancial do alto curso do rio Santo Anastácio, a projeção populacional da área urbana foi considerada para o cenário sem rede de esgoto, pois nos demais cenários o esgoto é afastado através de estações elevatórias de esgoto e tratado à jusante da bacia hidrográfica de estudo.

A projeção da população foi elaborada com base nos dados de projeção da Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados – SEADE, órgão oficial do governo do Estado de São Paulo para os municípios de Presidente Prudente, Álvares Machado, Anhumas, Regente Feijó e Pirapozinho para os anos de 2016, 2026 e 2036.

O cálculo da projeção populacional urbana e rural da bacia hidrográfica do manancial do alto curso do rio Santo Anastácio considerou a soma proporcional em área, população urbana e rural de cada município.

No Cenário 2 – Os níveis de mata são recuperados ao nível existente em 2006, o crescimento da área urbanizada de padrão superior, industrial, comercial e chácaras são interrompidos, continua-se sem área urbanizada de padrão inferior, mantêm-se a infraestrutura de saneamento básico e cria-se um equilíbrio equitativo entre a área de campo e a área agrícola, para o ano de 2026. Calculou-se a geração diária de carga em kg utilizando o modelo MQUAL 2.0 e determinou-se suas concentrações equivalentes na vazão mínima  $Q_{7,10}$ .

No Cenário 3 – manteve-se o crescimento tendencial com base nos usos e cobertura da terra dos mapas de 1986, 1996, 2006 e 2016 que orientaram a visualização de geração de cargas poluentes diárias em kg nos cenários de 2026, com o uso do modelo MQUAL 2.0 e determinou-se suas concentrações equivalentes na vazão mínima  $Q_{7,10}$ .

No Cenário 4 – Os níveis de mata são recuperados ao nível existente em 1986, o crescimento da área urbanizada de padrão superior, industrial, comercial e chácaras são interrompidos, continua-se sem área urbanizada de padrão inferior, mantêm-se a infraestrutura de saneamento básico e cria-se um equilíbrio equitativo entre a área de campo e a área agrícola para o ano de 2036. Calculou-se a geração diária de carga em kg utilizando o modelo MQUAL 2.0 e determinou-se suas concentrações equivalentes na vazão mínima  $Q_{7,10}$ .

No Cenário 5 – manteve-se o crescimento tendencial com base nos usos e cobertura da terra dos mapas de 1986, 1996, 2006 e 2016 que orientaram a visualização de geração de cargas poluentes diárias em kg nos cenários de 2036, com o uso do modelo MQUAL 2.0 e determinou-se suas concentrações equivalentes na vazão mínima  $Q_{7,10}$ .

A análise dos cenários será feita pela observação do atendimentos aos padrões de qualidade de água: o enquadramento das águas do manancial do alto curso do rio Santo Anastácio, segundo o Decreto Estadual nº 10.755, de 22 de novembro de 1.977, está classificado como classe 2, de água doce, cujos usos previstos na Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2.005 são: águas destinadas ao abastecimento para consumo humano após tratamento convencional, proteção das comunidades

aquáticas, recreação de contato primário, irrigação, plantas com os quais o público venha ter contato direto e aquicultura e atividade de pesca. (BRASIL, 2005; SÃO PAULO, 1977)

Os limites estipulados pela Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005, classe 2 de água doce são: 0,1mg/L, 10 mg/L e 5mg/L para fósforo total, nitrogênio total e DBO<sub>5,20</sub> respectivamente. (BRASIL, 2005)

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

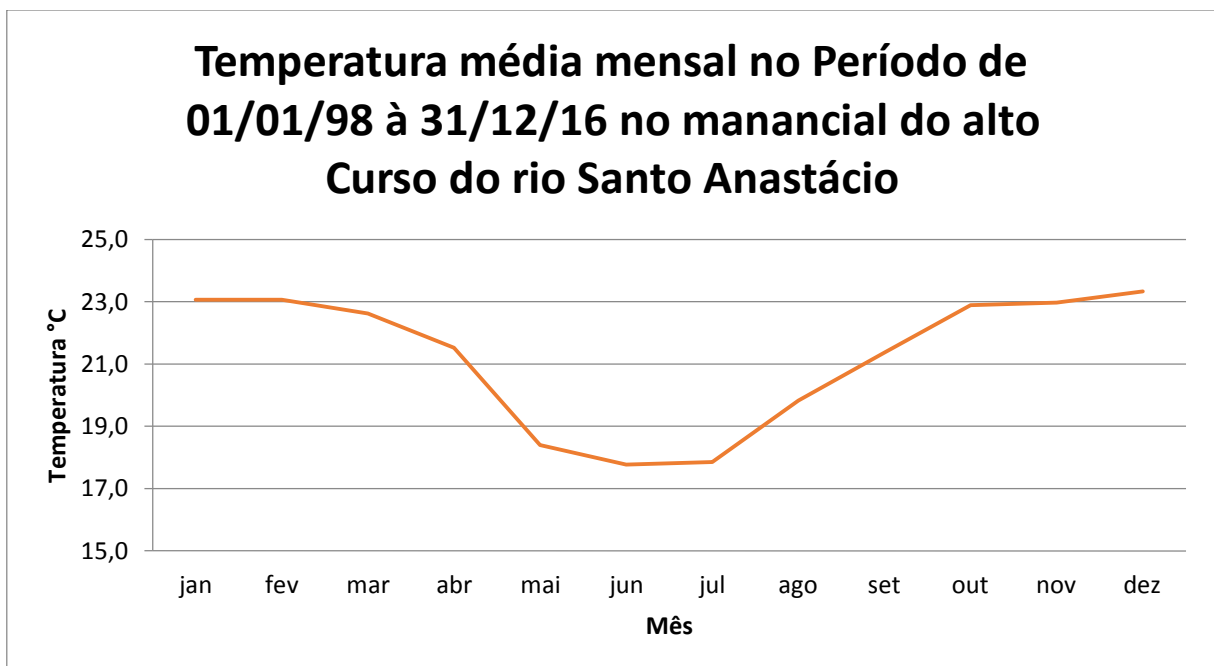
Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos quanto à caracterização da bacia hidrográfica do manancial do alto curso do rio Santo Anastácio, o mapeamento do uso e cobertura da terra e a aplicação do modelo de correlação entre uso e cobertura da terra e qualidade da água.

### 5.1 Caracterização da bacia hidrográfica do manancial do alto curso do Rio Santo Anastácio

#### 5.1.1 Clima

A oscilação da temperatura média mensal do manancial do alto curso do rio Santo Anastácio obtida pela plataforma GIOVANNI/NASA no período de janeiro de 1996 a dezembro de 2016 permite através do gráfico da Figura 6 observar diversos períodos.

Figura 6 - Série mensal de temperatura do ar do manancial do alto curso do rio Santo Anastácio.



Fonte: NASA (2017b)

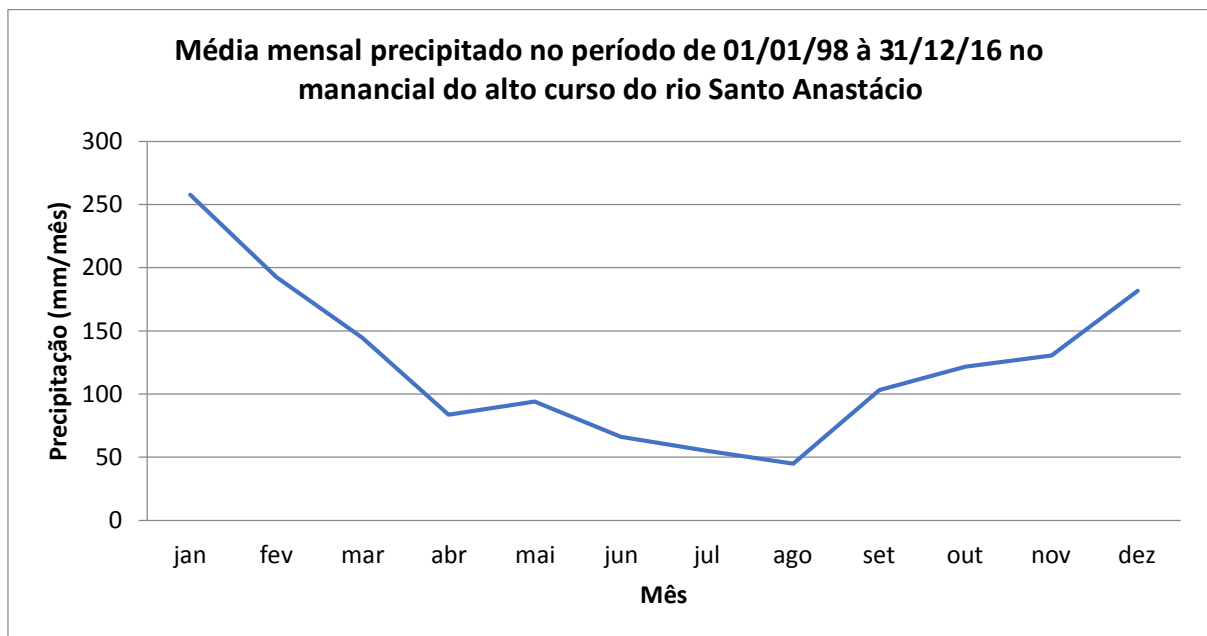


Segundo a Figura 6 a série anual da temperatura do ar no manancial do alto curso do rio Santo Anastácio, no período de 1996 a dezembro de 2016 demonstra que os picos de temperatura média ocorrem no mês de dezembro, ultrapassando a marca de 23° C e a base do gráfico cai abaixo dos 18° C entre junho e julho. Caracteriza-se então as estações primavera/verão nos meses de outubro à março e outono/inverno nos meses abril a setembro.

Segundo Monteiro (1973 apud Sudo,1980) as massas de ar, em circulação na região relacionam-se com a Massa Polar Atlântica e Massa polar Continental, ativada pela dinâmica da Baixa do Chaco e os períodos mais frios são dominados por incursões mais frequentes da massa polar atlântica e polar continental.

A precipitação histórica do manancial do alto curso do rio Santo Anastácio obtida pela plataforma NASA/GIOVANNI no período de janeiro de 1998 a dezembro de 2016 permite através do gráfico da Figura 7 observar diversos períodos intermediários.

Figura 7 - Série mensal pluviométrica do manancial do alto curso do rio Santo Anastácio



Fonte: NASA (2017a)

Conforme Figura 7, o comportamento médio mensal das precipitações no período de 01/01/1998 à 31/12/2016 demonstra o aumento da coluna de precipitação a partir dos meses de outubro em 100 mm, alcançando o ápice entre dezembro e

janeiro, ultrapassando a marca de 250mm, e decai até o mês de março em 100 mm, mantendo-se estável em patamares de 50 a 100 mm entre os meses de abril a setembro.

Analisando conjuntamente os gráficos das Figuras 6 e 7, deduz-se que o manancial do alto curso do rio Santo Anastácio possui um verão úmido entre os meses de outubro a março e um inverno seco entre os meses de abril a setembro, dados que se confirmam no balanço hídrico segundo os conceitos de Thornthwaite & Mather (1955).

O Estado de São Paulo tem uma rede de 444 postos pluviométricos, no entanto, os históricos de dados são diversos, desde postos antigos à postos novos. Para este estudo, os dados obtidos via satélite, da plataforma GIOVANNI/NASA, atendem o objetivo desta pesquisa, pois permite obter os dados de temperatura e pluviometria de uma área específica, ou seja, embora tenha menor qualidade quando comparado com outros métodos, apresenta melhor espacialidade.

#### *5.1.2 Balanço Hídrico*

É demonstrado na Tabela 5 a estimativa de evapotranspiração média atualizada do manancial do alto curso do rio Santo Anastácio no período de 01 de janeiro de 1998 à 31 de dezembro de 2016.

Tabela 5 – Estimativa de evapotranspiração média do manancial do alto curso do rio Santo Anastácio, de 01/01/1998 à 31/12/2016, segundo os conceitos de Thornthwaite & Mather (1955)

Mês	T °C	i	N (h/d)	ND (d/mês)	ETPp (mm/mês)	ETR (mm/mês)
jan	23,07	10,12	13,20	31	105,75	120,20
fev	23,06	10,12	12,70	28	105,71	104,42
mar	22,62	9,83	12,10	31	102,67	106,98
abr	21,52	9,12	11,50	30	95,30	91,33
mai	18,40	7,19	10,90	31	75,31	70,69
jun	17,77	6,82	10,70	30	71,52	63,77
jul	17,86	6,87	10,80	31	72,01	66,97
ago	19,82	8,05	11,30	31	84,25	81,98
set	21,37	9,02	11,90	30	94,31	93,52
out	22,89	10,01	12,50	31	104,55	112,54
nov	22,98	10,06	13,10	30	105,12	114,75
dez	23,33	10,30	13,30	31	107,58	123,21

Fonte: Elaborado pelo Autor (2018)<sup>2</sup>

Legenda: **T** - temperatura média mensal; **i** - Índice térmico mensal; **N** - duração do dia em horas; **ND** - número de dias no mês; **ETPp** - Evapotranspiração potencial; **ETP** Evapotranspiração.

A Tabela 5 apresenta a evapotranspiração média do manancial do alto curso do rio Santo Anastácio no período disponível do banco de dados de temperatura do ar e precipitação da plataforma GIOVANNI/NASA, cujo objetivo é evidenciar os meses secos que fortaleça a opção de escolha dos laudos de análise da CETESB, do ponto de coleta STAN43.

A temperatura do ar (T) nos meses úmidos oscilou de 22,62 °C até 23,33 °C e nos períodos secos oscilou de 17,77 °C até 21,52°C, sendo o principal fator de influência do índice térmico mensal (i), e por consequência na evapotranspiração potencial.

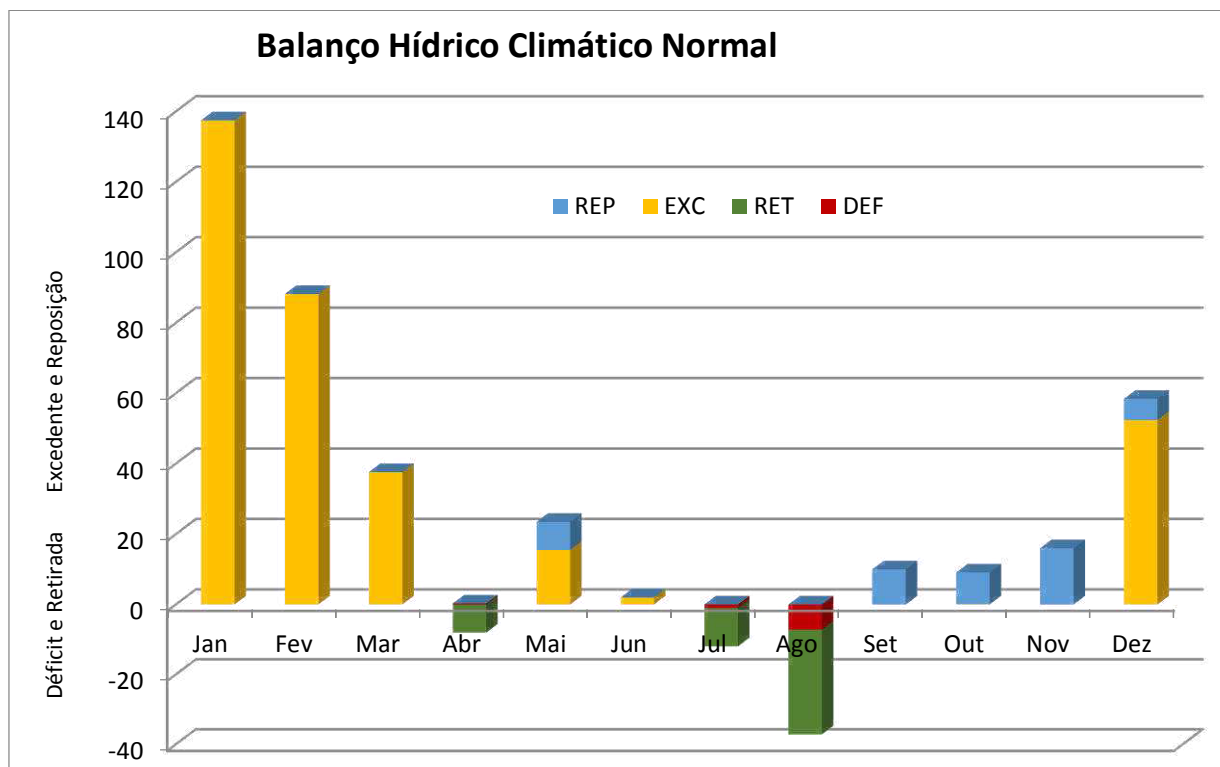
Há outros métodos na literatura para realização do balanço hídrico, no entanto, o método de Thornthwaite & Mather (1955) atende os objetivos desta pesquisa, porque nele se interagem os efeitos edáficos através do conhecimento do armazenamento de água que é uma função das características físicas do solo e o

<sup>2</sup> Modelo de Thornthwaite & Mather (1955) apud Ayoade (1996) desenvolvido a partir de dados da plataforma NASA (2017b)

climático através da precipitação e evapotranspiração potencial. (AMORIM NETO, 1989)

Na Figura 8 é possível avaliar melhor o período de déficit, excedente, retirada e reposição de água no solo.

Figura 8 - Balanço hídrico climático normal do manancial do alto curso do rio Santo Anastácio



Fonte: o Autor<sup>3</sup>

Segundo Amorim Neto (1989) quando a diferença entre a precipitação e a evapotranspiração potencial é maior que zero, as exigências hídricas de uma planta no solo estão plenamente satisfeitas e há excesso de água, quando ocorre o inverso, onde a diferença é menor que zero, há deficiência hídrica no solo.

A Figura 8 indica que o mês de maior excedente hídrico é o mês de dezembro, acima de 120 mm/mês, onde os valores acumulados de precipitação são maiores que a evapotranspiração.

<sup>3</sup> Modelo de Thornthwaite & Mather (1955) apud Ayoade (1996) desenvolvido a partir de dados da plataforma NASA (2017b)

O período chuvoso demonstrado no balanço hídrico equivale aos meses de outubro à março conforme demonstrado pelo gráfico da figura 8 e a importância desta característica de tempo chuvoso é o aumento de probabilidade de ocorrer arraste de materiais superficiais, conforme resultados obtidos por Fia et al. (2015) que analisaram a variação temporal da qualidade da água e das características tróficas dos principais cursos de água na micro bacia hidrográfica do Ribeirão Vermelho em Lavras, Estado de Minas Gerais – MG durante o período chuvoso e de estiagem.

O mês de agosto tem se apresentado historicamente como o mês de maior retirada e conseqüente déficit hídrico e o mês de novembro é o mês que tem colaborado para maior reposição de umidade no solo.

Dentro do escopo desta dissertação, historicamente, os grupos ideais para coleta de análise que represente o período seco no manancial do alto curso do rio Santo Anastácio, é o mês de agosto, no findar do inverno, por apresentar o maior somatório dos valores da diferença entre a evapotranspiração potencial e evapotranspiração real, seguidos pelos meses de julho, abril e junho.

Segundo Sudo (1980) este cálculo não leva em consideração a água perdida por escoamento superficial, a qual deveria ser deduzida da precipitação para que o excesso e déficit hídrico correspondam à realidade.

A importância de dados temporais dos parâmetros de qualidade de um manancial permite observar a influência sazonal de diversos compostos químicos relevantes para o sistema de tratamento de água, como apontado por Rocha e Costa, (2015) que constataram a influência sazonal de cor e DBO<sub>5,20</sub> ao analisar dados de monitoramento mensal da captação da Represa São Pedro, do município de Juiz de Fora, Estado de Minas Gerais - MG no período de 1998 a 2012.

### *5.1.3 Regionalização Hidrológica*

A relação deste estudo com a regionalização hidrológica, dá-se pela importância na determinação de carga de poluentes presentes no corpo hídrico através dos dados de concentração obtida em análise e a vazão do rio no momento da coleta, e inversamente, quando se pretende, correlacionar a concentração encontrada na análise e transportá-la para a vazão mínima do rio.

Para melhor compreensão do comportamento hidrológico e da variação da concentração de  $DBO_{5,20}$  e OD ao longo do rio Iguaçu situado entre a Serra do Mar e a região metropolitana de Curitiba Ferreira, Fernandes e Kaviski (2016) demonstraram a importância dos dados de entrada como vazão mínima na utilização de modelos.

Utilizando valores de área das sub-bacias hidrográficas obtida por Dibieso (2013) no modelo de regionalização hidrográfica do DAEE, obteve-se os valores de vazão de referência e permanência de toda as sub-bacias hidrográficas e unidades hidrográficas do manancial do alto curso do rio Santo Anastácio representadas na Tabela 6.

Tabela 6 - Regionalização hidrológica do manancial do alto curso do rio Santo Anastácio

<i>REGIONALIZAÇÃO HIDROLÓGICA DO MANANCIAL DO ALTO CURSO DO RIO SANTO ANASTÁCIO</i>				
<i>BACIA HIDROGRÁFICA</i>	<i>ÁREA (km<sup>2</sup>)</i>	<i>COORDENADAS UTM N/E (km)</i>	<i>COORDENADAS GEOGRÁFICAS LAT/LON</i>	<i>Q7,10 (m<sup>3</sup>/s)</i>
<i>Cedro</i>	30,98	7.547,52 451,29	22°10'36" S 51°28'20" O	0,084
<i>Noite Negra</i>	30,29	7.544,52 455,77	22°12'14" S 51°25'44" O	0,083
<i>Lajeadoinho</i>	25,80	7.543,74 450,96	22°11'46" S 51°28'32" O	0,070
<i>Nascente do Santo Anastácio</i>	24,08	7.544,60 458,80	22°12'12" S 51°23'58" O	0,066
<i>Embiri</i>	19,16	7.544,60 458,80	22°12'12" S 51°23'58" O	0,052
<i>Araci</i>	17,44	7.544,52 455,77	22°12'14" S 51°25'44" O	0,048
<i>Cedrinho</i>	8,09	7.547,50 451,48	22°10'37" S 51°28'14" O	0,022
<i>Pindaíba</i>	7,15	7.544,83 454,35	22°12'04" S 51°26'34" O	0,020
<i>Olga</i>	6,83	7.545,14 456,92	22°11'54" S 51°25'04" O	0,019
<i>Unidade Hidrográfica II</i>	5,31	7.545,04 452,69	22°11'57" S 51°27'32" O	0,014
<i>São Sebastião</i>	4,85	7.545,96 450,62	22°11'27" S 51°28'44" O	0,013
<i>Unidade Hidrográfica I</i>	4,58	7.547,21 450,69	22°10'46" S 51°28'42" O	0,012
<i>Bacia Hidrográfica I</i>	4,11	7.545,00 452,20	22°11'58" S 51°27'49" O	0,011
<i>Unidade Hidrológica IV</i>	3,11	7.544,52 455,83	22°12'14" S 51°25'42" O	0,009
<i>Unidade Hidrográfica III</i>	3,30	7.545,15 456,92	22°11'54" S 51°25'04" O	0,009
<i>Unidade Hidrológica VII</i>	1,14	7.547,10 450,27	22°10'49" S 51°28'56" O	0,003
<i>Represa</i>	0,67	7.547,42 450,23	22°10'39" S 51°28'57" O	0,002
<i>Unidade Hidrológica V</i>	0,57	7.544,67 455,16	22°12'09" S 51°26'06" O	0,002
<i>Unidade Hidrológica VI</i>	0,24	7.545,37 451,00	22°11'46" S 51°28'31" O	0,001
<i>Manancial do alto curso do rio Santo Anastácio</i>	197,70	7.547,42 450,23	22°10'39" S 51°28'57" O	0,537

Fonte: Extraído de São Paulo (1988) e organizado pelo Autor (2018)<sup>4</sup>

<sup>4</sup> Dados obtidos pelo modelo de regionalização hidrológica do DAEE disponível no endereço eletrônico: [www.daae.sp.gov.br](http://www.daae.sp.gov.br)

A Tabela 6 apresenta a área em km<sup>2</sup> de cada sub-bacia hidrográfica do manancial do alto curso do rio Santo Anastácio e as coordenadas geográficas de cada confluência dos córregos na calha principal e na última coluna as vazões mínimas Q<sub>7,10</sub>.

A referência de vazão mínima para o cálculo de geração de carga difusa e determinação de concentração equivalente, minimiza as margens de erros dos resultados obtidos. A seguir estão os critérios de escolha do laudo de análise da CETESB no ponto STAN43.

#### *5.1.4 A qualidade da água*

O sistema de informações de recursos hídricos é essencial para o planejamento e gerenciamento de recursos hídricos com o fornecimento de dados confiáveis do monitoramento dos padrões de qualidade de água, entre outras informações, conforme apontado por Almeida et al. (2009) que apresentaram a discussão de soluções de ferramentas potenciais para armazenamento, transferência e disponibilidade de dados hidrológicos de bacias hidrográficas.

A partir dos dados de pluviometria, selecionou-se o laudo de período de maior estiagem para avaliação do uso do modelo de correlação entre uso e cobertura da terra e qualidade da água. A Tabela 7 demonstra os dados disponíveis e os critérios de escolha.



Tabela 7 - Resultados laboratoriais de P Total, Nitrogênio Total e DBO5,20

CHUVA - ÚLTIMAS 24HS	Dias secos <sup>5</sup>	Data de coleta	Concentração mg/L - STAN0043				kg/dia <sup>6</sup>			Concentração na Q7,10 (mg/L) - STAN0043 <sup>7</sup>			
			DBO5,20	P TOTAL	N TOTAL	Q (m <sup>3</sup> /s)	DBO5,20	P TOTAL	N TOTAL	Q7,10 (m <sup>3</sup> /s)	DBO5,20	P TOTAL	N TOTAL
...	...	20/02/2014	2,000	0,053	...	...	...	...	...	...	...	...	...
...	...	08/04/2014	2,000	0,061	...	...	...	...	...	...	...	...	...
...	...	24/06/2014	2,000	0,036	...	...	...	...	...	...	...	...	...
...	...	26/08/2014	2,000	0,045	...	...	...	...	...	...	...	...	...
...	...	14/10/2014	2,000	0,036	...	...	...	...	...	...	...	...	...
SIM	...	10/12/2014	2,000	0,066	...	...	...	...	...	...	...	...	...
SIM	...	26/02/2015	5,000	0,126	...	...	...	...	...	...	...	...	...
...	...	07/04/2015	2,000	0,073	...	...	...	...	...	...	...	...	...
...	...	23/06/2015	2,000	0,063	...	...	...	...	...	...	...	...	...
...	...	25/08/2015	...	0,053	...	...	...	...	...	...	...	...	...
...	<b>2</b>	14/10/2015	3,000	0,093	...	<b>1,070</b>	277,344	8,598	...	0,254	12,638	0,392	...
SIM	...	15/12/2015	2,000	0,086	...	<b>0,906</b>	156,557	6,732	...	0,254	7,134	0,307	...
SIM	...	17/02/2016	2,000	0,082	0,990	<b>0,906</b>	156,557	6,419	77,496	0,254	7,134	0,292	3,531
...	<b>18</b>	12/04/2016	2,000	0,077	...	<b>0,749</b>	129,427	4,983	...	0,254	5,898	0,227	...
...	<b>16</b>	<b>23/06/2016</b>	<b>2,000</b>	<b>0,069</b>	<b>1,110</b>	<b>0,906</b>	<b>156,557</b>	<b>5,401</b>	<b>86,889</b>	<b>0,254</b>	<b>7,134</b>	<b>0,246</b>	<b>3,959</b>
...	<b>2</b>	23/08/2016	2,000	0,069	0,560	<b>0,749</b>	129,427	4,465	36,240	0,254	5,898	0,203	1,651
SIM	...	04/10/2016	2,000	0,066	0,440	<b>0,403</b>	69,638	2,298	15,320	0,254	3,173	0,105	0,698
SIM	...	13/12/2016	2,000	0,084	0,620	<b>1,787</b>	308,794	12,969	95,726	0,254	14,071	0,591	4,362

Fonte: Adaptado de CETESB (2014;2015;2016)

Legenda: **DBO**<sub>5,20</sub> - Demanda Bioquímica de Oxigênio; **P** - Fósforo; **N** - Nitrogênio; **Fontes em negrito** - Critério de seleção de laudo.<sup>5</sup> Informações obtidas pela plataforma NASA (2017a)<sup>6</sup> Dados calculados pelo autor com base nos dados de CETESB (2014;2015;2016)<sup>7</sup> Dados calculados pelo autor com base nos dados de CETESB (2014;2015;2016) e regionalização hidrológica do DAEE

Na Tabela 7, utilizada para definir o laudo e parâmetros escolhidos, a coluna de chuvas nas 24 horas são observações do coletor da CETESB e foram motivos de eliminação na escolha dos laudos de estudo.

Os períodos secos superiores a 24 horas foram obtidos com base nos dados de precipitação, no período de amostragem do ponto STAN43, ou seja, de 2014 a 2016 na plataforma GIOVANNI/NASA base TRMM\_TRMM\_3B42\_Daily v7 para o quadrante: 51,52°W; 22,29°S; 51,33°; 22,13°S equivalente à bacia hidrográfica do manancial do alto curso do rio Santo Anastácio.

Do período de 20/02/2014 à 25/08/2015, os laudos qualitativos não foram acompanhados com medição de vazão, e, portanto, esses laudos foram descartados para análise deste estudo.

Os laudos de 14/10/2015 e 15/12/2015 não tinham dados do parâmetro nitrogênio, portanto foram desconsiderados. Restando dois laudos passíveis de estudo: 23/06/2016 e 23/08/2016. Embora, o balanço hídrico tenha apontado que o mês de agosto seria a melhor opção para coleta de análise, o dia da coleta da amostra para análise estava há 48 horas da última chuva.

Portanto, a escolha para comparação com os dados de geração de cargas simulados pelo modelo de correlação entre o uso e cobertura da terra e a qualidade da água, foi o laudo de 23/06/2016 por apresentar o maior período seco, 16 dias.

#### *5.1.5 Uso e cobertura da terra*

Com o advento de novas tecnologias, é possível, mesmo com dados públicos e de menor precisão, fazer mapas de uso e cobertura da terra por meio de análise de sensoriamento remoto na coleta e utilização de informações da superfície terrestre a partir de sensores e geoprocessamento para o tratamento dessas informações. (ANDRES,2006)

O mapeamento temporal do uso e cobertura da terra para os períodos secos dos anos de 1986, 1996, 2006 e 2016 são visualizados nas Figuras 9, 10, 11 e 12 respectivamente.

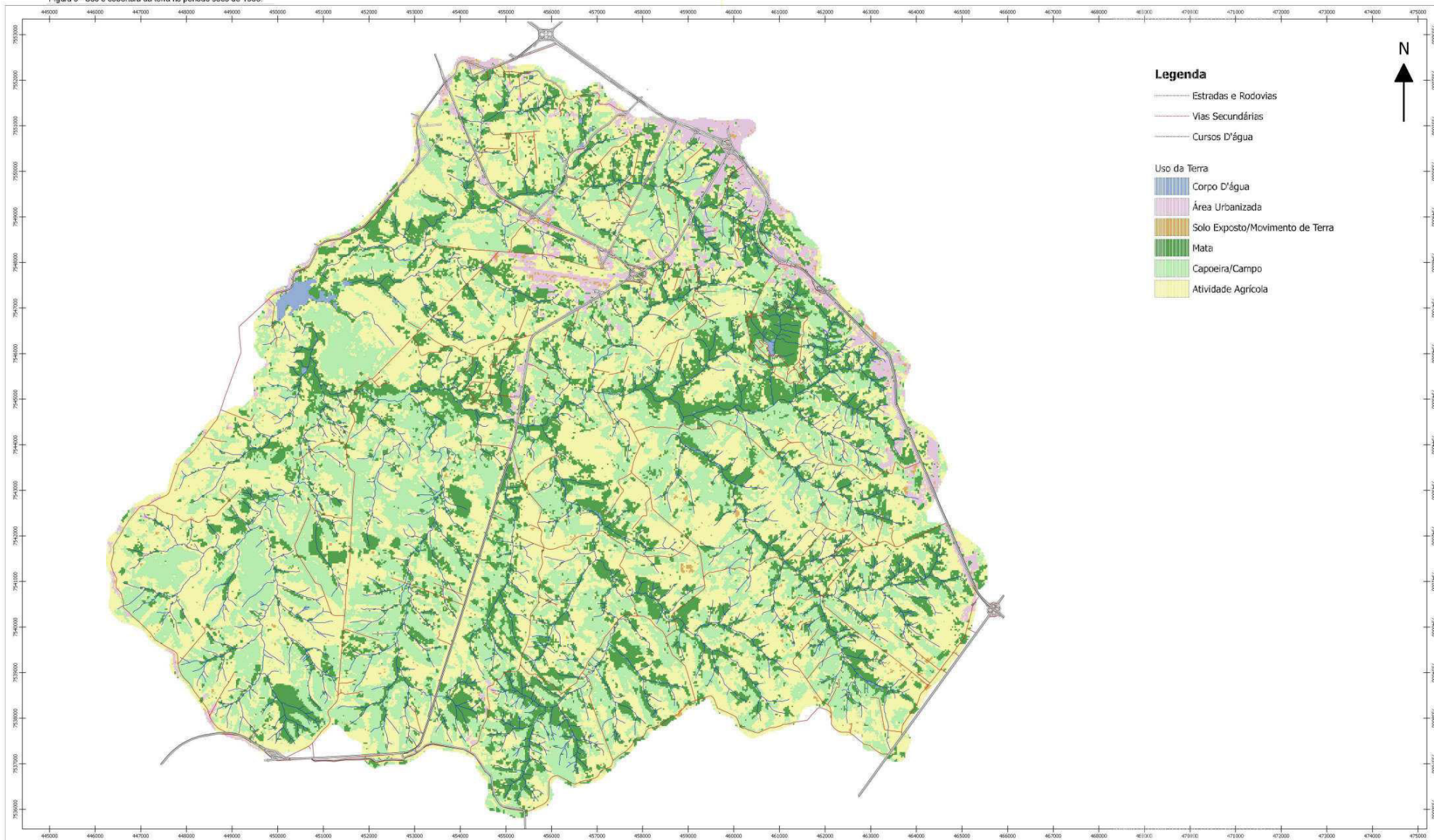
Com exceção ao período de 2016, não há desmembramento da categoria “mata” da área referente ao reflorestamento e da categoria “Área urbanizada padrão superior” da área referente ao uso comercial e industrial.

A Figura 9<sup>8</sup> a seguir representa o uso e cobertura da terra em 1986, um ano após a ampliação da represa de abastecimento público do município de Presidente Prudente.

---

<sup>8</sup> Obtida com o uso do software QGIS 2.18 Las Palmas e uso de mapas auxiliares do arquivo do grupo GADIS da FCT UNESP de Presidente Prudente.

Figura 9 - Uso e cobertura da terra no período seco de 1986.



**Legenda**

- Estradas e Rodovias
- Vias Secundárias
- Cursos D'água

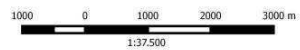
**Uso da Terra**

- Corpo D'água
- Área Urbanizada
- Solo Exposto/Movimento de Terra
- Mata
- Capoeira/Campo
- Atividade Agrícola

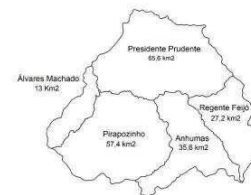
Representação cartográfica elaborada a partir de classificação de imagens orbitais  
 Satélite: Landsat 5  
 Sensor: Thematic Mapper  
 Resolução Espacial: 30 m x 30 m  
 Data da Imagem: 23/05/1986  
 Órbita-Ponto: 222-75

Dados vetoriais disponibilizados pelo Grupo de  
 Pesquisa GADIS -  
 Gestão Ambiental e Dinâmica Socioespacial - da  
 UNESP de Presidente Prudente/SP

Bacia Hidrográfica do Alto Curso  
 do Rio Santo Anastácio/SP



Referência Horizontal: World Geodetic System 1984 - WGS84  
 Projeção: Universal Transversa de Mercator - UTM  
 Fuso: 22  
 Meridiano Central: -51°  
 Fator de Escala: 0,9996370



BACIA HIDROGRÁFICA DO MANANCIAL DO ALTO CURSO DO RIO SANTO ANASTÁCIO/SP	
USO DA TERRA - MAIO DE 1986	
Discendente: Hermes Musurici Nunes Orientador: Antônio Cesar Leal	

A carta de uso e cobertura da terra classificadas de acordo o modelo de correlação entre uso e cobertura da terra e qualidade da água para o ano de 1986 é visualizada na Figura 9.

Demonstra o uso e cobertura da terra no manancial do alto curso do rio Santo Anastácio no ano de 1986, cujo ano foi escolhido para início de observação por ser o primeiro ano após ampliação do sistema de represamento e o aspecto ambiental considerado para esta observação tem sido o avanço da urbanização.

A classificação do uso e cobertura da terra obedeceu o critério estabelecido pelo modelo de correlação entre o uso e cobertura da terra e a qualidade da água, MQUAL 2.0, classificando as coberturas em área urbanizada, solo exposto e movimento de terra, mata, capoeira/campo e atividade agrícola.

Nota-se as margens dos rios preenchidas por mata ou vegetação nativa em quase toda a totalidade da bacia hidrográfica, exceto nas sub-bacias São Sebastião, Bacia Hidrográfica 1 e Lajeadinho.

Esses fragmentos de florestas às margens de rios até então preservados no ano de 1986, além de alta diversidade biológica, tinham como função manter a regularidade dos fluxos hídricos e fertilizar o solo. (ARAUJO; ROCHA,1997)

Predominava na área do manancial do alto curso do rio Santo Anastácio o uso da terra para as atividades agropecuária. A importância da evidência da atividade agrícola e pecuária é devido ao aumento potencial de alteração do meio ambiente quando essas práticas são executadas de forma intensiva e desconsiderando a fragilidade e aptidão dos recursos naturais. (CORSEUIL; CAMPOS, 2007)

A área urbanizada fica restrita ao entorno do aeroporto na sub-bacia hidrográfica do Cedrinho e no entorno da Rodovia SP-284 localizada na parte norte, no divisor de água, da sub-bacia hidrográfica do Cedro até a sub-bacia hidrográfica do Embiri.

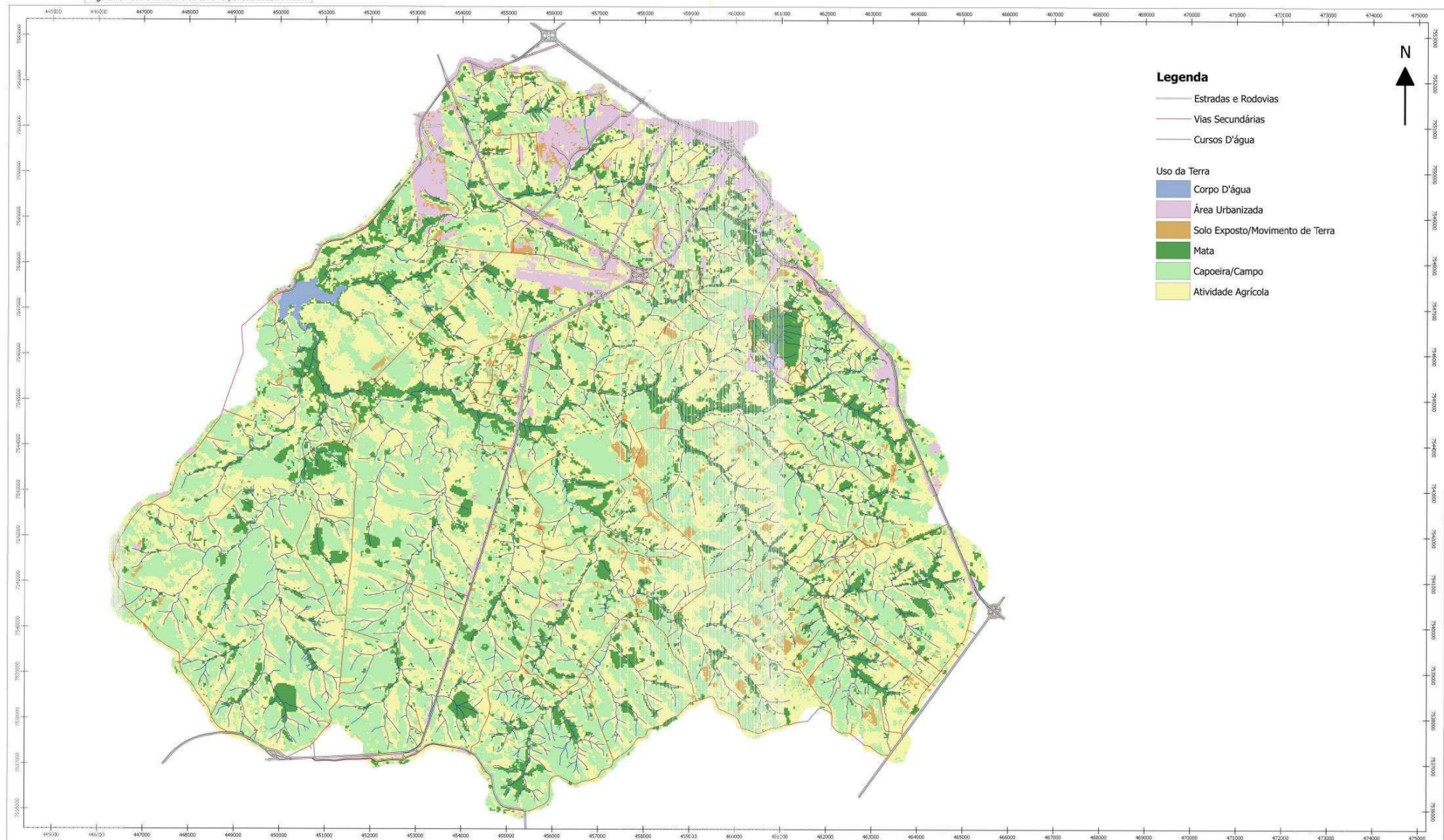
O levantamento do uso da terra numa dada região abrange as características físicas fundamentais para a compreensão dos padrões de organização de um determinado espaço, e nesta resolução, não é possível identificar área de solo exposto, movimento de terra e diferenciar a classificação de mata em reflorestamento antrópico ou regeneração natural. (DELMANTO, 2003)

A Figura 10<sup>9</sup>, a seguir, representa o uso e cobertura da terra do manancial do alto curso do rio Santo Anastácio em 1996, dez anos após a ampliação de área da represa de abastecimento público.

---

<sup>9</sup> Obtida com o uso do software QGIS 2.18 Las Palmas e uso de mapas auxiliares do arquivo do grupo GADIS da FCT UNESP de Presidente Prudente.

Figura 10 - Uso e cobertura da terra no período seco de 1996.



**Legenda**

- Estradas e Rodovias
- Vias Secundárias
- Cursos D'água

**Uso da Terra**

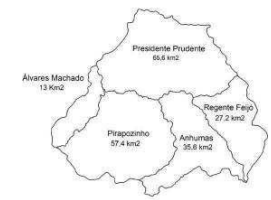
- Corpo D'água
- Área Urbanizada
- Solo Exposto/Movimento de Terra
- Mata
- Capoeira/Campo
- Atividade Agrícola

Representação cartográfica elaborada a partir de classificação de imagens orbitais  
 Satélite: Landsat 5  
 Sensor: Thematic Mapper  
 Resolução Espacial: 30 m x 30 m  
 Data da Imagem: 21/07/1996  
 Órbita-Ponto: 222-75

Dados vetoriais disponibilizados pelo Grupo de Pesquisa GADIS - Gestão Ambiental e Dinâmica Socioespacial - da UNESP de Presidente Prudente/SP



1:37,500  
 Referência Horizontal: World Geodetic System 1984 - WGS84  
 Projeção: Universal Transversa de Mercator - UTM  
 Fuso: 22  
 Meridiano Central: -51°  
 Fator de Escala: 0,9996370



<b>BACIA HIDROGRÁFICA DO MANANCIAL DO ALTO CURSO DO RIO SANTO ANASTÁCIO/SP</b> USO DA TERRA - JULHO DE 1996	
Decente: Hermes Maurício Nunes Orientador: Antônio César Leal	
UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA CÂMPUS DE PRESIDENTE PRUDENTE	INSTITUTO DE CIÊNCIAS ANA Agência Nacional de Águas CAPES Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
Rede de Apoio Profissional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos	unesp

A classificação do uso e cobertura da terra, apresenta da na Figura 10, manteve o critério estabelecido pelo modelo de correlação entre o uso e cobertura da terra e a qualidade da água – MQUAL 2.0, classificando as coberturas em área urbanizada, solo exposto e movimento de terra, mata, capoeira/campo e atividade agrícola.

Observa-se que as ações antrópicas tornaram-se a principal causa de modificações no espaço geográfico da bacia hidrográfica, cujo fenômeno é descrito por Ferreira, Cristian., e Lacerda (2006) como a modernização do sistema produtivo alicerçado ao modelo capitalista de produção.

Nota-se grande perda de mata ou vegetação nativa, em quase toda a bacia hidrográfica do manancial em especial nas margens dos rios, evidenciando perda de diversidade biológica, alterando o fluxo hídrico e comprometendo a fertilização do solo.

O predomínio no manancial do alto curso do rio Santo Anastácio é de atividades agropecuária e aumentaram consideravelmente devido as perdas de mata nas áreas de preservação ambiental.

Em mudanças semelhantes ocorridas em outras regiões do oeste paulista, Fujihara, (2002) relata que os processos de ocupação pelas novas coberturas da terra deixaram nítidas as alterações ocasionadas ao meio ambiente, desde a retirada da vegetação nativa até o crescimento da mancha urbana.

A área urbanizada que no ano de 1986 estava restrita ao entorno do aeroporto e da Rodovia SP-284 avançava em direção ao manancial na sub-bacia hidrográfica do Cedro.

Em toda a região norte da bacia hidrográfica é possível identificar área de solo exposto e movimento de terra evidenciando as mudanças no manancial.

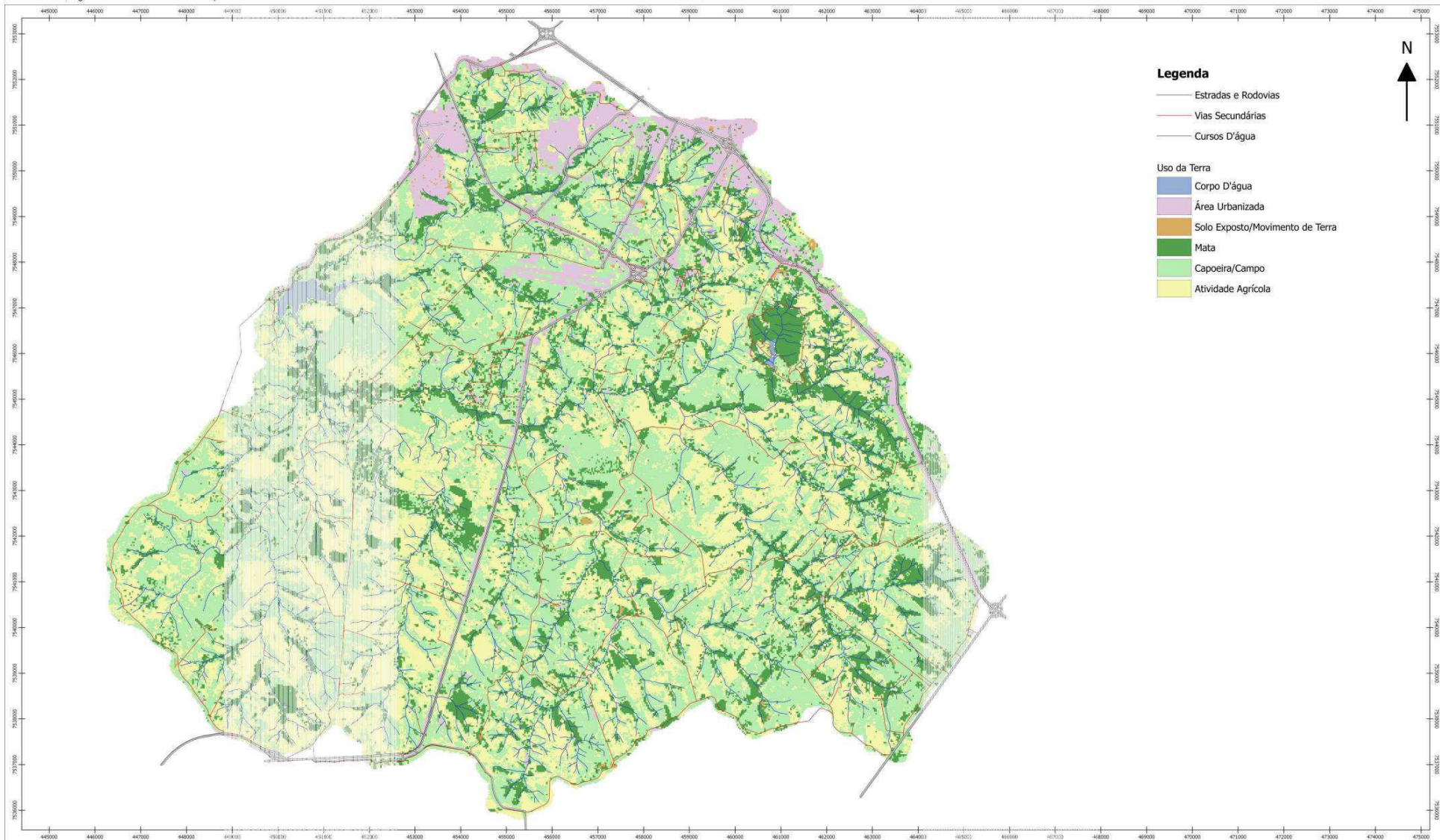
A Figura 11<sup>10</sup>, a seguir, representa o uso e cobertura da terra do manancial do alto curso do rio Santo Anastácio no ano de 2006, vinte anos após a ampliação de área da represa de abastecimento público.

---

<sup>10</sup> Obtida com o uso do software QGIS 2.18 Las Palmas e uso de mapas auxiliares do arquivo do grupo GADIS da FCT UNESP de Presidente Prudente.



Figura 11 - Uso e cobertura da terra no período seco de 2006.



**Legenda**

- Estradas e Rodovias
- Vias Secundárias
- Cursos D'água

**Uso da Terra**

- Corpo D'água
- Área Urbanizada
- Solo Exposto/Movimento de Terra
- Mata
- Capoeira/Campo
- Atividade Agrícola

Representação cartográfica elaborada a partir de classificação de imagens orbitais  
 Satélite: Landsat 5  
 Sensor: Thematic Mapper  
 Resolução Espacial: 30 m x 30 m  
 Data da Imagem: 28/04/2006  
 Órbita-Ponto: 222-75  
 Dados vetoriais disponibilizados pelo Grupo de Pesquisa GADIS - Gestão Ambiental e Dinâmica Socioespacial - da UNESP de Presidente Prudente/SP



1000 0 1000 2000 3000 m  
 1:37.500  
 Referência Horizontal: World Geodetic System 1984 - WGS84  
 Projeção: Universal Transversa de Mercator - UTM  
 Fuso: 22  
 Meridiano Central: -51°  
 Fator de Escala: 0,9996370



BACIA HIDROGRÁFICA DO MANANCIAL DO ALTO CURSO DO RIO SANTO ANASTÁCIO/SP USO DA TERRA - ABRIL DE 2006	
Discendente: Hermes Maurício Nunes Orientador: Antônio César Leal	
unesp UNIVERSIDADE ESTADUAL "JULIÃO DE MESQUITA FILHO" CENTRO DE CIÊNCIAS	UNESP INSTITUTO DE CIÊNCIAS ANASTÁCIO
Profitec Instituto Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos	unesp ANA Agência Nacional de Águas CAPES Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico

A classificação do uso e cobertura da terra, demonstrada na Figura 11, manteve o critério estabelecido pelo modelo de correlação entre o uso e cobertura da terra e a qualidade da água – MQUAL 2.0, classificando as coberturas em área urbanizada, solo exposto e movimento de terra, mata, capoeira/campo e atividade agrícola.

Observa-se que as ações antrópicas diminuíram o ritmo de modificações no espaço geográfico da bacia hidrográfica em comparação ao período de 1986 à 1996.

Nota-se que a perda de mata ou vegetação nativa se estabilizou na bacia hidrográfica do manancial, assim como o uso e cobertura da terra para as atividades agropecuária.

Embora aparentemente estabilizada no período de dez anos, não é possível identificar pelo mapa a ocorrência de atividade de recuperação das APP's que segundo Kohori (2017), é uma prática que não deve ser desprezada, pois ao longo prazo controla o assoreamento e a contaminação de córregos.

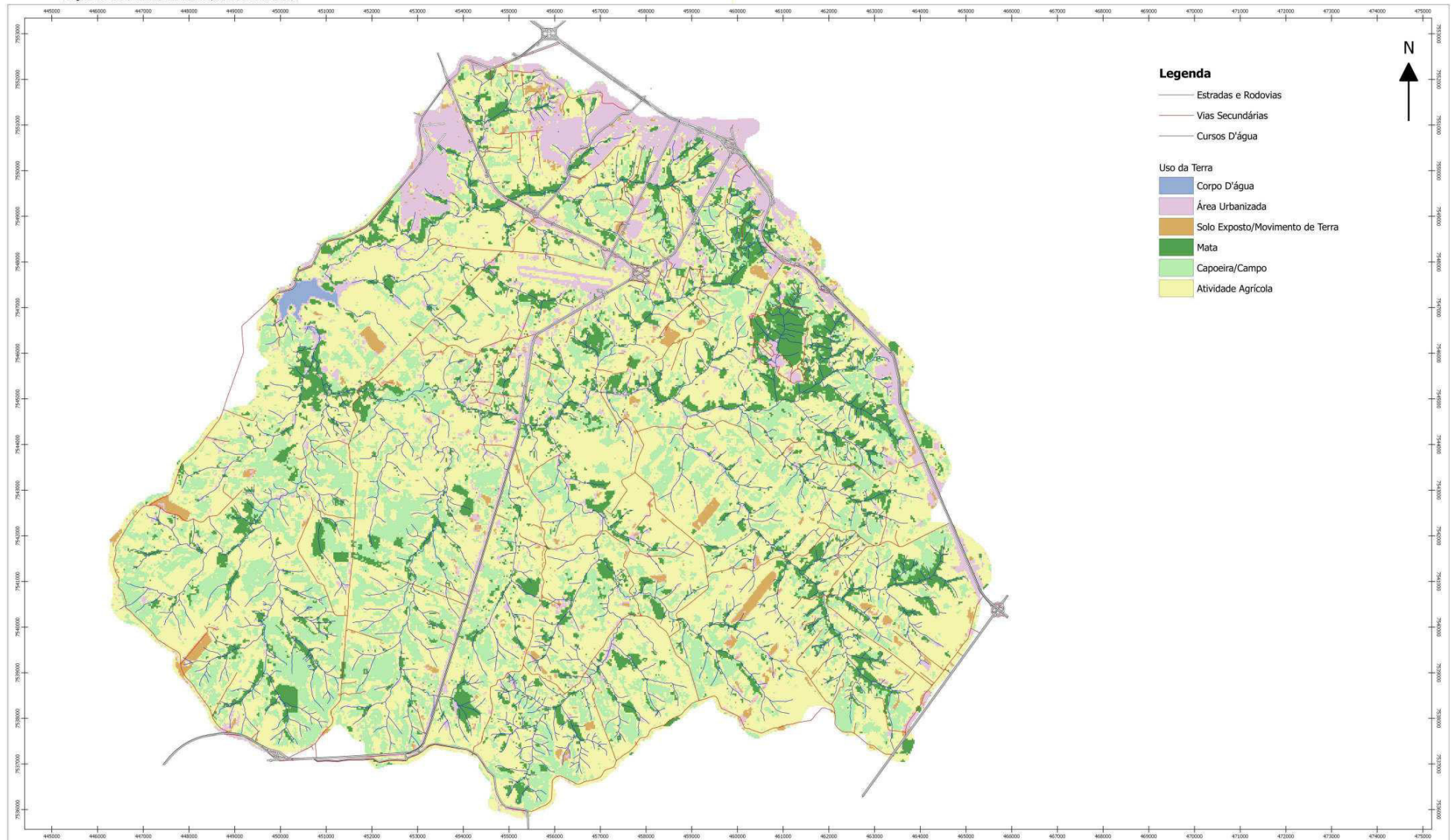
Na área urbanizada que no ano de 1996 continuava avançando em direção ao manancial na sub-bacia hidrográfica do Cedro e em alguns pontos da região sul da bacia hidrográfica apresentava área de solo exposto e movimento de terra evidenciando as mudanças no uso e cobertura da terra do manancial.

A Figura 12<sup>11</sup>, a seguir, representa o uso e cobertura da terra do manancial do alto curso do rio Santo Anastácio no ano de 2016, trinta anos após a ampliação de área da represa de abastecimento público.

---

<sup>11</sup> Obtida com o uso do software QGIS 2.18 Las Palmas e uso de mapas auxiliares do arquivo do grupo GADIS da FCT UNESP de Presidente Prudente.

Figura 12 - Uso e cobertura da terra no período seco de 2016.



- Legenda**
- Estradas e Rodovias
  - Vias Secundárias
  - Cursos D'água
- Uso da Terra**
- Corpo D'água
  - Área Urbanizada
  - Solo Exposto/Movimento de Terra
  - Mata
  - Capoeira/Campo
  - Atividade Agrícola

Representação cartográfica elaborada a partir de classificação de imagens orbitais  
 Satélite: Landsat 8  
 Sensor: Operational Land Imager  
 Resolução Espacial: 30 m x 30 m  
 Data da Imagem: 07/04/2016  
 Órbita-Ponto: 222-75

Dados vetoriais disponibilizados pelo Grupo de Pesquisa GADIS - Gestão Ambiental e Dinâmica Socioespacial - da UNESP de Presidente Prudente/SP



Referência Horizontal: World Geodetic System 1984 - WGS84  
 Projeção: Universal Transversa de Mercator - UTM  
 Fuso: 22  
 Meridiano Central: -51°  
 Fator de Escala: 0,9996370



BACIA HIDROGRÁFICA DO MANANCIAL DO ALTO CURSO DO RIO SANTO ANASTÁCIO/SP	
USO DA TERRA - ABRIL DE 2016	
Discorde: Hermes Maurício Rufes Orientador: Antônio César Leão	

A classificação do uso e cobertura da terra, demonstrado na Figura 12, manteve o critério estabelecido pelo modelo de correlação entre o uso e cobertura da terra e a qualidade da água – MQUAL 2.0, classificando as coberturas em área urbanizada, solo exposto e movimento de terra, mata, capoeira/campo e atividade agrícola.

Verifica-se o mau uso da terra que segundo Piroli e Campos (2002) é uma agressão causada ao ambiente e, sobretudo, aos recursos hídricos, em momento da história onde é possível discutir com a sociedade sobre a importância de preservar e se preciso recuperar para melhorar nossa qualidade de vida.

As ações antrópicas aumentaram o ritmo de modificações no espaço geográfico da bacia hidrográfica e nota-se que a perda de mata ou vegetação nativa cresceu na bacia hidrográfica do manancial.

O predomínio do uso e cobertura do solo para as atividades de agropecuária é evidente nesses últimos dez anos e principalmente se compararmos com o ano de 1986.

A área urbanizada, que no ano de 2006 já demonstrava avanços, em 2016, é possível notar que a mancha urbana segue as rodovias vicinais à SP-284 no sentido do manancial em direção às sub-bacias hidrográficas do Cedro e Cedrinho e pontos isolados decorrentes de atividades comercial e industrial.

Em vários pontos da bacia hidrográfica é possível identificar área de solo exposto e movimento de terra evidenciando as mudanças no manancial em curso, próximo às áreas urbanizadas evidenciam o crescimento da mancha urbana e nas áreas agrícola a mudança de cultura, no entanto, vale ressaltar que esta análise depende de uma imagem de melhor resolução para maior precisão nos cálculos de área.

Segundo Rosa (2006) o uso e cobertura da terra de forma incorreta é devido à falta de informação, necessária, para que através de orientação diminuir qualquer tipo de processo poluente e degradante.

A dinâmica no uso e cobertura da terra, na porção equivalente ao grupo de sub-bacias hidrográficas Desvio Cedro, apresenta processo de urbanização que tem avançado desde a década de 70 e comprometido as nascentes.

A porção monitorada pelo ponto STAN43, nas sub-bacias hidrográficas Olga e Noite Negra, apresenta vegetação nativa representativa na região conhecida como

Cidade da Criança, trechos de APP, reserva legal de propriedades e área de atividade agrícola com pontos de assoreamento. (DIBIESO, 2013)

Ainda na região denominada de STAN43, predomina na porção de Regente Feijó, em especial na sub-bacia hidrográfica Embiri, de vegetação rasteira, como insumo da atividade pecuária de corte e leiteira além da presença do distrito de uso residencial e industrializado do Espigão. (MATOS; PIROLI, 2012)

Já nos trechos de sub-bacias hidrográficas na região Sem Monitoramento e contribuinte integral em vazão para o reservatório de abastecimento, há predominância de atividade agrícola com pontos de assoreamento. (DIBIESO, 2013)

Na Tabela 8, observamos a dinâmica de uso e ocupação de terra do manancial do alto curso do rio Santo Anastácio por sub-bacia hidrográficas e unidades hidrográficas, segundo a classificação proposta por Dibieso (2013), nos anos de 1986 e 1996.

Tabela 8 - Uso e cobertura da terra no manancial do alto curso do rio Santo Anastácio no anos de 1986 e 1996

USO E COBERTURA DA TERRA	Área das sub-bacias hidrográficas e Unidades Hidrográficas - U.H. do manancial do alto curso do Rio Santo Anastácio (km <sup>2</sup> )																	
	Cedro	Cedrinho	Olga	U.H. III	Embiri	Nascentes do Santo Anastácio	U.H. IV	U.H. II	U.H. I	U.H. VII	São Sebastião	Lajeadinho	U.H. VI	Sub-Bacia Hidrográfica I	Araci	Pindaíba	U. H. V	Noite Negra
<b>1986</b>																		
Água	0,06	0,02	0,00	0,01	0,06	0,04	0,00	0,01	0,03	0,04	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03
Área Urbanizada - Padrão Superior	3,32	0,66	0,23	0,00	1,39	0,25	0,00	0,15	0,00	0,03	0,02	0,10	0,00	0,00	0,04	0,03	0,00	0,04
Área Urbanizada - Padrão Inferior	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Área Comercial e Industrial	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Solo Exposto/Movimentação de Terra	0,19	0,11	0,01	0,01	0,10	0,16	0,00	0,01	0,00	0,00	0,02	0,07	0,00	0,01	0,04	0,01	0,00	0,08
Mata	6,21	1,57	1,21	1,19	5,54	4,61	0,44	1,62	0,55	0,14	0,59	3,61	0,07	0,47	3,21	1,71	0,10	7,43
Reflorestamento	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Capoeira/Campo	7,08	1,13	1,81	0,60	5,01	6,83	1,00	0,86	1,87	0,29	1,13	9,37	0,04	1,95	7,04	2,05	0,17	8,83
Atividade Agrícola	14,21	4,70	3,66	1,60	7,14	12,29	1,77	2,66	2,11	0,63	3,08	12,66	0,13	1,70	7,11	3,35	0,30	13,87
<b>TOTAL</b>	<b>31,08</b>	<b>8,19</b>	<b>6,92</b>	<b>3,41</b>	<b>19,25</b>	<b>24,19</b>	<b>3,20</b>	<b>5,30</b>	<b>4,56</b>	<b>1,14</b>	<b>4,84</b>	<b>25,81</b>	<b>0,23</b>	<b>4,13</b>	<b>17,44</b>	<b>7,16</b>	<b>0,57</b>	<b>30,28</b>
<b>1996</b>																		
Água	0,01	0,02	0,00	0,00	0,06	0,00	0,00	0,00	0,03	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Área Urbanizada - Padrão Superior	6,24	0,78	0,18	0,02	1,07	0,08	0,00	0,16	0,00	0,03	0,00	0,03	0,00	0,00	0,20	0,07	0,01	0,04
Área Urbanizada - Padrão Inferior	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Área Comercial e Industrial	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Solo Exposto/Movimentação de Terra	0,88	0,10	0,14	0,05	0,26	0,70	0,32	0,10	0,05	0,01	0,06	0,21	0,00	0,01	0,07	0,11	0,01	0,70
Mata	4,16	1,18	0,68	0,48	3,76	2,59	0,33	0,86	0,54	0,12	0,48	2,69	0,05	0,32	1,38	0,88	0,12	3,46
Reflorestamento	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Capoeira/Campo	6,59	1,67	2,31	0,73	5,65	8,49	1,32	1,21	1,28	0,60	2,13	11,49	0,06	2,00	7,83	2,74	0,25	11,70
Atividade Agrícola	13,19	4,43	3,61	2,14	8,46	12,33	1,23	2,97	2,66	0,29	2,18	11,39	0,11	1,81	7,96	3,36	0,17	14,37
<b>TOTAL</b>	<b>31,08</b>	<b>8,19</b>	<b>6,92</b>	<b>3,41</b>	<b>19,25</b>	<b>24,19</b>	<b>3,20</b>	<b>5,30</b>	<b>4,56</b>	<b>1,14</b>	<b>4,84</b>	<b>25,81</b>	<b>0,23</b>	<b>4,13</b>	<b>17,44</b>	<b>7,16</b>	<b>0,57</b>	<b>30,28</b>

Fonte: O autor.

Na Tabela 8 visualizamos a quantificação da distribuição das classes de uso e cobertura da terra nos anos de 1986 e 1996, conforme os dados de entrada necessários para utilização do modelo de correlação entre o uso e cobertura da terra e a qualidade da água, MQUAL 2.0.

A disposição das sub-bacias hidrográficas seguiu a ordem contando a partir da foz na margem direita até as nascentes, ou seja, da sub-bacia hidrográfica do Cedro até a sub-bacia hidrográfica das nascentes do rio Santo Anastácio, retomando à foz pela margem esquerda da Unidade Hidrográfica VII até a sub-bacia hidrográfica Noite Negra.

A cobertura caracterizada como Área Urbanizada Padrão Inferior, semelhantes às residências precárias e sem infraestrutura de coleta, afastamento e tratamento de esgoto no entorno de grandes mananciais da RMSP não tem registro de existência no manancial do alto curso do rio Santo Anastácio.

A tipologia Área Urbanizada Padrão Inferior, não existente no manancial do alto curso do rio Santo Anastácio, na definição de ARA I ou II, onde a ARA I é aquela com assentamentos habitacionais precários de interesse social, carentes de serviços básicos de saneamento de forma que o poder público deva criar ambientes de promoção de programas de recuperação urbana e ambiental, que norteará os processos de licenciamento ambiental na bacia hidrográfica envolvida. E ARA II é restrita às áreas privadas indicadas como degradadas pelo poder público, cujos responsáveis tem a obrigação legal de recuperação imediata. (SÃO PAULO, 2009)

Não é possível caracterizar a cobertura classificada como Reflorestamento nos anos de 1986 e 1996 por não ter registro documental de ações antrópicas de recuperação de mata nativa ou até mesmo de regeneração natural.

Em todas as sub-bacias hidrográficas nota-se a diminuição de mata nativa no ano de 1996 quando comparado ao ano de 1986, exceto na Unidade Hidrográfica V. As sub-bacias hidrográficas que proporcionalmente tiveram uma maior redução de mata nativa foram na ordem crescente: U.H. II, Pindaíba, Noite Negra, Araci e U.H. III.

A atividade agropecuária diminuiu na sub bacia hidrográfica do Cedro, permaneceu estável nas Unidades Hidrográficas I, IV, V e VII e cresceu nas demais sub-bacias hidrográfica, tendo uma proporção maior de crescimento em ordem crescente nas sub bacias hidrográficas Noite Negra, Embiri, U.H II e U.H. III.

A categoria área comercial/industrial está incluída na área urbanizada de padrão superior por não ser possível identifica-la com a resolução das imagens.

As áreas de maior exposição de solo e movimentação de terra devido às mudanças em andamento de uso e cobertura da terra na comparação entre 1986 e 1996 foram encontradas na sub-bacia hidrográfica Olga e nas unidades hidrográficas U.H.I., U.H.II, U.H. IV e U.H. V.

Santos e Leal (2012) ao estudarem o comportamento de outras sub-bacias hidrográficas na UGRHI-22 mencionam a dinâmica do uso e cobertura da terra como importante elemento para entender a dinâmica da paisagem e o reflexo destas dinâmicas vigentes.

Na Tabela 9, observamos a dinâmica de uso e ocupação de terra do manancial do alto curso do rio Santo Anastácio por sub-bacia hidrográficas e unidades hidrográficas, segundo a classificação proposta por Dibieso (2013), nos anos de 1996 e 2006.



Tabela 9 - Uso e cobertura da terra no manancial do alto curso do rio Santo Anastácio no anos de 1996 e 2006

USO E COBERTURA DA TERRA	Área das sub-bacias hidrográficas e Unidades Hidrográficas - U.H. do manancial do alto curso do Rio Santo Anastácio (km <sup>2</sup> )																	
	Cedro	Cedrinho	Olga	U.H. III	Embiri	Nascentes do Santo Anastácio	U.H. IV	U.H. II	U.H. I	U.H. VII	São Sebastião	Lajeadozinho	U.H. VI	Sub-Bacia Hidrográfica I	Araci	Pindaíba	U. H. V	Noite Negra
<b>1996</b>																		
Água	0,01	0,02	0,00	0,00	0,06	0,00	0,00	0,00	0,03	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Área Urbanizada - Padrão Superior	6,24	0,78	0,18	0,02	1,07	0,08	0,00	0,16	0,00	0,03	0,00	0,03	0,00	0,00	0,20	0,07	0,01	0,04
Área Urbanizada - Padrão Inferior	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Área Comercial e Industrial	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Solo Exposto/Movimentação de Terra	0,88	0,10	0,14	0,05	0,26	0,70	0,32	0,10	0,05	0,01	0,06	0,21	0,00	0,01	0,07	0,11	0,01	0,70
Mata	4,16	1,18	0,68	0,48	3,76	2,59	0,33	0,86	0,54	0,12	0,48	2,69	0,05	0,32	1,38	0,88	0,12	3,46
Reflorestamento	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Capoeira/Campo	6,59	1,67	2,31	0,73	5,65	8,49	1,32	1,21	1,28	0,60	2,13	11,49	0,06	2,00	7,83	2,74	0,25	11,70
Atividade Agrícola	13,19	4,43	3,61	2,14	8,46	12,33	1,23	2,97	2,66	0,29	2,18	11,39	0,11	1,81	7,96	3,36	0,17	14,37
<b>TOTAL</b>	<b>31,08</b>	<b>8,19</b>	<b>6,92</b>	<b>3,41</b>	<b>19,25</b>	<b>24,19</b>	<b>3,20</b>	<b>5,30</b>	<b>4,56</b>	<b>1,14</b>	<b>4,84</b>	<b>25,81</b>	<b>0,23</b>	<b>4,13</b>	<b>17,44</b>	<b>7,16</b>	<b>0,57</b>	<b>30,28</b>
<b>2006</b>																		
Água	0,00	0,02	0,00	0,00	0,07	0,01	0,00	0,00	0,03	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
Área Urbanizada - Padrão Superior	7,06	0,71	0,20	0,02	0,85	0,24	0,00	0,19	0,01	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,22	0,13	0,01	0,08
Área Urbanizada - Padrão Inferior	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Área Comercial e Industrial	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Solo Exposto/Movimentação de Terra	0,17	0,02	0,02	0,01	0,05	0,02	0,00	0,02	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,02	0,02	0,00	0,13
Mata	4,68	1,05	1,19	0,63	5,33	4,10	0,40	1,03	0,52	0,10	0,52	2,81	0,06	0,87	2,24	0,90	0,09	4,63
Reflorestamento	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Capoeira/Campo	11,82	4,16	2,83	1,71	6,54	10,90	1,37	2,59	2,34	0,44	2,61	11,71	0,09	1,55	6,22	3,75	0,29	14,91
Atividade Agrícola	7,36	2,23	2,67	1,04	6,43	8,92	1,43	1,47	1,65	0,52	1,69	11,26	0,08	1,71	8,74	2,36	0,17	10,51
<b>TOTAL</b>	<b>31,08</b>	<b>8,19</b>	<b>6,92</b>	<b>3,41</b>	<b>19,25</b>	<b>24,19</b>	<b>3,20</b>	<b>5,30</b>	<b>4,56</b>	<b>1,14</b>	<b>4,84</b>	<b>25,81</b>	<b>0,23</b>	<b>4,13</b>	<b>17,44</b>	<b>7,16</b>	<b>0,57</b>	<b>30,28</b>

Fonte: O autor.

Na Tabela 9 visualizamos a quantificação da distribuição das classes de uso e cobertura da terra nos anos de 1996 e 2006, conforme os dados de entrada necessários para utilização do modelo de correlação entre o uso e cobertura da terra e a qualidade da água, MQUAL 2.0.

A disposição das sub-bacias hidrográficas seguiu a ordem contando a partir da foz na margem direita até as nascentes, ou seja, da sub-bacia hidrográfica do Cedro até a sub-bacia hidrográfica das nascentes do rio Santo Anastácio, retomando à foz pela margem esquerda da Unidade Hidrográfica VII até a sub-bacia hidrográfica Noite Negra.

A cobertura caracterizada como Área Urbanizada Padrão Inferior, semelhantes às residências precárias e sem infraestrutura de coleta, afastamento e tratamento de esgoto no entorno de grandes mananciais da RMSP não tem registro de existência no manancial do alto curso do rio Santo Anastácio.

Não é possível caracterizar a cobertura classificada como Reflorestamento nos anos de 1996 e 2006 por não ter registro documental de ações antrópicas de recuperação de mata nativa ou até mesmo de regeneração natural.

Em todas as sub-bacias hidrográficas nota-se a estabilização de mata nativa no ano de 2006 quando comparado ao ano de 1996, exceto na Unidade Hidrográfica V.

A atividade agropecuária manteve a queda na sub bacia hidrográfica do Cedro, cresceu nas Unidades Hidrográficas IV, V e VII e estabilizou-se nas demais sub-bacias hidrográficas.

A área comercial e industrial está incluída na área urbanizada de padrão superior por não ser possível identifica-la com a resolução das imagens.

Não houve área de maior exposição de solo e movimentação de terra significativas na comparação entre 1996 e 2006.

Zanata et al. (2012) relataram a importância da análise ambiental a partir do uso e cobertura da terra devido às grandes mudanças nas categorias de uso da terra, com destaque para o avanço da agricultura e pecuária frente à cobertura vegetal natural de modo a influenciar negativamente na qualidade das águas superficiais e subterrâneas.

Na Tabela 10, observamos a dinâmica de uso e ocupação de terra do manancial do alto curso do rio Santo Anastácio por sub-bacia hidrográfica e unidades

hidrográficas, segundo a classificação proposta por Dibieso (2013), nos anos de 2006 e 2016.

Tabela 10 - Uso e cobertura da terra no manancial do alto curso do rio Santo Anastácio no anos de 2006 e 2016

USO E COBERTURA DA TERRA	Área das sub-bacias hidrográficas e Unidades Hidrográficas - U.H. do manancial do alto curso do Rio Santo Anastácio (km <sup>2</sup> )																	
	Cedro	Cedrinho	Olga	U.H. III	Embiri	Nascentes do Santo Anastácio	U.H. IV	U.H. II	U.H. I	U.H. VII	São Sebastião	Lajeado	U.H. VI	Sub-Bacia Hidrográfica I	Araci	Pindaíba	U. H. V	Noite Negra
<b>2006</b>																		
Água	0,00	0,02	0,00	0,00	0,07	0,01	0,00	0,00	0,03	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
Área Urbanizada - Padrão Superior	7,06	0,71	0,20	0,02	0,85	0,24	0,00	0,19	0,01	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,22	0,13	0,01	0,08
Área Urbanizada - Padrão Inferior	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Área Comercial e Industrial	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Solo Exposto/Movimentação de Terra	0,17	0,02	0,02	0,01	0,05	0,02	0,00	0,02	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,02	0,02	0,00	0,13
Mata	4,68	1,05	1,19	0,63	5,33	4,10	0,40	1,03	0,52	0,10	0,52	2,81	0,06	0,87	2,24	0,90	0,09	4,63
Reflorestamento	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Capoeira/Campo	11,82	4,16	2,83	1,71	6,54	10,9	1,37	2,59	2,34	0,44	2,61	11,71	0,09	1,55	6,22	3,75	0,29	14,91
Atividade Agrícola	7,36	2,23	2,67	1,04	6,43	8,92	1,43	1,47	1,65	0,52	1,69	11,26	0,08	1,71	8,74	2,36	0,17	10,51
<b>TOTAL</b>	<b>31,08</b>	<b>8,19</b>	<b>6,92</b>	<b>3,41</b>	<b>19,25</b>	<b>24,19</b>	<b>3,20</b>	<b>5,30</b>	<b>4,56</b>	<b>1,14</b>	<b>4,84</b>	<b>25,81</b>	<b>0,23</b>	<b>4,13</b>	<b>17,44</b>	<b>7,16</b>	<b>0,57</b>	<b>30,28</b>
<b>2016</b>																		
Água	0,00	0,02	0,00	0,00	0,07	0,01	0,00	0,00	0,03	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
Área Urbanizada - Padrão Superior	6,57	0,22	0,36	0,08	0,73	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Área Urbanizada - Padrão Inferior	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Área Comercial e Industrial	2,49	0,69	0,15	0,02	0,85	0,75	0,13	0,53	0,23	0,12	0,13	0,46	0,01	0,06	0,7	0,37	0,02	0,82
Solo Exposto/Movimentação de Terra	0,49	0,03	0,19	0,01	0,09	0,67	0,05	0,04	0,21	0,01	0,06	0,44	0,00	0,00	0,12	0,11	0,00	0,52
Mata	3,78	0,83	1,04	0,48	4,18	2,54	0,20	0,55	0,34	0,08	0,40	2,38	0,08	0,30	1,16	0,54	0,05	2,56
Reflorestamento	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Capoeira/Campo	3,07	0,83	1,07	0,31	3,69	4,39	0,62	0,82	0,78	0,39	1,01	8,23	0,00	1,27	5,34	1,65	0,09	5,89
Atividade Agrícola	14,67	5,57	4,11	2,51	9,64	15,84	2,20	3,35	2,97	0,49	3,24	14,30	0,14	2,49	10,12	4,50	0,41	20,47
<b>TOTAL</b>	<b>31,08</b>	<b>8,19</b>	<b>6,92</b>	<b>3,41</b>	<b>19,25</b>	<b>24,19</b>	<b>3,20</b>	<b>5,30</b>	<b>4,56</b>	<b>1,14</b>	<b>4,84</b>	<b>25,81</b>	<b>0,23</b>	<b>4,12</b>	<b>17,44</b>	<b>7,16</b>	<b>0,57</b>	<b>30,28</b>

Fonte: O autor.

Na Tabela 10 visualizamos a quantificação da distribuição das classes de uso e cobertura da terra nos anos de 2006 e 2016, conforme os dados de entrada necessários para utilização do modelo de correlação entre o uso e cobertura da terra e a qualidade da água, MQUAL 2.0.

A disposição das sub-bacias hidrográficas seguiu a ordem contando a partir da foz na margem direita até as nascentes, ou seja, da sub-bacia hidrográfica do Cedro até a sub-bacia hidrográfica das nascentes do rio Santo Anastácio, retomando à foz pela margem esquerda da Unidade Hidrográfica VII até a sub-bacia hidrográfica Noite Negra.

A cobertura caracterizada como Área Urbanizada Padrão Inferior, semelhantes às residências precárias e sem infraestrutura de coleta, afastamento e tratamento de esgoto no entorno de grandes mananciais da RMSP não tem registro de existência no manancial do alto curso do rio Santo Anastácio.

Em todas as sub-bacias hidrográficas nota-se a diminuição de mata nativa no ano de 2016 quando comparado ao ano de 2006, exceto na Unidade Hidrográfica VI. As sub-bacias hidrográficas que proporcionalmente tiveram uma maior redução de mata nativa foram na ordem crescente: U.H. II, U.H. IV, Araci e Sub Bacia Hidrográfica I.

A atividade agropecuária manteve a queda na sub bacia hidrográfica do Cedro e reduziu nas U.H. VI e VII, teve crescimento com destaque maior nas Sub Bacia Hidrográfica I e U.H. V.

No ano de 2016, a área comercial e industrial é separada da área urbanizada de padrão superior, devido a disponibilidade de conferência no local e o apoio de imagens disponíveis no site Google Earth. Essa diferenciação ocorre devido ao uso de coeficientes de geração de carga difusa diferenciados.

As sub bacias hidrográficas de maior exposição de solo e movimentação de terra significativas, em termos proporcionais, na comparação entre 2006 e 2016 foram em ordem crescente: Nascentes do rio Santo Anastácio, U.H. IV, Lajeadozinho e U.H.V.

Na Tabela 11, observamos a somatória de áreas de uso e ocupação de terra do manancial do alto curso do rio Santo Anastácio, observando sua tendência de transformação, entre os anos de 1986 e 2016.

Tabela 11 - Uso e cobertura da terra no manancial do alto curso do rio Santo Anastácio nos anos de 1986, 1996, 2006 e 2016 e cenários tendenciais de 2026 e 2036

Uso da terra no manancial do alto curso do rio Santo Anastácio	Área (km <sup>2</sup> )					
	1986	1996	2006	2016	2026	2036
Água	0,35	0,22	0,19	0,20	...	...
Área Urbanizada - Padrão Superior	6,25	8,90	9,76	7,96	6,28	7,42
Área Urbanizada - Padrão Inferior	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Área Comercial - Industrial	...	...	...	8,53	5,12	5,12
Solo exposto	0,81	3,78	0,51	3,05	0,51	0,51
Mata	40,26	24,08	31,15	21,49	26,80	24,77
Reflorestamento	...	...	...	...	...	...
Capoeira/Campo	57,06	68,07	85,83	39,43	99,22	109,22
Atividade Agrícola	92,95	92,66	70,25	117,00	59,75	50,69
Total	<b>197,70</b>	<b>197,70</b>	<b>197,70</b>	<b>197,70</b>	<b>197,70</b>	<b>197,70</b>

Fonte: O autor.

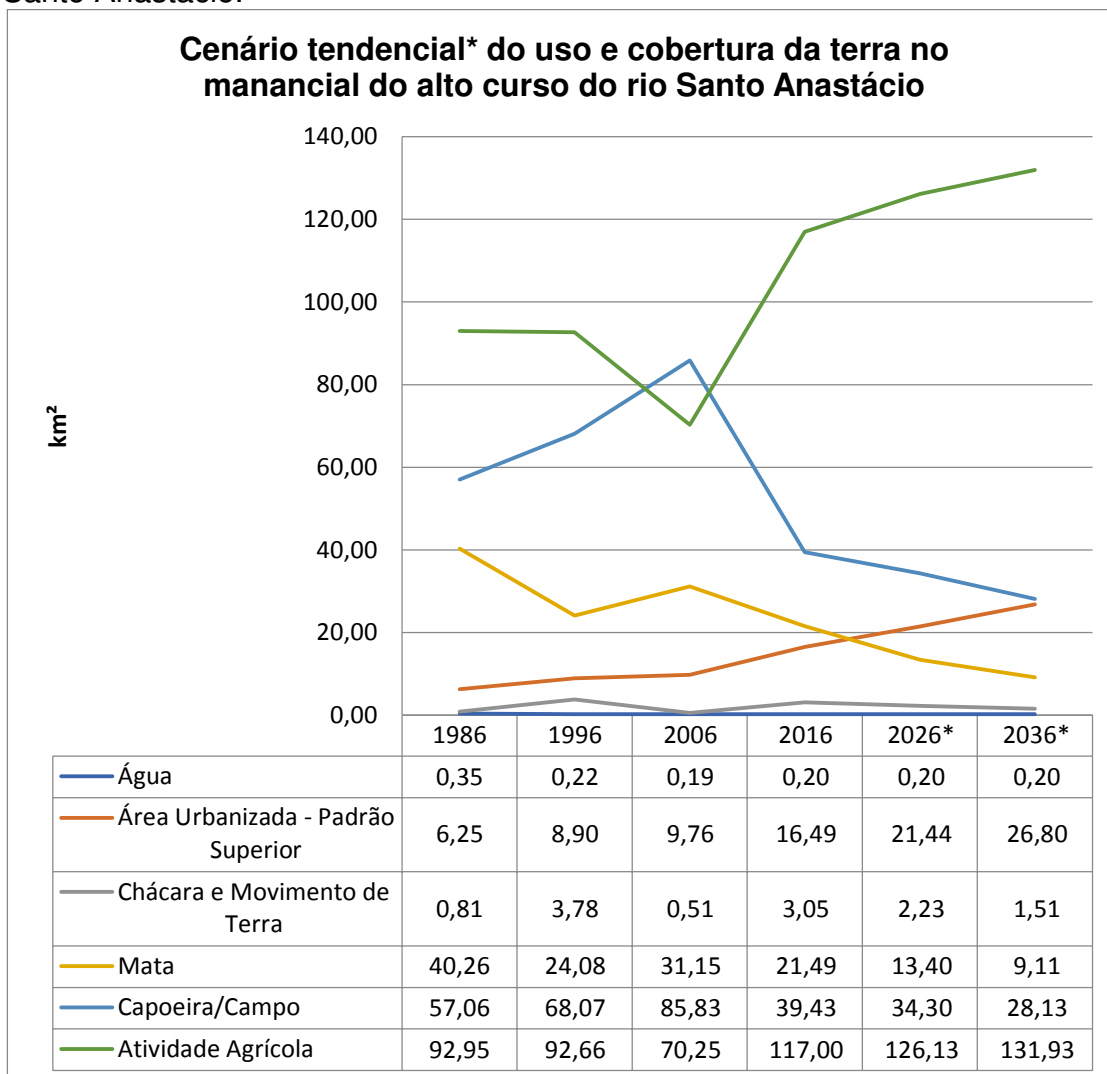
A Tabela 11 fornece os dados para o diagnóstico temporal do uso e ocupação da terra no manancial do alto curso do rio Santo Anastácio de 1986 a 2016 e faz projeção por linha de tendência para os anos de 2026 e 2036.

O mapeamento desses conflitos de uso da terra em áreas de proteção permanente permite analisar a relação existente com a qualidade da água, como feito por Capoane et al. (2015) ao estudarem o conflito existente entre o uso da terra em APP e a qualidade da água no período de 12 anos em duas pequenas bacias hidrográficas.

A diminuição brusca da categoria mata foi observada em dois períodos, entre os anos de 1986/1996 e 2006/2016, e o aumento da área urbanizada de 1986/2016 e da atividade agrícola entre 2006/2016.

Essas mudanças de uso e cobertura da terra, onde a mata é substituída por outras formas de uso, causa a movimentação do solo que influenciam negativamente na qualidade da água como observado por Freitas (2015) que identificou essas relações na bacia hidrográfica de contribuição da represa de São Pedro em Juiz de Fora/MG. Na figura 13, verificamos em formato gráfico a tendência de uso e cobertura da terra no manancial do alto curso do rio Santo Anastácio.

Figura 13 - Cenário tendencial do uso e cobertura da terra no manancial do alto curso do rio Santo Anastácio.



Fonte: O autor.

Observando o gráfico da figura 13, os cenários previstos para os períodos 2026/2036 foram baseados em linhas de tendências alimentadas com os dados reais do período de 1986/2016, porém, essa técnica serve como estudo preliminar, pois não se tem as categorias de reflorestamento e atividades comercial/industrial nos períodos 1986/2006, estando mescladas com as atividades mata e área urbanizada de padrão superior respectivamente.

Observando os mapas de uso e cobertura da terra dos anos de 1986 a 2016, nota-se a potencialização de distúrbios ambientais, tais como: I – o avanço da urbanização, evidenciado pelo crescimento da mancha urbana; II – o aumento da poluição difusa; III – necessidade de implantação de sistema de esgotamento sanitário; IV – comprometimento da qualidade da água de sub-bacias hidrográficas de

uso urbano e rural, pela falta de ações corretivas baseadas na implantação de um sistema de monitoramento em pontos estratégico; V – o desmatamento cujo maior malefício é a diminuição da produção de água.

O avanço da mancha urbana sobre as áreas de mananciais provoca o carreamento da poluição difusa características das áreas urbanas refletindo na diminuição da qualidade da água dos ecossistemas aquáticos, tal qual observado por Pinheiro et al. (2014) que avaliaram as concentrações e cargas de parâmetros físicos e químicos das águas do Ribeirão Garcia, no município de Blumenau, Estado de Santa Catarina – SC.

A presença de água não significa garantia de abastecimento se o aporte de esgoto, poluição difusa tanto urbana como rural tornar essa mesma água comprometida para o consumo humano, observação que se faz devido a urbanização da sub-bacia hidrográfica do córrego do Cedro e também observada por Fontes et al. (2015) que avaliaram o processo de salinização das águas superficiais de cinco reservatórios no semiárido brasileiro, estabelecendo relações entre fatores climáticos, características químicas da água armazenada e o comportamento hídrico dos reservatórios.

A urbanização quando não ocorre com a infraestrutura de coleta, afastamento e tratamento de esgoto compromete a qualidade dos recursos hídricos superficiais, potencializando os impactos ambientais em área de nascentes, tal qual observou Saad et al. (2015) que avaliaram a qualidade da água do Rio Baquirivu-Guaçu, em seu alto curso, localizado no município de Arujá e Guarulhos, Estado de São Paulo – SP, entre 1983 e 2012.

O sentido do avanço urbano nas sub-bacias hidrográficas do Cedro, Cedrinho e Embiri no decorrer desses 30 anos trouxe desafios aos órgãos gestores dos recursos hídricos de avaliar as modificações ambientais temporais como proposto por Ortega e Carvalho (2013) que utilizaram o Índice de Qualidade da Água – IQA e o Índice de Transformação Antrópica – ITA para obter os níveis reais da poluição produzida pela mudança no uso e cobertura da terra nos recursos hídricos do Córrego do Ipê, localizado no município de Ilha Solteira, Estado de São Paulo – SP.

O uso e ocupação da terra de uma bacia hidrográfica pode direcionar para a perda e manutenção da qualidade de suas águas superficiais, em especial quando a poluição difusa de origem diversa não dispuser de pontos de monitoramento para

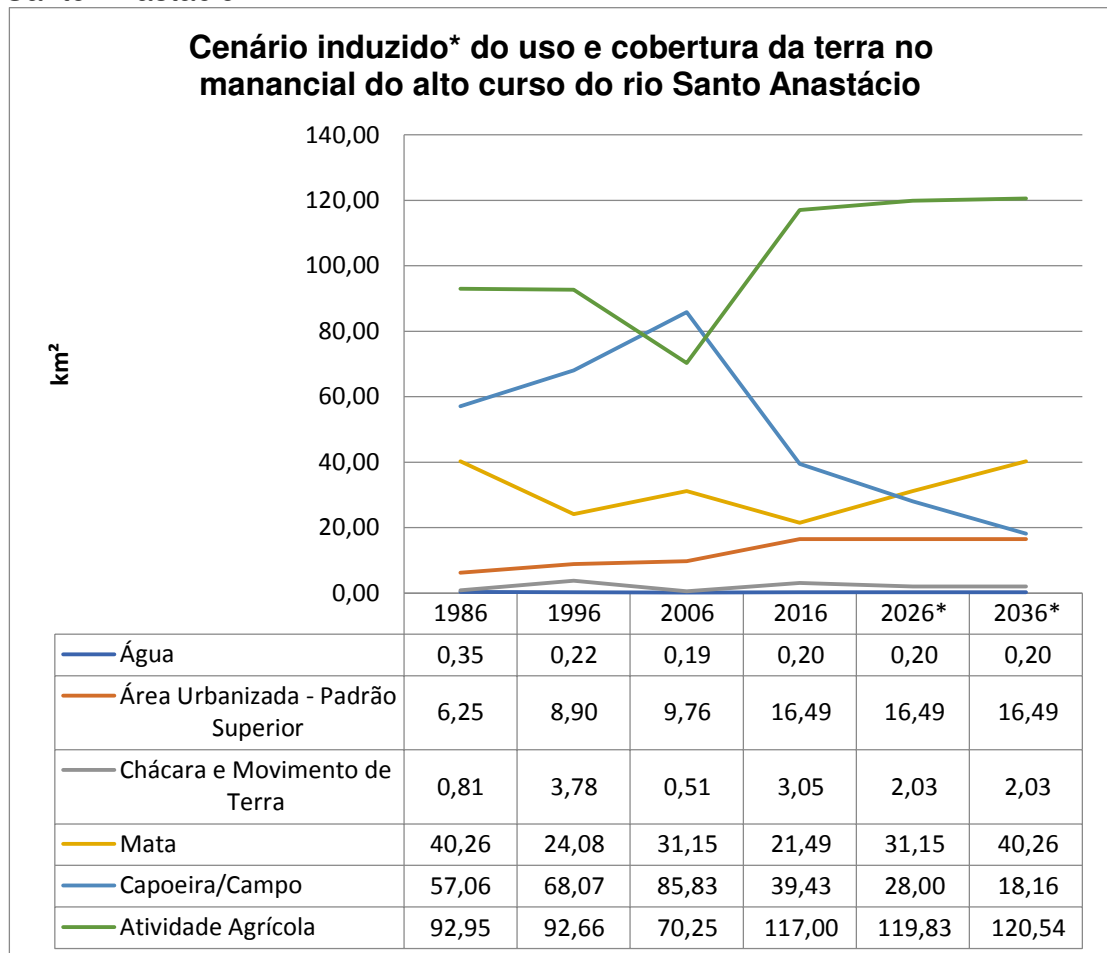


controle da poluição das águas, em locais estratégicos, como observado no trabalho de Oliveira e Maillard (2015) que utilizaram dados de dezessete estações de monitoramento e de oito estações fluviométricas de vazão implantadas na calha principal do Rio das Velhas localizada na região central do Estado de Minas Gerais - MG ao avaliar o uso da técnica de árvore de decisão no estudo da relação: vazão – uso e cobertura da terra – qualidade da água.

O efeito das atividades agrícolas tanto tradicional como mecanizada também tem causado o desmatamento e a eutrofização de corpos d'águas como observado por Aguiar et al. (2015) ao estudarem o nível de trofia em micro bacias hidrográficas sob diferentes uso e cobertura da terra na região amazônica, nos municípios de Santarém e Belterra, Estado do Pará – PA.

A seguir é apresentado a figura 14 em forma de gráfico que melhor demonstra o cenário induzido de estabilidade da área urbana consolidada e a recuperação da mata nativa.

Figura 14 - Cenário induzido do uso e cobertura da terra no manancial do alto curso do rio Santo Anastácio.



Fonte: O autor.

Em análise à figura 14, a proposta de recuperação de matas nativas é devido à baixa taxa de mata nativa decorrente das atividades econômicas observada entre os anos de 1986 e 2016, que evidencia a existência de fatores potenciais de degradação da qualidade da água do manancial, fenômeno observado por Pinheiro et al. (2014) que quantificaram as concentrações e as cargas transportadas de substâncias associadas à qualidade da água na bacia hidrográfica do rio Duas Mamas, localizada no município de Schroeder/SC.

A dinâmica do uso e cobertura da terra entre os anos de 1986 a 2016, necessitam de análise complementar para melhor compreensão das mudanças ocorridas na bacia hidrográfica e a quantificação do dano causado em decorrência do avanço urbano e uso agrícola do manancial. Vargas e Ferreira (2012), chegaram a conclusão semelhante na avaliação da qualidade ambiental nas micro bacias hidrográficas do Ribeirão Arrependido e do Ribeirão Empossado, afluentes do Rio Guandu, município de Afonso Cláudio/ES.

Os mapas foram elaborados com base no período seco para uso no modelo de correlação entre o uso e cobertura da terra e a qualidade da água, porém é importante lembrar que embora pouco usual, a análise de transporte de cargas químicas pode ser usado em tempo chuvoso conforme demonstrado no trabalho desenvolvido por Zucco, Pinheiro e Soares (2015) que estudaram o efeito da mudança de escala espacial no transporte de fosfato, nitrato e nitrito no ribeirão da Concórdia, município de Lontras/SC.

O uso de geotecnologia, de sensoriamento remoto, na investigação da qualidade da água e do uso e cobertura da terra utilizado por Freire e Castro (2014), concluíram que a principal relação sobre a atividade humana na sub-bacia hidrográfica do rio Itapemirim (ES/MG), em período de seco, está associado ao solo exposto e com a atividade de pastagem que juntas representam 50% das áreas ocupadas, influenciado na qualidade da água em trechos com pouco Oxigênio Dissolvido – OD e alta concentração de nitratos associado ao material orgânico lançado de forma difusa devido ao manejo deficiente da atividade pecuária.

Para o uso do modelo de correlação entre o uso da terra e a qualidade da água, é apresentado na Tabela 12, a divisão do manancial do alto curso do rio Santo Anastácio em três categorias: Desvio Cedro, STAN43 e Sem Monitoramento

Tabela 12 - Uso e cobertura da terra em grupos de sub bacias de características distintas

USO E COBERTURA DA TERRA - 2016	Área das sub-bacias hidrográficas e Unidades Hidrográficas - U.H. do manancial do alto curso do Rio Santo Anastácio (km <sup>2</sup> )		
	Sub-bacias hidrográficas Desvio Cedro	Sub-bacias hidrográficas STAN0043	Sub-bacias hidrográficas Sem Monitoramento
Água	0,11	0,09	0,01
Área Urbanizada - Padrão Superior	6,79	1,17	0,00
Área Urbanizada - Padrão Inferior	0,00	0,00	0,00
Área Comercial e Industrial	3,53	3,27	1,73
Solo exposto	0,74	1,58	0,73
Mata	4,04	9,68	4,64
Reflorestamento	0,99	1,92	0,22
Capoeira/Campo	5,07	16,88	17,49
Atividade Agrícola	23,70	58,53	34,79
SUB-TOTAL	44,97	93,11	59,61
TOTAL		197,70	

Fonte: O autor.

A Tabela 12, é o produto final de dados de entrada para o modelo de correlação entre o uso e ocupação da terra e a qualidade da água – MQUAL 2.0 e segue a divisão apresentada na figura 3F.

O grupo de sub-bacias hidrográficas Desvio do Cedro é composto pelas sub-bacias hidrográficas Cedro, Cedrinho, U.H. I e U.H. VII. O grupo de sub-bacias hidrográficas STAN43 é composto pelas sub-bacias hidrográficas Olga, Embiri, Nascentes do rio Santo Anastácio, Noite Negra, U.H. II, U.H. III, U.H. IV e U. H. V. O grupo de sub-bacias hidrográficas Sem Monitoramento é composto pelas sub-bacias hidrográficas São Sebastião, Lajeadinho, Sub-Bacia Hidrográfica I, Araci, Pindaíba e U.H. VI.

## 5.2 Diagnóstico de geração de carga – ano base - 2016

Deu-se início o cálculo de geração de cargas para o cenário base de 2016, no manancial do alto curso do rio Santo Anastácio, somando os dados obtidos em cada

sub-bacias hidrográficas e agrupando-os em grupos já definidos, apresenta-se a seguir os dados de geração de carga, na Tabela 13.

Tabela 13 - Geração diária de carga em kg no manancial do alto curso do rio Santo Anastácio em cenário real de 2016

CONJUNTO DE SUB-BACIA HIDROGRÁFICA	CARGAS (2016)					
	P TOTAL		N TOTAL		DBO <sub>5,20</sub>	
	(kg/dia)	(%)	(kg/dia)	(%)	(kg/dia)	(%)
<b>STAN 43</b>	4,69	0,45	21,52	0,42	448,93	0,43
<b>Desvio Cedro</b>	3,18	0,30	18,34	0,35	352,33	0,33
<b>Sem Monitoramento</b>	2,66	0,25	12,01	0,23	253,79	0,24

Fonte: O autor.

Legenda: 1 - **STAN43** é o conjunto de sub-bacias hidrográficas monitoradas pela Cetesb - Olga, Embiri, Nascentes do rio Santo Anastácio, Noite Negra, U.H.II, U.H. III, U.H.IV e U.H.V; 2 - **Desvio Cedro** é o conjunto de sub-bacias hidrográficas cujas águas são parcialmente desviadas da represa para a montante da captação - Cedro, Cedrinho, U.H.I, U.H.VII; 3 - **Sem Monitoramento** é o conjunto de sub-bacias hidrográficas não abrangidos pelo ponto STAN43 e contribuem 100% para a represa de abastecimento - São Sebastião, Lajeado, Sub-Bacia Hidrográfica I, Araci, Pindaíba e U.H.VI.

Para chegar aos valores de carga gerada de N, P e DBO<sub>5,20</sub> no manancial do alto curso do rio Santo Anastácio, apresentados na Tabela 13, considerou-se a exportação e tratamento de esgoto gerado nas sub-bacias hidrográficas Cedro e Cedrinho para a jusante da área de estudo, onde variável população é multiplicada pelo fator de baixa densidade populacional, de porcentagem de rede e de tratamento de esgoto, característica da área de estudo.

A variante população urbana não afetará o cálculo para a geração de carga difusa oriunda do esgoto doméstico, pois neste estudo, considerou-se a bacia hidrográfica universalizada e sem lançamento direto de esgoto nos corpos hídricos.

Não há assentamento urbanos classificados como favela ou área urbanizada de padrão inferior no manancial do alto curso do rio Santo Anastácio e, portanto, os valores de coeficientes de geração de carga foram dispensados na fórmula.

O manancial do alto curso do rio Santo Anastácio possui três situações que deve ser considerada para o cálculo de geração de carga a saber. Há um conjunto de sub-bacias hidrográficas que são monitoradas pela CETESB pelo ponto denominado STAN43, cujos valores são passíveis de validação de resultados.

Outro conjunto de sub-bacias hidrográficas, de uso da terra urbano e rural apontados no respectivo PDPA cujas águas, são parcialmente desviadas para jusante da represa, é chamado neste estudo de Desvio Cedro e por fim outro conjunto de sub-bacias hidrográficas tipicamente rural sem monitoramento e que contribui cem por

cento para a represa de captação, chamada de Sub-bacia hidrográfica Sem Monitoramento. No entanto, essas duas últimas regiões não terão validação, porém devido à importância para a análise do manancial serão estimadas neste estudo.

Os resultados apresentados indicam que na bacia hidrográfica que engloba as sub-bacias hidrográficas monitoradas pelo ponto STAN43 há o aporte diário de 4,69 kg de fósforo total, 21,52 kg de nitrogênio e 448,93 kg de DBO<sub>5,20</sub> devido ao uso e ocupação desta bacia hidrográfica.

Dentre os três conjuntos de bacias hidrográficas, o conjunto STAN43 é a que tem a maior área de mata nativa (9,68 km<sup>2</sup>) e a maior contribuição de cargas difusas decorrente das atividades agrícolas (958,53 km<sup>2</sup>) e de campo (16,88 km<sup>2</sup>).

A origem dessas cargas pode estar associada com a falta de adoção de práticas conservadoras de solo no cultivo agrícola, retirada da vegetação nativa, movimentação do solo, práticas pecuaristas e industriais.

Abaixo, na Tabela 14, apresenta-se os resultados de concentração dos parâmetros estudados, no conjunto de sub-bacias hidrográficas com base na vazão mínima Q<sub>7,10</sub>.

Tabela 14 - Concentração de fósforo (P), nitrogênio (N) e DBO<sub>5,20</sub> no manancial do alto curso do rio Santo Anastácio em cenário real de 2016

SUB-BACIA HIDROGRÁFICA	Q <sub>7,10</sub> <sup>12</sup> (m <sup>3</sup> /s)	CONCENTRAÇÃO NAS SUB-BACIAS HIDROGRÁFICAS - 2016		
		P (mg/l)	N (mg/l)	DBO <sub>5,20</sub> (mg/l)
<b>STAN 43</b>	0,254	0,214	0,981	20,457
<b>Desvio Cedro</b>	0,121	0,304	1,754	33,702
<b>Sem Monitoramento</b>	0,163	0,189	0,853	18,020

Fonte: O autor.

A concentração de carga gerada de fósforo na respectiva vazão mínima é apresentada na Tabela 14, e somente os valores equivalentes ao conjunto de sub-bacias hidrográficas representados pelo ponto STAN43 é passível de análise de validação com os resultados obtidos no laudo de análise de 23/06/2016.

As vazões mínimas foram determinadas pela metodologia de Regionalização Hidrológica do Estado de São Paulo, desenvolvida pelo DAEE e apenas o ponto STAN43 tem medição de vazão e coleta de monitoramento de análise química.

<sup>12</sup> Obtida pelo modelo de regionalização hidrológica do DAEE

No ponto STAN43 o valor estimado de concentração de fósforo na vazão mínima de 0,254 m<sup>3</sup>/s foi de 0,214 mg/L e o valor equivalente registrado em laudo da CETESB foi de 0,246 mg/L. O valor estimado de concentração de nitrogênio na mesma vazão mínima foi de 0,981 mg/L e o valor equivalente registrado em laudo da CETESB foi de 3,959 mg/L. E por fim o valor estimado de concentração de DBO<sub>5,20</sub> carbonácea na mesma vazão mínima foi de 20,457 mg/L e o valor equivalente registrado em laudo da CETESB foi de 7,134 mg/L.

Essas diferenças registradas entre os resultados obtidos nos laudos da CETESB comparados com a estimativa dada pelo modelo MQUAL 2.0 indicam que os coeficientes de geração de carga para os parâmetros de fósforo, nitrogênio e DBO<sub>5,20</sub>, não representam a realidade das sub-bacias hidrográficas que contribuem para o ponto STAN43 e conseqüentemente ao manancial do alto curso do rio Santo Anastácio.

Os valores estimados de fósforo, nitrogênio e DBO<sub>5,20</sub> no ponto Sem monitoramento e contribuinte de vazão para represa foram de 0,189 mg/L, 0,853 mg/L e 18,020 mg/L.

No grupo de sub-bacias hidrográficas denominado Desvio Cedro, os valores de concentração de fósforo, nitrogênio e DBO<sub>5,20</sub> equivalente para a vazão mínima de 0,121 m<sup>3</sup>/s foi de 0,304mg/L, 1,754 mg/L e 33,702 mg/L respectivamente. Esses valores são maiores se comparado com os outros dois devido a predominância de área urbanizada de padrão superior, comercial e industrial.

### **5.3 Simulação de cenários de geração de carga**

#### *5.3.1 Cenário de 2016 sem serviços de saneamento básico*

Na Tabela 15, apresenta-se o resultado de geração de cargas, considerando um cenário onde o manancial do alto curso do rio Santo Anastácio não disporia de serviços de saneamento básico.

Tabela 15 - Geração diária de carga em kg no manancial do alto curso do rio Santo Anastácio em cenário de 2016 sem sistema de saneamento básico

SUB-BACIA HIDROGRÁFICA	CARGAS CENÁRIO SEM SES (2016)					
	P TOTAL		N TOTAL		DBO <sub>5,20</sub>	
	(kg/dia)	(%)	(kg/dia)	(%)	(kg/dia)	(%)
<b>STAN 43</b>	21,97	0,30	125,17	0,29	1036,28	0,32
<b>Desvio Cedro</b>	42,47	0,57	254,11	0,59	1688,39	0,53
<b>Sem Monitoramento</b>	9,50	0,13	53,10	0,12	486,61	0,15

Fonte: O autor.

A Tabela 15 representa um cenário onde não haveria sistema de esgotamento sanitário. Nesta simulação a geração de carga diária em quilograma, segundo os coeficientes previstos no modelo MQUAL 2.0, para o ponto STAN43 seria de 21,97 kg/dia; 125,17 kg/dia e 1036,28 kg/dia, respectivamente.

As cargas diárias em quilograma acumuladas nas sub-bacias hidrográficas que formam a região de Desvio do Cedro seria 42,47; 254,11 e 1688,39 kg/dia, respectivamente. E as sub-bacias sem monitoramento e contribuinte integral do reservatório seria de 9,50 kg/dia, 53,10 kg/dia e 486,61 kg/dia, respectivamente.

Abaixo, na Tabela 16, apresenta-se os resultados de concentração dos parâmetros estudados, sem rede de esgoto, e com base na vazão mínima Q<sub>7,10</sub>.

Tabela 16 - Concentração de fósforo (P), nitrogênio (N) e DBO<sub>5,20</sub> no manancial do alto curso do rio Santo Anastácio em cenário de 2016 sem saneamento básico

SUB-BACIA HIDROGRÁFICA	Q <sub>7,10</sub> <sup>13</sup> (m <sup>3</sup> /s)	CONCENTRAÇÃO - CENÁRIO SEM SES (2016)		
		P (mg/l)	N (mg/l)	DBO <sub>5,20</sub> (mg/l)
<b>STAN 43</b>	0,254	1,001	5,704	47,220
<b>Desvio Cedro</b>	0,121	4,063	24,307	161,500
<b>Sem Monitoramento</b>	0,163	0,675	3,770	34,553

Fonte: O autor.

Considerando a vazão mínima Q<sub>7,10</sub> apresentada na Tabela 16, para uma situação sem sistemas de saneamento básico, a concentração encontrada para os parâmetros fósforo, nitrogênio e DBO<sub>5,20</sub> no ponto STAN43 seria de 1,001 mg/L; 5,704 mg/L e 47,220 mg/L, respectivamente.

<sup>13</sup> Obtida pelo modelo de regionalização hidrológica do DAE E

Para a região Desvio do Cedro as concentrações simuladas seriam de 4,063 mg/L de fósforo, 24,307 mg/L de nitrogênio e 161,500 mg/L de DBO<sub>5,20</sub>. Enquanto que as concentrações no conjunto de sub-bacias hidrográficas contribuintes do reservatório, porém sem monitoramento, seriam de 0,675mg/L de fósforo, 3,770 mg/L de nitrogênio e 34,553 mg/L de DBO<sub>5,20</sub>.

### 5.3.2 Cenários induzido e tendencial para 2026

Na Tabela 17, apresenta-se o resultado de geração de cargas, considerando um cenário induzido, onde o manancial do alto curso do rio Santo Anastácio recuperaria as matas nativas aos níveis do ano de 2006, com equilíbrio equitativo de uso e ocupação da terra para áreas agrícolas e de campo, além de manter estagnado o avanço de áreas urbanizadas, industriais, comerciais e chácaras.

Tabela 17 - Geração diária de carga em kg no manancial do alto curso do rio Santo Anastácio em cenário induzido de 2026

SUB-BACIA HIDROGRÁFICA	CARGA - CENÁRIO INDUZIDO (2026)					
	P TOTAL		N TOTAL		DBO <sub>5,20</sub>	
	(kg/dia)	(%)	(kg/dia)	(%)	(kg/dia)	(%)
<b>STAN 43</b>	3,15	0,41	17,34	0,39	355,08	0,40
<b>Desvio Cedro</b>	2,45	0,31	16,34	0,37	307,65	0,35
<b>Sem Monitoramento</b>	2,19	0,28	10,74	0,24	224,78	0,25

Fonte: O autor.

Neste cenário proposto para na Tabela 17, considerou-se a estabilidade dos índices urbanísticos alcançados no ano de 2016, um índice remanescente de mata nos níveis de 2006 e um equilíbrio em área de uso e cobertura da terra de campo e agrícola.

As cargas diárias em quilograma de P, N e DBO<sub>5,20</sub> foram de 3,15 kg/dia, 17,34 kg/dia e 355,08 kg/dia, respectivamente, para o conjunto de sub-bacias que compõem o ponto monitorado STAN43.

Enquanto que, para as mesmas unidades de carga dos parâmetros P, N e DBO<sub>5,20</sub> na região Desvio Cedro foram de 2,45 kg/dia, 16,34 kg/dia e 307,65 kg/dia, respectivamente. E as cargas simuladas para o conjunto de sub-bacias hidrográficas



Sem Monitoramento foram de 2,19 kg/dia; 10,74 kg/dia e 224,78 kg/dia, respectivamente.

Abaixo, na Tabela 18, apresenta-se os resultados das simulações de concentração dos parâmetros estudados, no conjunto de sub-bacias hidrográficas com base na vazão mínima Q<sub>7,10</sub>.

Tabela 18 - Concentração de fósforo (P), nitrogênio (N) e DBO<sub>5,20</sub> no alto curso do rio Santo Anastácio em cenário induzido de 2026

SUB-BACIA HIDROGRÁFICA	Q <sub>7,10</sub> <sup>14</sup> (m <sup>3</sup> /s)	CONCENTRAÇÃO - CENÁRIO INDUZIDO (2026)		
		P (mg/l)	N (mg/l)	DBO <sub>5,20</sub> (mg/l)
<b>STAN 43</b>	0,254	0,144	0,790	16,180
<b>Desvio Cedro</b>	0,121	0,234	1,563	29,428
<b>Sem Monitoramento</b>	0,163	0,155	0,763	15,961

Fonte: O autor.

Apresentadas na Tabela 18, estão as concentrações encontradas para o cenário induzido de 2026, com a recuperação de mata nos níveis dos anos de 2006, estabilidade na área urbanizada de padrão superior, industrial e/ou comercial idênticos ao ano de 2016 e um equilíbrio entre área de campo e agrícola, resultou nos seguintes valores:

Para o fósforo, os valores acumulados encontrados no conjunto de sub-bacias hidrográficas STAN43, Desvio Cedro e Sem Monitoramento foram 0,144 mg/L, 0,234 mg/L e 0,155 mg/L, respectivamente.

Para o nitrogênio, os valores acumulados encontrados no conjunto de sub-bacias hidrográficas STAN43, Desvio Cedro e Sem Monitoramento foram 0,790 mg/L, 1,563 mg/L e 0,763 mg/L, respectivamente.

Para a DBO<sub>5,20</sub>, os valores acumulados encontrados no conjunto de sub-bacias hidrográficas STAN43, Desvio Cedro e Sem Monitoramento foram 16,180 mg/L; 29,428 mg/L e 15,961 mg/L, respectivamente.

Na Tabela 19, apresenta-se o resultado de geração de cargas, considerando um cenário tendencial em 2026, com base na evolução de uso e ocupação da terra dos anos de 1986, 1996, 2006 e 2016.

<sup>14</sup> Obtida pelo modelo de regionalização hidrológica do DA EE

Tabela 19 - Geração diária de carga em kg no manancial do alto curso do rio Santo Anastácio em cenário tendencial de 2026

SUB-BACIA HIDROGRÁFICA	CARGAS - CENÁRIO TENDÊNCIAL (2026)					
	P TOTAL		N TOTAL		DBO <sub>5,20</sub>	
	(kg/dia)	(%)	(kg/dia)	(%)	(kg/dia)	(%)
<b>STAN 43</b>	4,93	0,41	23,27	0,39	480,68	0,40
<b>Desvio Cedro</b>	3,48	0,29	21,41	0,36	405,12	0,34
<b>Sem Monitoramento</b>	3,51	0,30	15,04	0,25	317,26	0,26

Fonte: O autor.

Neste cenário proposto na Tabela 19, considerou-se o crescimento tendencial de todos os índices com base nos dados de anos anteriores.

As cargas diárias em quilograma de P, N e DBO<sub>5,20</sub> foram de 4,93 kg/dia, 23,27 kg/dia e 480,68 kg/dia, respectivamente para o conjunto de sub-bacias hidrográficas que compõem o ponto monitorado STAN43.

Enquanto que, para as mesmas unidades de carga dos parâmetros P, N e DBO<sub>5,20</sub> na região Desvio Cedro foram de 3,48 kg/dia, 21,41 kg/dia e 405,12 kg/dia, respectivamente. E as cargas simuladas para o conjunto de sub-bacias hidrográficas Sem Monitoramento foram de 3,51 kg/dia, 15,04 kg/dia e 317,26 kg/dia, respectivamente.

Abaixo, na Tabela 20, apresenta-se os resultados das simulações de concentração dos parâmetros estudados, no conjunto de sub-bacias hidrográficas com base na vazão mínima Q<sub>7,10</sub>.

Tabela 20 - Concentração de fósforo (P), nitrogênio (N) e DBO<sub>5,20</sub> no manancial do alto curso do rio Santo Anastácio em cenário tendencial de 2026

SUB-BACIA HIDROGRÁFICA	Q <sub>7,10</sub> <sup>15</sup> (m <sup>3</sup> /s)	CONCENTRAÇÃO - CENÁRIO TENDÊNCIAL 2026		
		P (mg/l)	N (mg/l)	DBO <sub>5,20</sub> (mg/l)
<b>STAN 43</b>	0,254	0,224	1,060	21,903
<b>Desvio Cedro</b>	0,121	0,333	2,048	38,751
<b>Sem Monitoramento</b>	0,163	0,249	1,068	22,528

Fonte: O autor.

As concentrações apresentadas na Tabela 20 referem-se a um cenário tendencial de 2026, com a recuperação de mata nos níveis dos anos de 2006,

<sup>15</sup> Obtida pelo modelo de regionalização hidrológica do DAE E

estabilidade na área urbanizada de padrão superior, industrial e/ou comercial e um equilíbrio entre área de campo e agrícola, resultou nos seguintes valores:

Para o fósforo, os valores acumulados encontrados no conjunto de sub-bacias hidrográficas STAN43, Desvio Cedro e Sem Monitoramento foram 0,224 mg/L, 0,333 mg/L e 0,249 mg/L, respectivamente.

Para o nitrogênio, os valores acumulados encontrados no conjunto de sub-bacias hidrográficas STAN43, Desvio Cedro e Sem Monitoramento foram 1,060 mg/L, 2,048 mg/L e 1,068 mg/L, respectivamente.

Para a DBO<sub>5,20</sub>, os valores acumulados encontrados no conjunto de sub-bacias hidrográficas STAN43, Desvio Cedro e Sem Monitoramento foram 21,903 mg/L, 38,751 mg/L e 22,528 mg/L, respectivamente.

### 5.3.3 Cenários induzido e tendencial para 2036

Na Tabela 21, apresenta-se o resultado de geração de cargas, considerando um cenário induzido, onde o manancial do alto curso do rio Santo Anastácio recuperaria as matas nativas aos níveis do ano de 1986, com equilíbrio equitativo de uso e ocupação da terra para áreas agrícolas e de campo, além de manter estagnado o avanço de áreas urbanizadas, industriais, comerciais e chácaras.

Tabela 21 - Geração diária de carga em kg no manancial do alto curso do rio Santo Anastácio em cenário induzido de 2036

SUB-BACIA HIDROGRÁFICA	CARGA - CENÁRIO INDUZIDO (2036)					
	P TOTAL		N TOTAL		DBO <sub>5,20</sub>	
	(kg/dia)	(%)	(kg/dia)	(%)	(kg/dia)	(%)
<b>STAN 43</b>	3,01	0,40	17,04	0,39	347,79	0,40
<b>Desvio Cedro</b>	2,40	0,32	16,22	0,37	304,83	0,35
<b>Sem Monitoramento</b>	2,07	0,28	10,40	0,24	217,09	0,25

Fonte: O autor.

Neste cenário induzido para o ano de 2036, apresentado na Tabela 21, considerou-se a estabilidade dos índices urbanísticos alcançados no ano de 2016, um índice remanescente de mata nos níveis de 1986 e um equilíbrio em área de uso e cobertura da terra de campo e agrícola.

As cargas diárias em quilograma de P, N e DBO<sub>5,20</sub> foram de 3,01 kg/dia, 17,04 kg/dia e 347,79 kg/dia, respectivamente para o conjunto de sub-bacias hidrográficas que compõem o ponto monitorado STAN43.

Enquanto que, para as mesmas unidades de carga dos parâmetros P, N e DBO<sub>5,20</sub> na região Desvio Cedro foram de 2,40 kg/dia, 16,22 kg/dia e 304,83 kg/dia, respectivamente. E as cargas simuladas para o conjunto de sub-bacias hidrográficas Sem Monitoramento foram de 2,07 kg/dia, 10,40 kg/dia e 217,09 kg/dia, respectivamente.

A conservação e manutenção de florestas ripárias, em áreas de atividades agropecuárias, e controle de lançamentos pontuais, de esgoto domésticos, são propostas de solução a serem discutidas em comitês de bacia hidrográfica com a sociedade interessada. (DIVINO, 2012)

Abaixo, na Tabela 22, apresenta-se os resultados das simulações de concentração dos parâmetros estudados, no conjunto de sub-bacias hidrográficas com base na vazão mínima Q<sub>7,10</sub>.

Tabela 22 - Concentração de fósforo (P), nitrogênio (N) e DBO<sub>5,20</sub> no manancial do alto curso do rio Santo Anastácio em cenário induzido de 2036

SUB-BACIA HIDROGRÁFICA	Q <sub>7,10</sub> <sup>16</sup> (m <sup>3</sup> /s)	CONCENTRAÇÃO - CENÁRIO INDUZIDO (2036)		
		P (mg/l)	N (mg/l)	DBO <sub>5,20</sub> (mg/l)
<b>STAN 43</b>	0,254	0,137	0,776	15,848
<b>Desvio Cedro</b>	0,121	0,230	1,551	29,158
<b>Sem Monitoramento</b>	0,163	0,147	0,738	15,415

Fonte: O autor.

As concentrações encontradas para o cenário induzido de 2036, apresentada na Tabela 22, com a recuperação de mata nos níveis dos anos de 1986, estabilidade na área urbanizada de padrão superior, industrial e/ou comercial idêntica ao ano de 2016 e um equilíbrio entre área de campo e agrícola, resultou nos seguintes valores:

Para o fósforo, os valores acumulados encontrados no conjunto de sub-bacias hidrográficas STAN43, Desvio Cedro e Sem Monitoramento foram 0,137 mg/L, 0,230 mg/L e 0,147 mg/L, respectivamente.

<sup>16</sup> Obtida pelo modelo de regionalização hidrológica do DAE E

Para o nitrogênio, os valores acumulados encontrados no conjunto de sub-bacias hidrográficas STAN43, Desvio Cedro e Sem Monitoramento foram 0,776 mg/L, 1,551 mg/L e 0,738 mg/L, respectivamente.

Para a DBO<sub>5,20</sub>, os valores acumulados encontrados no conjunto de sub-bacias hidrográficas STAN43, Desvio Cedro e Sem Monitoramento foram 15,848 mg/L; 29,158 mg/L e 15,415 mg/L, respectivamente.

Na Tabela 23, apresenta-se o resultado de geração de cargas, considerando um cenário tendencial em 2036, com base na evolução de uso e ocupação da terra dos anos de 1986, 1996, 2006 e 2016.

Tabela 23 - Geração diária de carga em kg no manancial do alto curso do rio Santo Anastácio em cenário tendencial de 2036

SUB-BACIA HIDROGRÁFICA	CARGAS - CENÁRIO TENDÊNCIAL (2036)					
	P TOTAL		N TOTAL		DBO <sub>5,20</sub>	
	(kg/dia)	(%)	(kg/dia)	(%)	(kg/dia)	(%)
<b>STAN 43</b>	5,34	0,41	25,62	0,38	525,32	0,39
<b>Desvio Cedro</b>	4,06	0,31	25,50	0,38	478,70	0,36
<b>Sem Monitoramento</b>	3,75	0,28	16,31	0,24	342,07	0,25

Fonte: O autor.

Neste cenário tendencial para o ano de 2036, apresentado na Tabela 23, considerou-se o crescimento tendencial de todos os índices com base nos dados de anos anteriores.

As cargas diárias em quilograma de P, N e DBO<sub>5,20</sub> foram de 5,34 kg/dia, 25,62 kg/dia e 525,32 kg/dia, respectivamente para o conjunto de sub-bacias hidrográficas que compõem o ponto monitorado STAN43.

Enquanto que, para as mesmas unidades de carga dos parâmetros P, N e DBO<sub>5,20</sub> na região Desvio Cedro foram de 4,06 kg/dia, 25,50 kg/dia e 478,70 kg/dia, respectivamente. E as cargas simuladas para o conjunto de sub-bacias hidrográficas Sem Monitoramento foram de 3,75 kg/dia, 16,31 kg/dia e 342,07 kg/dia, respectivamente.

Abaixo, na Tabela 24, apresenta-se os resultados das simulações de concentração dos parâmetros estudados, no conjunto de sub-bacias hidrográficas com base na vazão mínima Q<sub>7,10</sub>.

Tabela 24 - Concentração de fósforo (P), nitrogênio (N) e DBO<sub>5,20</sub> no manancial do alto curso do rio Santo Anastácio em cenário tendencial de 2036

SUB-BACIA HIDROGRÁFICA	Q7,10 <sup>17</sup> (m <sup>3</sup> /s)	CONCENTRAÇÃO - CENÁRIO TENDENCIAL 2036		
		P (mg/l)	N (mg/l)	DBO <sub>5,20</sub> (mg/l)
<b>STAN 43</b>	0,254	0,243	1,167	23,937
<b>Desvio Cedro</b>	0,121	0,388	2,439	45,789
<b>Sem Monitoramento</b>	0,163	0,267	1,158	24,289

Fonte: O autor.

As concentrações encontradas para o cenário induzido de 2036, apresentada na Tabela 24, com a recuperação de mata nos níveis dos anos de 1986, estabilidade na área urbanizada de padrão superior, industrial e/ou comercial e um equilíbrio entre área de campo e agrícola, resultou nos seguintes valores:

Para o fósforo, os valores acumulados encontrados no conjunto de sub-bacias hidrográficas STAN43, Desvio Cedro e Sem Monitoramento foram 0,243 mg/L, 0,388 mg/L e 0,267 mg/L, respectivamente.

Para o nitrogênio, os valores acumulados encontrados no conjunto de sub-bacias hidrográficas STAN43, Desvio Cedro e Sem Monitoramento foram 1,167 mg/L, 2,439 mg/L e 1,158 mg/L, respectivamente.

Para a DBO<sub>5,20</sub>, os valores acumulados encontrados no conjunto de sub-bacias hidrográficas STAN43, Desvio Cedro e Sem Monitoramento foram 23,937 mg/L, 45,789 mg/L e 24,289 mg/L, respectivamente.

Segundo Oliveira, L., e Maillard (2015), é evidente ao verificarmos a relação entre uso e cobertura da terra e qualidade da água que o manejo do solo é responsável pela perda e manutenção da qualidade da água, que sofre alteração em função da vazão e do tipo de poluição difusa ou pontual.

Embora os coeficientes de geração de carga dos parâmetros nitrogênio, fósforo e DBO<sub>5,20</sub>, em relação ao uso e cobertura da terra, do modelo MQUAL 2.0, demonstraram serem incompatíveis para o manancial do alto curso do rio Santo Anastácio, indicaram a tendência de crescimento de carga poluidora nos cenários tendenciais de 2026 e 2036, mesmo considerando a universalização dos serviços de saneamento com o lançamento de esgoto à jusante da represa, com o maior

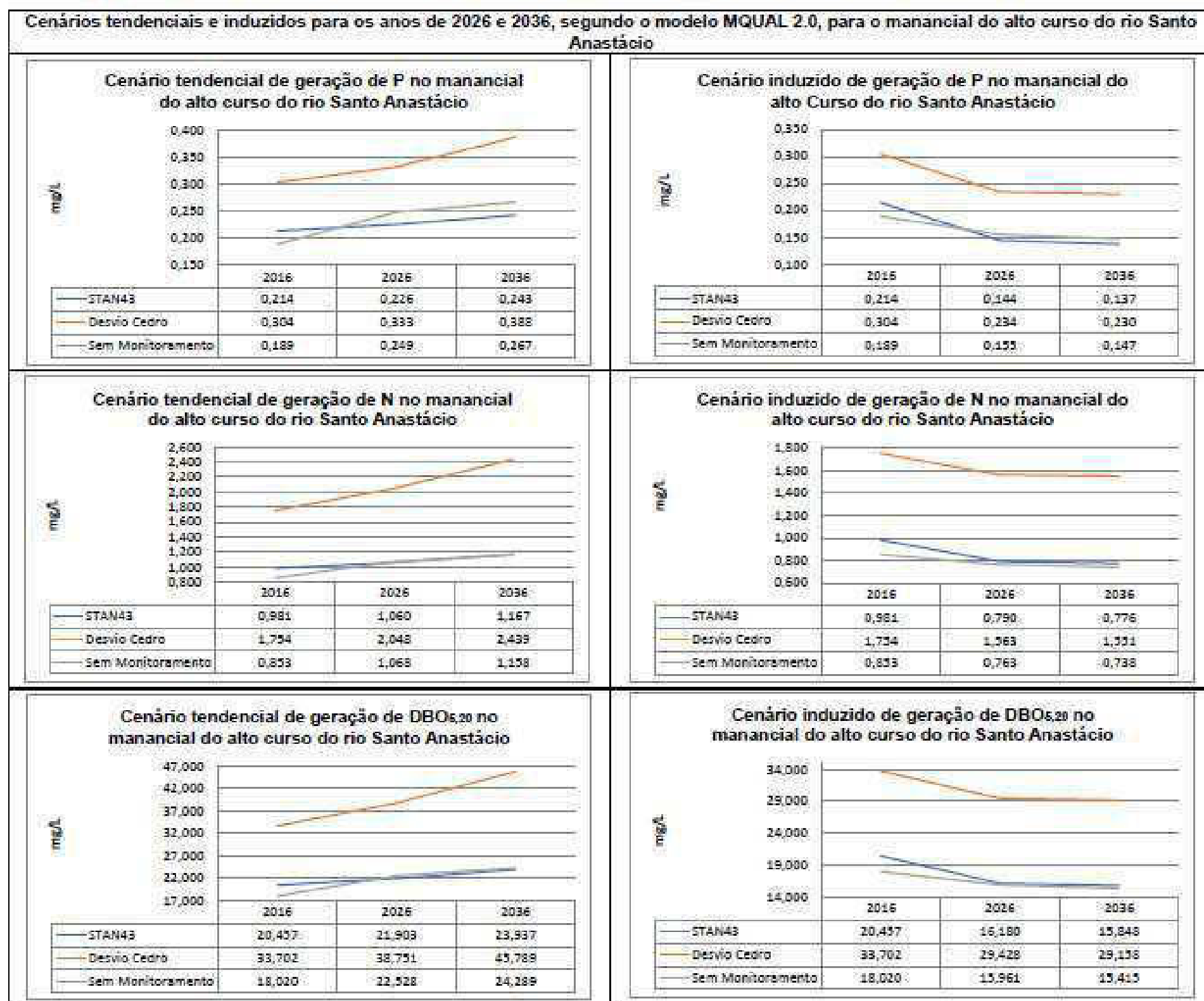
<sup>17</sup> Obtida pelo modelo de regionalização hidrológica do DAEE

contribuição de carga no grupo “Desvio Cedro”, onde concentra-se a maior tendência de crescimento urbano.

E do mesmo modo, o modelo MQUAL 2.0, indica uma redução significativa na geração de carga de fósforo, nitrogênio e DBO<sub>5,20</sub>, nos cenários induzidos para os anos de 2026 e 2036, de recuperação de mata nativa, estabilização do crescimento urbano e manutenção da universalização dos serviços de saneamento básico.

A figura 15, a seguir, apresenta em formato gráfico a evolução dos cenários estudados com o modelo MQUAL 2.0 no manancial do alto curso do rio Santo Anastácio.

Figura 15 - Cenários tendenciais e induzidos de geração de carga, dos anos de 2026 e 2036, segundo o modelo MQUAL 2.0, para o manancial do alto curso do rio Santo Anastácio.



Fonte: O autor.



Os gráficos da figura 15, do lado esquerdo, ilustram o comportamento da geração de fósforo, nitrogênio e DBO<sub>5,20</sub>, no manancial do alto curso do rio Santo Anastácio, em cenários tendenciais, onde são mantidos: o sistema universalizado de saneamento básico; a tendência natural de crescimento urbano; e a diminuição tendencial de mata nativa, para os anos de 2026 e 2036. Os gráficos acima, do lado direito, representam os cenários induzidos para os anos de 2026 e 2036, visando a diminuição de carga de fósforo, nitrogênio e DBO<sub>5,20</sub>, ao recuperar áreas de matas aos níveis de décadas anteriores, o ano de 2026 seria recuperado ao patamar do ano de 2006 e o ano de 2036 ao patamar do ano de 1986, e estabilizado o crescimento da área urbana.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A qualidade das águas que afluem ao reservatório do manancial do alto curso do rio Santo Anastácio está diretamente relacionada às características de uso e cobertura da terra em suas sub-bacias hidrográficas.

Considerando que o crescimento populacional que ocasionou a urbanização na direção das sub-bacias hidrográficas do Cedro e Cedrinho no principal manancial do Pontal do Paranapanema, afeta a qualidade das águas do reservatório. Considerando também que, todos os conflitos existentes quanto ao uso dos recursos hídricos e aos anseios de interesses econômicos quanto à ocupação e cobertura da terra nas áreas do manancial, foram suavizados com um sistema de infraestrutura de saneamento básico universalizado na região urbana, minimizando o impacto negativo na sustentabilidade hidrológica do manancial.

Considerando que o modelo MQUAL 2.0 requer processos de melhorias na definição de coeficientes de geração de carga, proveniente de serviços universalizados de saneamento ambiental, que contabilize eventuais riscos de poluição decorrente do sistema de esgotamento sanitário, que padronize uma metodologia de estimativa do número de população em área urbana e rural, no escopo de uma bacia hidrográfica.

Considerando que o modelo MQUAL 2.0 foi desenvolvido para se adaptar a melhorias que viabilize o seu uso, que embora apresente valores discrepantes em relação ao laudo utilizado neste estudo, aponta direções que permitem um planejamento ambiental com bases técnicas e ainda a calibração de seus coeficientes para cada uso e cobertura da terra.

Os resultados indicam que os esforços realizados pelos membros dos comitês de bacias hidrográficas têm minimizado os impactos ambientais na bacia hidrográfica do manancial do alto curso do rio Santo Anastácio, porém, muito há de se fazer para o gerenciamento dos constantes conflitos pelo uso da água e ocupação e cobertura do solo.

Os dados obtidos na geração de carga no diagnóstico do ano de 2016 são evidências da necessidade de outros pontos de monitoramento que possam representar cada uma das categorias de uso e cobertura da terra, para a obtenção de

coeficientes característicos desta bacia hidrográfica, a exemplo do que foi feito nos mananciais Guaió e Sistema Produtor Alto Tietê.

Os cenários induzidos com a restauração das matas nativas aos níveis de 2006 e 1986 fortalecem a linha de pesquisa seguida por Hatsumura (2018) na proposta de um sistema produtor de água que integre as políticas setoriais de saneamento, resíduos sólidos e uso e ocupação do solo dos municípios que integram o manancial do alto curso do rio Santo Anastácio.

Os cenários tendenciais para os anos de 2026 e 2036 demonstram a necessidade de revisão das políticas setoriais de uso e cobertura da terra que segundo o modelo, os avanços de áreas industriais, comerciais e residenciais, mesmo com padrão de urbanização superior, somados com a redução de mata nativa, acarreta a degradação da qualidade da água.

E por fim, o presente estudo, constata que para o cenário base, os coeficientes de exportação utilizados na versão do MQUAL 2.0 não é aplicável ao manancial do alto curso do rio Santo Anastácio, no entanto, a praticidade do modelo oferece oportunidades de melhoria para a calibração de coeficientes.

O tratamento de água de nível convencional indica que o enquadramento mínimo esperado para o manancial do alto curso do rio Santo Anastácio é de classe 2 segundo a Lei Estadual nº 10.755, de 22 de novembro de 1.977, para os usos previstos na Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2.005. E é o rio que temos, no entanto, faz-se necessário a integração dos demais instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos a exemplo da outorga, cobrança e do sistema de informação de recursos hídricos para que se efetive como o rio que queremos.

Recomenda-se como continuidade desta pesquisa: estudo para a ampliação dos pontos de monitoramento em locais de representatividade estratégica para a obtenção de novos coeficientes de geração de carga que evidencie a realidade da qualidade das águas do manancial do alto curso do rio Santo Anastácio; e a demanda financeira para a implantação dos pontos de monitoramento e recuperação das matas aos níveis dos anos de 2006 e 1986.

A polaridade do uso e cobertura da terra na bacia hidrográfica do manancial do alto curso do rio Santo Anastácio, entre urbana e rural, conforme demonstrado entres os anos de 1986 e 2016, e a localização do único ponto de amostragem de controle do órgão ambiental, evidencia a necessidade de uma rede de monitoramento de

recursos hídricos de modo a abranger a influência das variáveis fisiográficas, climáticas, hidrológicas, demográficas, de uso e ocupação da terra, socioeconômica, políticas e sociais.

Recomenda-se uma continuidade de estudo para aperfeiçoar o modelo MQUAL 2.0, cujos coeficientes de exportação de carga considerem os fatores fisiográficos, que também influenciam no escoamento superficial e conseqüentemente no arraste de cargas poluentes, tais como a declividade, tipo de solo, topografia, rede de drenagem e obras hidráulicas.

Outro ponto a ser estudado como complemento a este estudo, após definição dos coeficientes de exportação de carga que representem o manancial do alto curso do rio Santo Anastácio, é a avaliação de carga nos módulos 2 (simulação dos principais tributários) e 3 (simulação do reservatório) do MQUAL, em versão específica para este manancial, onde considere as alternativas de desvio de águas do córrego do Cedro, a contribuição dessas águas caracterizada pelo aporte de poluição difusa urbana e seu impacto no sistema de tratamento de água para fins domésticos.

Quanto à interface com dois instrumentos da PNRH, o sistema de informações de recursos hídricos e o enquadramento. O primeiro, foi o motivador deste estudo, devido a disponibilidade dos laudos no site da CETESB. O segundo, para sua implantação, requer a continuidade dos estudos para que os membros do Comitê de Bacias Hidrográficas, tenham um diagnóstico e prognósticos preciso para decisão quanto ao rio que temos, ao rio que queremos e ao rio que podemos ter.

## REFERÊNCIAS

- AGUIAR, C. P. O.; PELEJA, J. R. P.; SOUSA, K. N. S.; GOCH, Y. G. F.; GUIMARÃES, A. S. Nível de trofia em microbacias hidrográficas sob diferentes usos de solo na região amazônica. **RBRH**, Porto Alegre, v. 20, n. 4, p. 1093-1102, 2015.
- ALMEIDA, C. N.; SILANS, A. M. B. P. de.; ROEHRIG, J.; WENDLAND, E. Novas tecnologias de informações em recursos hídricos. **RBRH**, Porto Alegre, v. 14, n. 2, p. 107-116, 2009.
- AMORIM NETO, M.S. **Balço hídrico segundo Thornthwaite & Mather (1955)**. EMBRAPA. Petrolina: Embapa, 1989. 18 p. (Comunicado Técnico, n. 34)
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. **Atlas Brasil: abastecimento urbano de água**. Brasília, DF, 2010. Disponível em: <<http://atlas.ana.gov.br/atlas/forms/analise/Geral.aspx?est=6#>> Acesso em: 06 jan. 2018.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. **Implementação do enquadramento em bacias hidrográficas no Brasil: Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos – Snirh: Arquitetura computacional e sistêmica**. Brasília, DF, 2009. (Cadernos de Recursos Hídricos, 6). Disponível em: <<http://www.sigrh.sp.gov.br/public/uploads/documents/7504/implementacao-enquadramento-ag-superf-ana-2009.pdf>>. Acesso em: 16 abr. 2017.
- ANDRADE, L. N.; MAURI, G. R.; MENDONÇA, A. S. F. A General multiobjective model and a simulated annealing algorithm for waste load allocation. **Journal of Waste Resources Planning and Management**, Vitória, v. 139, p. 339-344, 2012. 157 p.
- ARAUJO, M. H. S.; ROCHA, M. Sistemas de informações geográficas na avaliação da aptidão agrícola das terras da região de UNA. **Cadernos de Informações Georeferenciadas**, Campinas, v. 1, n. 2, 1997.
- AYOADE, J. O. **Introdução à climatologia para os trópicos**. 4. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996. 332 p. ISBN: 85-286-0427.
- BARBOSA, C. C. **Proposta de gestão de recursos hídricos na bacia hidrográfica do rio Paranaíba**. 2003. 98 f. Dissertação (Mestrado) - Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2003.
- BARSANO, P. R.; BARBOSA, R. P.; VIANA, V. J. **Poluição ambiental e saúde pública**. São Paulo: Érica, 2014. 129 p.
- BAPTISTA, M.B. **Fundamentos de engenharia hidráulica**. 3. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2012.

BELONDI, H. V. **Enquadramento dos corpos d'água em classes de uso como instrumento de gestão ambiental e de recursos hídricos: estudo aplicado na bacia do rio Corumbataí – SP.** 2003. 121 f. Dissertação (Mestrado em Geociência) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista – UNESP, Rio Claro, 2003.

BEZERRA, M. O. **Dinâmica do nitrogênio no solo e sua implicação na qualidade da água em uma bacia hidrográfica com diferentes tipos de uso de solo com ênfase no papel da floresta ripária.** 2009. 131 f. Tese (Doutorado) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo – USP, Piracicaba, 2009.

BINOTTO, D. **Proposta de enquadramento para a bacia hidrográfica do Arroio Jacutinga, município de Ivorá/RS.** 2012. 133 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2012.

BITTENCOURT, C.; PAULA, M. A. S.de. **Tratamento de água e efluentes: fundamentos de saneamento e gestão de recursos hídricos.** São Paulo. Érica, 2014. 185 p.

BORTOLUZZI, E. C.; RHEINHEIMER, D. S.; GONÇALVES, C. S.; PELLEGRINI, J. B. R.; ZANELLA, R.; COPETTI, A. C. C. Contaminação de águas superficiais por agrotóxicos em função do uso do solo numa microbacia hidrográfica de Agudo, RS. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, p. 881-887, 2005.

BRASIL. Decreto nº 76.389, de 3 de outubro de 1975. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 6 out. 1975. Seção 1 p. 13329. Disponível em: <<http://www2.camara.leg.br/legin/fed/decret/1970-1979/decreto-76389-3-outubro-1975-424990-publicacaooriginal-1-pe.html>>. Acesso em: 28 dez. 2017.

BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 9 jan. 1997. Seção 1, p. 62.

BRASIL. Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 18 jul. 2000. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/L9984.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9984.htm)>. Acesso em: 11 dez 2017.

BRASIL. Resolução n.º 357, do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), de 17 de março de 2005. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, 18 mar. 2005. Seção 1, p. 58.

BRASIL. Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 16 maio 2011. Seção 1 p. 89.

CALMON, A. P. S.; SOUZA, J. C.; REIS, J. A. T. dos.; MENDONÇA, A. S. F. Uso combinado de curvas de permanência de qualidade e modelagem da autodepuração como ferramenta para suporte ao processo de enquadramento de cursos d'água superficiais. **RBRH**, Porto Alegre, v. 21, n. 1, p. 118-133, 2016.

CAPOANE, V.; TIECHER, T.; SCHAEFER, G.L.; CIOTTI, L.H.; SANTOS, D.R. dos. Transferência de nitrogênio e fósforo para águas superficiais em uma bacia hidrográfica com agricultura e produção pecuária intensiva no Sul do Brasil. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 45, p. 647-650, 2015.

CAROLINO, C. R. **Avaliação da lei específica da área de proteção e recuperação de mananciais da bacia hidrográfica do Guarapiranga: contribuições para o aprimoramento da articulação institucional à proteção de mananciais**. 2015. 232 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo - USP, São Paulo, 2015.

CARSON, R. **Primavera silenciosa**. São Paulo: Melhoramentos, 1969.

CASAZZA, E.F. **Contribuições das análises de percepção ambiental à formulação e implementação de instrumentos de gestão ambiental pública: Projeto de lei da área de proteção e recuperação dos mananciais do alto Juquery**. 2012. 173 f. Dissertação (Mestrado) - São Paulo. USP, 2012.

CASTRO, M.M. de. **Modelação matemática de lagos e reservatórios: caso do reservatório Billings**. 2010. 226 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade de São Paulo – USP, São Paulo, 2010.

CAVALCANTI, J. E. W. A. **Manual de tratamento de efluentes industriais**. São Paulo: Engenho, 2016. 520 p.

CERETTA, C. A.; BASSO, C. J.; VIEIRA, F. C. B.; HERBES, M. G.; MOREIRA, I. C. L.; BERWANGER, A. L. Perdas de nitrogênio e fósforo na solução escoada na superfície do solo sob plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 6, p. 1296-1304, 2005.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO - CETESB. **Relatório de qualidade das águas superficiais no Estado de São Paulo**. São Paulo, 2015.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO - CETESB. **Relatório de qualidade das águas superficiais no Estado de São Paulo**. São Paulo, 2016.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO - CETESB. **Relatório de qualidade das águas superficiais no Estado de São Paulo**. São Paulo, 2017.

CHAPRA, S. C. **Surface water-quality modeling**. Long Grove: Wavelan Press, 1997. 844 p.

CHOW, V.T. **McGraw-Hill classic text book reissue**. New York: McGraw-Hill Book Company, 1959. 728 p. ISBN 07-010776-9

COMPANHIA BRASILEIRA DE PROJETOS E EMPREENDIMENTOS – COBRAPE. **Atualização do plano de desenvolvimento e proteção ambiental da bacia hidrográfica do guarapiranga**: Contrato nº03/06. CPLEA/SSRH, São Paulo, 2006.

COMPANHIA BRASILEIRA DE PROJETOS E EMPREENDIMENTOS – COBRAPE. **Elaboração do plano de desenvolvimento e proteção ambiental da bacia hidrográfica do reservatório billings**: relatório final. Contrato SMA/CPLEA nº09/07. São Paulo, SMA, 2010.

COMPANHIA BRASILEIRA DE PROJETOS E EMPREENDIMENTOS – COBRAPE. **Elaboração e revisão dos planos de desenvolvimento e proteção ambiental das áreas de proteção e recuperação dos mananciais da Região Metropolitana de São Paulo**: plano de desenvolvimento e proteção ambiental da sub-bacia alto Juquiá. São Paulo: SSRH, 2016.

CORSEUIL, C. W.; CAMPOS, S. Geoprocessamento aplicado na determinação das classes de declive e de uso e ocupação das terras da microbacia do arroio Ajuricaba – Mal Cândido Rondon – PR. **Energia na Agricultura UNESP**, Botucatu, v. 22, p. 33-41, 2007.

COSTA, A. L. da. **Participação, redes e capital social para a governança da água no brasil**: um olhar sobre o Conselho Nacional de Recursos Hídricos. 2012. 65 f. Dissertação (Mestrado) - Centro de Desenvolvimento Sustentável, Brasília, DF, Universidade de Brasília, 2012.

COSTA, M. A. M.; MAGALHÃES, A. P. Reflexões sobre a política participativa das águas: o caso CBH Velhas/MG. In: ENCONTRO NACIONAL DA ANPPAS, 4., 2008, Brasília. **Anais...** Brasília, DF, 2008.

COSTA, T. A. da. **Cidade ignorada**: um retrato da universalização do saneamento em assentamentos precários no entorno da Billings e Guarapiranga. 2017. 111 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista - USP, São Paulo, 2017.

DELMANTO JÚNIOR, O. **Determinação da capacidade de uso da terra do município de São Manuel (SP), obtido por meio de Sistema de Informações Geográficas (SIG) – IDRISI**. 2003. 94 f. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista - UNESP, Botucatu, 2003.

DIBIESO, E. P. **Planejamento ambiental e gestão dos recursos hídricos**: estudo aplicado à bacia hidrográfica do manancial do alto curso do rio Santo Anastácio/SP. 2013. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista - UNESP, Presidente Prudente, 2013.

DIVINO, A. C. **Caracterização Ambiental e da qualidade das águas de córregos em fragmentos de Mata Atlântica**. 2012. 73 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2012.

DRENATEC. **Plano de desenvolvimento e proteção ambiental da Bacia do Rio Cotia**: caracterização regional. São Paulo: SCBH, 2007. (Relatório Técnico, n. 88)

FARIA, D. A.; TRANNIN, I. C. B.; SIMÕES, S. C. Influência do uso e ocupação do solo na qualidade da água da bacia hidrográfica do ribeirão Guaratinguetá (SP). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 33., 2011, Uberlândia. **Anais...** [S. l.: s. n.], 2011.



FERRARA, L. N. **Urbanização da natureza: da auto provisão de infraestrutura aos projetos de recuperação ambiental nos mananciais do sul da metrópole paulistana**. 2013. 384 f. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo - USP, 2013.

FERREIRA, C. S.; LACERDA, M. P. C. Análise multitemporal do uso e ocupação das terras na porção setentrional da bacia do rio São Bartolomeu, DF. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 16., 2006, Aracaju. **Anais...** Aracaju: [s. n.], 2006.

FERREIRA, D.M.; FERNANDES, C.V.S.; KAVISKI, E. Curvas de permanência de qualidade da água como subsídio para o enquadramento de corpos d'água a partir de modelagem matemática em regime não permanente. **RBRH**, Porto Alegre, v. 21, n. 3, p. 479-492, 2016.

FIA, R.; TADEU, H.C.; MENEZES, J.P.C.; FIA, F.R.L.; OLIVEIRA, L.F.C. de. Qualidade da água de um ecossistema lótico urbano. **RBRH**, Porto Alegre, v. 20, n. 1, p. 267-275, 2015.

FONTES, A. S.; ZUCCHI, M.R.; MEDEIROS, Y. D. P.; AZEVEDO, A. E. G. de. Avaliação dos fatores intervenientes no processo de salinização em reservatórios superficiais do semiárido brasileiro. **RBRH**, Porto Alegre, v. 20, n. 3, p. 708-721, 2015.

FRANCISCO, C.N.; CARVALHO, C.N. de. Avaliação da Sustentabilidade Hídrica de Municípios Abastecidos - por Pequenas Bacias Hidrográficas: o caso de Angra dos Reis, RJ. **RBRH**, Porto Alegre, v. 13, n. 2, p. 15-30, 2008.

FREIRE, A. P.; CASTRO, E. C. de. Análise da Correlação do uso e Ocupação da terra e da Qualidade da Água. **RBRH**, Porto Alegre, v. 19, n. 1, p. 41-49, 2014.

FUJIHARA, A.K. **Predição de erosão e capacidade de uso do solo numa microbacia do oeste paulista com suporte de geoprocessamento**. 2002. 136 f. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo - USP, Piracicaba, 2002.

GARCEZ, L.N. **Hidrologia**. São Paulo: Edgar Blucher, 1988.

GARCIA, R. M.; LEAL, A. C. Planejamento ambiental e gestão das águas: estudo aplicado à Bacia Hidrográfica do Ribeirão Taquaruçu, Sandovalina, São Paulo. **Fórum Ambiental da Alta Paulista**, São Paulo, v. 8, p. 86-102, 2012.

GOMES, F. C.; SIMÕES, S. J. C. Simulação de modelagem qualitativa para avaliação preliminar da qualidade da água na bacia do ribeirão das Perdizes em Campos do Jordão/SP, como Subsídio ao Enquadramento. **RBRH**, Porto Alegre, v. 19, n. 3, p. 309-326, 2014.

GONÇALVES, F.; ROCHA, P.C.; FERREIRA, C.C. Uso e ocupação da terra e suas influências em parâmetros químicos e físicos da água da bacia hidrográfica do rio Santo Anastácio, Oeste Paulista. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15., 2011, Curitiba. **Anais...** Curitiba: INPE, 2011. p. 1248-1255.

GRIBBIN, J. E. **Introdução à hidráulica, hidrologia e gestão de águas pluviais**. 3 ed. São Paulo: Cengage Learning, 2013. 494 p.

HATSUMURA, P. M. **Subsídios para elaboração de projeto de pagamento por serviços ambientais na bacia hidrográfica do manancial do alto curso do rio Santo Anastácio – UGRHI Pontal do Paranapanema – Estado de São Paulo – Brasil**. Ilha Solteira: UNESP, 2018. Relatório Técnico.

HAUPT, J. P. O. **Metodologia para avaliação do potencial de produção de poluição difusa: Estudo de caso da bacia do rio Jundiá**. 2009. 127 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade de São Paulo - USP, São Paulo, 2009.

HENRIQUE, S. M.; ALMEIDA, D. A.; PIAGENTINI, P. M. GRISOTTO, L. E. G.; OLIVEIRA, L. H. W. de. Metodologia para identificação de áreas de recuperação ambiental nos mananciais da RMSP. In: CONGRESSO ABES FENASAN, 2017, São Paulo. **Anais...** São Paulo: [s. n.], 2017.

IKEMATSU, P. **Conflitos e desafios na gestão da Bacia Hidrográfica do Reservatório Guarapiranga**. 2014. 209 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo – USP, São Paulo, 2014.

IMAGIIRE, S. M.; SOUSA JUNIOR, C. E. de.; PEREIRA, C. A. A. O.; JESUS, J. A. O. de.; TIerno, R. O modelo de correlação entre uso e cobertura da terra qualidade da água – MQUAL e sugestões de aprimoramento. In: CONGRESSO ABES FENASAN 2017, São Paulo. **Anais...** São Paulo: [S. N.], 2017.

INSTITUO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **SIDRA**: tabela 202. Brasília, DF, 2010. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/202>>. Acesso em: 14 set. 2017.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS - IPT. **Plano de desenvolvimento regional e proteção ambiental da sub-bacia do Juquery-Cantareira**. São Paulo: CBH-AT/SCBH-JC, 2008. (Relatório Técnico, n. 98 905-205).

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS - IPT. **Plano de desenvolvimento regional dos mananciais do subcomitê Alto Tietê-Cabeceiras**: Plano de Desenvolvimento e Proteção Ambiental - PDPA - e assessoria para elaboração das leis específicas. São Paulo, 2014. (Relatório final, v. 2, pt. A.)

JACOBI, P.R. Gestão participativa de bacias hidrográficas no Brasil e os desafios do fortalecimento de espaços públicos colegiados. In: COELHO, V. S.; NOBRE, M. (Org.) **Participação e deliberação: teoria democrática e experiências institucionais no Brasil contemporâneo**. São Paulo: Editora 34, 2005. 368 p.

JESUS, A. O. de. **Utilização de modelagem matemática 3D na gestão da qualidade da água em mananciais:** aplicação no reservatório Billings. 2006. 157 f. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo – USP, São Paulo, 2006.

JULIO, T.B. **Análise da contribuição da Lei Específica do Guarapiranga (RMSP) para a gestão integrada do solo e da água.** 2014. 190 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade de São Paulo – USP, São Paulo, 2014.

KMA. Arquitetura e Urbanismo. **Plano de Desenvolvimento e Proteção Ambiental (PDPA) do manancial do alto curso do Rio Santo Anastácio.** Presidente Prudente: CBH-PP/Unesp, 2012. Disponível em: <<http://cbhpp.org/pdpa/>>. Acesso em: 04 jan. 2016. Relatório Final. Contrato Unesp/Fehidro nº 068/2010.

KOHORI, C.B. **Mudanças no uso da terra no alto curso da bacia do Ribeirão dos Ranchos – Adamantina/SP e impactos sobre os cursos d'água.** 2017. 112 f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista – UNESP, Presidente Prudente, 2017.

KUCHINSKI, V.; GASTALDINI, M. C. C.; SANTOS, S. A.; CONTERATO, T. M. Avaliação da Biodegradabilidade da Água do Arroio Cadena através da relação de DBO e DQO. In: JORNADA ACADÊMICA INTEGRADA, 2013, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: [s. n.], 2013.

LEAL, A. C. **Gestão das águas no Pontal do Paranapanema/São Paulo.** 2000. 300 f. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências, UNICAMP, Campinas, 2000.

LEOPOLD, L. B. **A view of the river.** Cambridge. University Press, 1994.

LIMA, B.P. **Enquadramento de corpos d'água no nordeste brasileiro como instrumento de gestão e sustentabilidade ambiental: o caso da bacia hidrográfica Acarape do meio – CE.** 2016. 272 f. Tese (Doutorado). Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2016.

MATEUS, R. S. A relação entre o clima e o abastecimento de água na RMSP. Uma proposta de modelagem teórica da bacia hidrográfica da Represa Guarapiranga. In: SEMINÁRIO DE PESQUISA EM GEOGRAFIA FÍSICA, 2., 2004, São Paulo. **Anais...** São Paulo: USP, 2004.

MATOS, R. J.; PIROLI, E. L. Abordagem geossistêmica ao estudo geocológico da Bacia do Córrego do Botafogo - Presidente Prudente - São Paulo - Brasil. **Geonorte**, Manaus, v. 3, p. 423-434, 2012.

MOREIRA, H. A. **Diagnóstico da qualidade ambiental da bacia do rio Jaboatão: sugestão de enquadramento preliminar.** 2007. 118 f. Dissertação (Mestrado). Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2007.

MORUZZI, R. B.; CONCEIÇÃO, F. T. da.; SARDINHA, D. S.; HONDA, F. P.; NAVARRO, G. R. B. Avaliação de cargas difusas e simulação de autodepuração no córrego da Água Branca, Itirapina (SP). **Geociências**, Rio Claro, v. 31, n. 3, p. 447-458, 2012.

NAGATA, L. **Avaliação do plano de desenvolvimento e proteção ambiental da bacia hidrográfica do Guarapiranga em consonância com o planejamento urbano**. 2004. 92 f. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista - UNESP, Rio Claro, 2004.

NASA U.S.A. **GIOVANNI**: time series: area-averaged of precipitation rate daily 0.25 deg. New York, 2017a. Disponível em <[https://giovanni.sci.gsfc.nasa.gov/giovanni/#service=ArAvTs&starttime=1996-01-01T00:00:00Z&endtime=2016-12-31T23:59:59Z&bbox=-51.52,-22.29,-51.33,-22.13&data=TRMM\\_3B42\\_Daily\\_7\\_precipitation&variableFacets=dataFieldMeasured%3APrecipitation%3BdataProductPlatformInstrument%3ATRMM%3B&portal=GIOVANNI&format=json](https://giovanni.sci.gsfc.nasa.gov/giovanni/#service=ArAvTs&starttime=1996-01-01T00:00:00Z&endtime=2016-12-31T23:59:59Z&bbox=-51.52,-22.29,-51.33,-22.13&data=TRMM_3B42_Daily_7_precipitation&variableFacets=dataFieldMeasured%3APrecipitation%3BdataProductPlatformInstrument%3ATRMM%3B&portal=GIOVANNI&format=json)>. Acesso em: 11 dez 2017.

NASA U.S.A. **GIOVANNI**: time series: area-averaged of surface air temperature monthly 0.5 x 0.625 deg. New York, 2017b. Disponível em <[https://giovanni.sci.gsfc.nasa.gov/giovanni/#service=ArAvTs&starttime=1996-01-01T00:00:00Z&endtime=2016-12-31T23:59:59Z&bbox=-51.52,-22.29,-51.33,-22.13&data=TRMM\\_3B42\\_Daily\\_7\\_precipitation%2CM2TMNXFLX\\_5\\_12\\_4\\_TLML\(unit%3DC\)&variableFacets=dataFieldMeasurement%3AAir%20Temperature%3BdataProductPlatformInstru%3AMERRA-2%20Model%3B&portal=GIOVANNI&format=json](https://giovanni.sci.gsfc.nasa.gov/giovanni/#service=ArAvTs&starttime=1996-01-01T00:00:00Z&endtime=2016-12-31T23:59:59Z&bbox=-51.52,-22.29,-51.33,-22.13&data=TRMM_3B42_Daily_7_precipitation%2CM2TMNXFLX_5_12_4_TLML(unit%3DC)&variableFacets=dataFieldMeasurement%3AAir%20Temperature%3BdataProductPlatformInstru%3AMERRA-2%20Model%3B&portal=GIOVANNI&format=json)>. Acesso em: 11 dez. 2017.

OKAWA, C. M. P.; POLETO, C. Gerenciamento de recursos hídricos: o conflito pelo uso da água. In: POLETO, C. (Org.) **Bacias hidrográficas e recursos hídricos**. Rio de Janeiro: Interciência, 2014. p. 1- 28.

OLIVEIRA, E.M. de. **Desafios e perspectivas para recuperação da qualidade das águas do rio Tietê na Região Metropolitana de São Paulo**. 2015. 299 f. Tese (Doutorado) - Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo – USP, São Paulo, 2015.

OLIVEIRA, F. F. de. **Discussão do quadro de geração de dados socioeconômicos para a gestão de bacias hidrográficas no Brasil: panorama atual, obstáculos, demandas e desafios**. 2013. 181 f. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013.

OLIVEIRA, L. M. de; MAILLARD, P. Aplicação de árvores de decisão na modelagem das concentrações de nitrato e fósforo total: estudo de caso no rio das Velhas. **RBRH**, Porto Alegre, v. 20, n. 3, p. 795-808, 2015.

OPPA, L.F.; GASTALDINI, M.C.C.; MISSIO, O. Modelagem da qualidade da água aplicado à bacia do rio Vacacaí Mirim. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 24., 2007, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: [s. n.], 2007.

ORTEGA, D. J. P.; CARVALHO, S. L. de. Avaliação dos efeitos das atividades antropólicas nos recursos hídricos na sub-bacia hidrográfica do Córrego do Ipê – SP. **RBRH**, Porto Alegre, v. 18, n. 3, p. 97-108, 2013.

PELEGRINI, J. B. R.; RHEINHEIMER, D. S.; GONÇALVES, C. S.; COPETTI, A. C. C.; BORTOLUZZI, E. C. Adsorção de fósforo em sedimentos e sua relação com a ação antrópica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, p. 2639-2646, 2008.

PELEGRINI, J. B. R.; RHEINHEIMER, D. S.; GONÇALVES, C. S.; COPETTI, A. C. C. Distribuição e dinâmica do uso das terras: o caso da microbacia hidrográfica do Arroio Lino, Agudo, RS. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROECOLOGIA, 2005, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: [s. n.], 2005.

PINHEIRO, A.; PIAZZA, G. A.; ALVES, T. C.; AGUIDA, L. M. de.; KAUFMANN, V.; GOTARDO, R. Qualidade das águas de uma bacia protegida por floresta ombrófila densa. **RBRH**, Porto Alegre, v. 19, n. 1, p. 101-117, 2014a.

PINHEIRO, A.; SCHOEN, C.; SCHULTZ, J.; HEINZ, K. G. H.; PINHEIRO, I. G.; DESCHAMPS, F. C. Relação entre uso e cobertura da terra e a qualidade da água em bacia hidrográfica rural no bioma Mata Atlântica. **RBRH**, Porto Alegre, v. 19, n. 3, p. 127-139, 2014b.

PINHEIRO, R. B.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; SILVA, S. R. da.; MEDEIROS, Y. D. P.; AURELIANO, J. T. Outorga para lançamento de efluentes: uma metodologia de apoio à gestão de recursos hídricos. **RBRH**, Porto Alegre, v. 18, n. 4, p. 55-65, 2013.

PINTO, N. L. S.; HOUTZ, A. C. T.; MARTINS, J. A.; GOMIDE, F. L. S. **Hidrologia básica**. São Paulo: Edgar Blucher, 1976.

PIROLI, E.L.; CAMPOS, S. Distribuição espacial e quantificação do uso da terra no município de Botucatu/SP, avaliada por dados de sensoriamento remoto analisados em um sistema de informações geográficas. **Energia na agricultura**, Botucatu, v. 17, n. 1, p. 14-21, 2002.

PORTO, M. F. A.; PORTO, R. L. L. **Dossiê água: gestão de bacias hidrográficas**. Estudos Avançados, São Paulo, v. 22, n. 63, 2008. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0103-40142008000200004&lng=pt&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-40142008000200004&lng=pt&tlng=pt)>. Acesso em: 17 dez. 2017.

PORTO, M. F. A. Aspectos qualitativos do escoamento superficial urbano. In: TUCCI, C. E. M.; PORTO, R. L. L.; BARROS, M. T. L. (Org.). **Drenagem urbana**. Porto Alegre: Editora da Universidade/UFRGS, 1995. p. 387-428.

PRESIDENTE PRUDENTE. **Poder Executivo. Lei nº 153 de 10 de janeiro de 2008**. Presidente Prudente, 2008.

QUARESMA, C. C.; PEREZ FILHO, A.; AMORIM, R. R.; FERREIRA, M. L. Erosão remontante em cabeceiras de drenagem e ação antrópica: o caso do córrego Santa Cruzinha, afluente do rio Santo Anastácio/Oeste do estado de São Paulo. In: PEREZ, A.; AMORIM, R.R. (Org.). **Os desafios da geografia física na fronteira do conhecimento**. Campinas: Unicamp, 2017. v. 1, p. 7162-7174.

RASCHE, A. J. W.; RHEINHEIMER, D. S.; PELLEGRINI, A.; SCHAEFER, G.; KOCHER, M. L.; CAPOANE, V.; CABRAL, A. N. Evaluación de la transferencia de fósforo en una cuenca hidrográfica rural. In: CONGRESO PARAGUAYO DE RECURSOS HÍDRICOS, 3., 2012, Encarnación. **Trabajos presentados...** [S. l.: s. n.], 2012.

ROCHA, C. H. B.; COSTA, H. F. Variação temporal de parâmetros limnológicos em manancial de abastecimento em Juiz de Fora, MG. **RBRH**, Porto Alegre, v. 20, n. 2, p. 543-550, 2015.

RODRIGUES, M. R.; OSCO, L. P.; RAMOS, A. P. M. Produção cartográfica para elaboração de inventário físico-territorial de bacia hidrográfica no Pontal do Paranapanema. **Colloquium Exactarum**, Presidente Prudente, v. 7, p. 65-83, 2015.

ROSA, E.R. **Técnicas de geoprocessamento aplicadas na análise do uso da terra no município de Pilar do Sul, SP**. 2006. 126 f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo – USP, São Paulo, 2006.

RYDING, S. O.; RAST, W. **The control of eutrophication of lakes and reservoirs**. New Jersey: The Parthnon Publishing Company, 1989. 314 p. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/iroh.19920770113>>. Acesso em: 29 abr. de 2018.

SAAD, A. M. **Relatório 674/13: atualização do plano de bacia da unidade de gerenciamento dos recursos hídricos do pontal do Paranapanema: UGRHI 22**. Presidente Prudente, 2013. Disponível em: <<http://cbhpp.org/plano-de-bacia/>>. Acesso em: 16 abr. 2017.

SAAD, A. R.; MARTINEZ, S. S.; GOULART, M. E.; SEMEMSATTO, D.; VARGAS, R. R.; ANDRADE, M. R. M. Efeitos do entre uso e cobertura da terra e da implantação da estação de tratamento de esgoto sobre a qualidade das águas do rio Baquirivu-Guaçu, região metropolitana de São Paulo. **RBRH**, Porto Alegre, v. 20, n. 1, p. 147-156, 2015.

SANCHES, P.S. **O processo de ocupação em áreas de proteção de mananciais: conflito com a lei e realidade social na Região Metropolitana de São Paulo: o caso de dois loteamentos ilegais no município de Mairiporã**. 2003. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo – USP, São Carlos, 2003.

SANTOS, C. R.; ROCHA, P. C. Análise do índice de área dos fragmentos existentes na foz dos rios do Oeste Paulista-SP. **Fórum ambiental da Alta Paulista**, São Paulo, v. 10, p. 101-111, 2014.

SANTOS, E. P.; LEAL, A. C. Contribuição para o planejamento ambiental da bacia hidrográfica do ribeirão do Rebojo – UGRHI Pontal do Paranapanema – São Paulo. **Revista GeoNorte**, Manaus, v. 1, p. 791-802, 2012.

SÃO PAULO. Departamento de Águas e Energia Elétrica - DAEE. **Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo: regionalização hidrológica no Estado de São Paulo**. Revista Águas e Águas e Energia Elétrica – DAEE, São Paulo, ano 5, n. 14, p. 1-11, 1988. 11 p. Disponível em: <<https://pt.scribd.com/document/164898852/regdaee-artigo>>. Acesso em: 16 abr. 2017.

SÃO PAULO (Estado). Lei nº 997 de 31 de maio de 1976. **Diário Oficial do Estado**. São Paulo, 01 jun. 1976. p. 1. Disponível em: <<https://www.al.sp.gov.br/norma/?id=46075>>. Acesso em: 11 dez 2017.

SÃO PAULO (Estado). Decreto nº 10.755, de 22 novembro de 1977. **Diário Oficial do Estado**. São Paulo, 23 nov. 1975. p. 1. Disponível em <<https://www.al.sp.gov.br/norma/?id=153028>> Acesso em: 11 dez. 2017.

SÃO PAULO (Estado). Lei 9.866 de 28 de novembro de 1.997. **Diário Oficial do Estado**. São Paulo, 29 nov. 1997. Disponível em <<https://www.al.sp.gov.br/norma/?id=5976>>. Acesso em: 11 dez. 2017.

SÃO PAULO (Estado). Lei 12.233 de 16 de janeiro de 2.006. **Diário Oficial do Estado**, São Paulo, 17 jan. 2006. Disponível em: <<https://www.al.sp.gov.br/norma/?id=59925>> Acesso em: 11 dez. 2017.

SÃO PAULO (Estado). Lei 13.579 de 13 de julho de 2009. **Diário Oficial do Estado**. São Paulo, 14 jul. 2009. Disponível em <<https://www.al.sp.gov.br/norma/?id=156946>>. Acesso em: 11 dez. 2017.

SÃO PAULO (Estado). Lei 15.790 de 16 de abril de 2.015. **Diário Oficial do Estado**. São Paulo, 17 abr. 2015a. Disponível em: <<https://www.al.sp.gov.br/norma/174475/>> Acesso em: 11 dez. 2017.

SÃO PAULO (Estado). Lei 15.913 de 02 de outubro de 2.015. **Diário Oficial do Estado**. São Paulo, 03 out. 2015b. Disponível em: <<https://www.al.sp.gov.br/norma/mini/175855/>>. Acesso em: 11 dez. 2017.

SÃO PAULO. Secretaria de Estado de Meio Ambiente – SMA. **Elaboração do plano de desenvolvimento e proteção ambiental da bacia hidrográfica do reservatório billings**. São Paulo: SMA, 2010. Relatório Final.

SCANTIMBURGO, A.L. Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: o impacto do agronegócio e o papel do Estado. In: CONGRESSO LATINOAMERICANO Y CARIBENHO DE CIENCIAS SOCIALES, 3., 2015, Quito. **Anais...** [S. l.: s. n.], 2015.

SEADE. Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados. [S. l.: s. n.], 2017. Disponível em: <<http://produtos.sea0.de.gov.br/produtos/projpop/index.php>> Acesso em: 14 set 2017.

SILVA, S.M. **Avaliação ambiental estratégica na Política Nacional de Recursos Hídricos – PNRH**. 2008. 189 f. Tese (Doutorado) - Centro de Desenvolvimento Sustentável, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2008.

SOARES, F. B.; LEAL, A. C. Unidades da paisagem da bacia hidrográfica do manancial balneário da Amizade nos municípios de Álvares Machado e Presidente Prudente - São Paulo/BR. **Caminhos da Geografia**, Uberlândia, v. 18, p. 339-356-356, 2018.

SOUZA, M. M de.; GASTALDINI, M. C. C. Avaliação da qualidade da água em bacias hidrográficas com diferentes impactos antrópicos. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 19, p. 263-274, 2014.

SOUZA, M.M. de; GASTALDINI, M.C.C.; ARAÚJO, R.K.de. Probabilidade de atendimento aos padrões de qualidade da água no rio Vacacaí-Mirim, Santa Maria-RS. **RBRH**, Porto Alegre, v. 20, n. 4, p. 1076-1083, 2015.

SUDO, H. **Bacia do alto Santo Anastácio**: estudo geomorfológico. 1980. Tese (Doutorado), Universidade de São Paulo - USP, São Paulo, 1980.

TANIWAKI, R. H.; ROSA, A. H.; LIMA, R.; MARUYAMA, C.R.; SECCHIN, L. F.; CALIJURI, M.C.; MOSCHINI CARLOS, V. A influência do uso e ocupação do solo na qualidade e genotoxicidade da água no reservatório de Itupararanga, São Paulo, Brasil. **Interciencia**, Caracas, v. 38, p. 164-170, 2013.

THOMANN, R. V.; SOBEL, M. J. Estuarine water quality management and forecasting. **Journal of the Sanitary Engineering Division**, New York, v. 90, p. 9-38, 1964. Disponível em: <<http://cedb.asce.org/CEDBsearch/record.jsp?dockey=0013465>> Acesso em: 28 abr 2018.

TODESCHINI, R.; FRIEDRICH, M.; BAGGIOTTO, C.; ARAUJO, R.K.; CRUZ, J.C. Qualidade da água em nascentes da bacia do Vacacaí-Mirim com diferentes usos e cobertura do solo. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 2016, Aracaju. **Anais...** Aracaju:[s. n.], 2016.

TOLEDO, J.A.; RHEINHEIMER, D.S.; SANTANA, M.A. SCHENATO, R.B.; TIECHER, T. Dessorção de fósforo em ambientes oxidado e reduzido do sedimento da Pequena Bacia Hidrográfica do Arroio Lino - Agudo - RS. In: XXXII CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 2009, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: [s. n.], 2009.

TORRES, C. J. F.; MEDEIROS, Y. D. P.; FREITAS, I. M. D. P. Training watershed commuttee members toa id on the decision-making process for the execution program of the framework of water bodies. **RBRH**, Porto Alegre, v. 21, n. 2, p. 314-327, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.21168/rbrh.v21n2.p314-327>> Acesso em: 17 abr. 2018.



TROMBETA, L. R.; LEAL, A. C. Planejamento ambiental e geoecologia das paisagens: contribuições para a bacia hidrográfica do córrego Guaiçarinha, município de Álvares Machado, São Paulo, Brasil. **Formação**, Presidente Prudente, v. 3, p. 187-216, 2016.

TUCCI, C.E.M. **Hidrologia**: ciência e aplicação. Porto Alegre. UFRGS, 2009.

VALENTE, M.L.; CRUZ, J.C.; BAGGIOTTO, C. Enquadramento de mananciais rurais com diferentes usos do solo no bioma Pampa: um instrumento para a gestão de bacias hidrográficas. **Rega**, Porto Alegre, v. 13, n. 1, p. 43-53. 2016.

VARGAS, J.R.A.; FERREIRA, P.D. Aplicação de um Protocolo de Avaliação Rápida na Caracterização da Qualidade Ambiental de Duas Microbacias do Rio Guandu, Afonso Cláudio, ES. **RBRH**, Porto Alegre, Vol 17, n.1, p. 161-168, 2012.

VARGAS, M.C. O gerenciamento integrado dos recursos hídricos como problema socioambiental. **Ambiente & Sociedade**, Campinas, n. 5, 1999. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1414-753X1999000200009](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1414-753X1999000200009)> Acesso em: 29 abr. 2018.

VISENTIN, J. C; USSAMI, K. A.; GUILHOTO, J. J. M.; AZZONI, C. R. The importance of virtual water consumption for São Paulo states and the rest of Brazil: an input-output analysis. In: ENCONTRO NACIONAL DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS REGIONAIS E URBANOS, 13., 2015, Curitiba. **Anais...** Curitiba: [s. n.], 2015.

VON SPERLING, M. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias**: estudos e modelagem da qualidade da água dos rios. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – DESA – UFMG, 2007. v. 7, 588 p.

VON SPERLING, M. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias**: princípios básicos do tratamento de esgotos. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – DESA – UFMG, 1996. v. 2, 211 p.

ZANATA, J. M.; PIROLI, E. L.; DELATORRE, C. C. M.; GIMENES, G. R. Análise do uso e ocupação do solo nas áreas de preservação permanente da microbacia ribeirão Bonito, aplicada em técnicas de geoprocessamento. **Revista GeoNorte**, Manaus, v. esp., p. 1262-1272, 2012.

ZUCCO, E.; PINHEIRO, A.; SOARES, P. A. Concentrações de nutrientes e de carbono transportados por ondas de cheia em uma bacia agrícola no estado de Santa Catarina. **RBRH**, Porto Alegre, v. 20, n. 2, p. 369-378, 2015.