UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA E SANEAMENTO

JULIANA GARCIA

A QUALIDADE DA ÁGUA, O PROCESSO DE AUTODEPURAÇÃO E A PROPOSIÇÃO DE CENÁRIOS PARA GERENCIAMENTO SUSTENTÁVEL DO RIO SOROCAMIRIM (SP)

VERSÃO CORRIGIDA
São Carlos, SP
2013

JULIANA GARCIA

A QUALIDADE DA ÁGUA, O PROCESSO DE AUTODEPURAÇÃO E A PROPOSIÇÃO DE CENÁRIOS PARA GERENCIAMENTO SUSTENTÁVEL DO RIO SOROCAMIRIM (SP)

Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ciências: Engenharia Hidráulica e Saneamento.

Orientadora: Profª Titular Maria do Carmo Calijuri

São Carlos, SP

2013

AUTORIZO A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Garcia, Juliana
G216a A qualidade da água, o processo de autodepuração e a proposição de cenários para gerenciamento sustentável do Rio Sorocamirim(SP) / Juliana Garcia; orientadora Profª Maria do Carmo Calijuri. São Carlos, 2013.

Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação e Área de Concentração em Hidráulica e Saneamento -- Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2013.

1. Qualidade de água. 2. Autodepuração. 3. Sub-bacia do Alto Sorocaba. 4. Rio Sorocamirim. 5. Modelo QUAL2K. 6. Cenácios ambientais. I. Título.

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidata: Engenheira **JULIANA GARCIA**.

Título da dissertação: "A qualidade da água, o processo de autodepuração e a proposição de cenários para gerenciamento sustentável do Rio Sorocamirim (SP)".

Data da defesa: 20/09/2013

Comissão Julgadora:	**Resultado:**
Profa. Titular **Maria do Carmo Calijuri (Orientadora)** (Escola de Engenharia de São Carlos/EESC)	Aprovada
Dra. **Patrícia Bortoletto de Falco** (UNIVESP)	APROVADA
Profa. Dra. **Jandira Liria Biscalquini Talamoni** (Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho"/UNESP-Bauru)	APROVADA

Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Hidráulica e Saneamento:
Profa. Dra. **Maria Bernadete A. Varesche Silva**

Presidente da Comissão de Pós-Graduação:
Prof. Titular **Denis Vinicius Coury**

À memória de Carlos André Garcia, meu pai

"As pessoas veem estrelas de maneira diferente. Para aqueles que viajam, as estrelas são guias. para outros, não passam de pequenas luzes. Para os sábios, elas são problemas. Para o empresário, eram ouro. Mas todas essas estrelas se calam. Tu, porém, terás estrelas como ninguém nunca as teve...

(...)

Quando olhares o céu de noite, eu estarei habitando uma delas, e de lá estarei rindo; então será, para ti, como se todas as estrelas rissem! Desta forma, tu, e somente tu, terás estrelas que sabem rir!

(...)

E quando estiveres consolado (a gente sempre se consola), tu ficarás contente por me teres conhecido. Tu serás sempre meu amigo. Terás vontade de rir comigo. E as vezes abrirás tua janela apenas pelo simples prazer... E teus amigos ficarão espantados ao ver-te rir olhando o céu. Tu explicarás então: "Sim, as estrelas, elas sempre me fazem rir!" E eles te julgarão louco. Será como uma peça que te prego..."

Antoine de Saint-Exupéry, O Pequeno Príncipe

AGRADECIMENTOS

A minha mãe, Ivonete de Fátima Garcia, e á minha irmã, Fernanda Garcia, pelo amor, carinho, incentivo, ajuda incondicional e por sempre terem acreditado em mim.

À Professora Titular Maria do Carmo Calijuri, pelos ensinamentos, pela orientação e pela oportunidade de realizar este trabalho, que me proporcionou um amadurecimento profissional inestimável. Meu respeito e gratidão.

Aos professores do Departamento de Hidráulica e Saneamento da EESC/USP, pelos ensinamentos com eles adquiridos. Aos funcionários e técnicos deste departamento, que sempre se encontram à disposição na prestação de serviços, realizando-os com ânimo e disposição.

Ao motorista, Sr. Benedito Patracon, e aos técnicos, José Roberto Maramarque e Waldomiro Antônio Filho, pela ajuda e dedicação nos trabalhos de campo.

A todos do Laboratório BIOTACE que fizeram parte da minha pós-graduação, pelo auxílio prestado nas campanhas e pelos ensinamentos quanto às análises laboratoriais.

Aos meus amigos, Hugo Rocha, Juliana Moccelin, Kenzo Matsubara, Marcela Antunes, Paulo Voltan, Pedro Beraldo, Roger Daniel Rôdas, Vitor Guerra, pela paciência diante dos meus momentos de irritação com erros e dificuldades, pela compreensão diante dos momentos de ausência, pelo incentivo diante dos momentos de cansaço, por dicas, sugestões, auxílio e apoio nas correções, muito, muito obrigada, vocês foram fundamentais.

À CAPES, pela bolsa de estudos fornecida e à FAPESP, pela concessão de auxílio financeiro ao Projeto Temático “Contribuição ao conhecimento do ciclo do carbono no reservatório de Itupararanga como subsídio para a sustentabilidade da bacia hidrográfica do rio Sorocaba-SP” (Processo nº 08/55636-9).

SUMÁRIO

RESUMO iii

ABSTRACT v

LISTA DE FIGURAS vii

LISTA DE TABELAS xi

1 INTRODUÇÃO 1

2 OBJETIVOS 5

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 7

3.1 Gestão de recursos hídricos no Brasil 7

3.2 Bacia hidrográfica como unidade de estudo e dinâmica fluvial 8

3.2.1 Autodepuração nos corpos de água 13

3.3 Modelagem da qualidade da água em rios 16

3.3.1 Importância da modelagem no gerenciamento dos recursos hídricos 16

3.3.2 Evolução dos modelos de qualidade da água em rios 17

3.4 O modelo QUAL2K 21

3.4.1 Representação conceitual 24

4 MATERIAIS E MÉTODOS 27

4.1 Área de estudo 27

4.1.1 Pontos de amostragem selecionados 31

4.2 Amostragem 39

4.2.1 Variáveis climatológicas 39

4.2.2 Variáveis hidráulicas 39

4.2.3 Variáveis físicas e químicas da água 40

4.2.4 Variáveis biológicas da água 41

4.2.5 Variáveis físicas e químicas do sedimento 41

4.2.6 Índice de estado trófico 42

4.3 Análise estatística das variáveis físicas e químicas da água 43
4.4 Utilização do modelo QUAL2K..... 43
4.4.1 Dados de entrada no modelo..... 44
4.4.2 Discretização do rio Sorocamim..... 44
4.4.3 Calibração do modelo QUAL2K 45
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....47
5.1 Limnologia do rio Sorocamirim..... 47
5.1.1 Variáveis climatológicas..... 47
5.1.2 Variáveis hidráulicas..... 49
5.1.3 Variáveis físicas e químicas da água do rio Sorocamirim 51
5.1.4 Variáveis biológicas da água..... 80
5.1.5 Variáveis físicas e químicas do sedimento 82
5.1.6 Classificação do estado trófico da água do rio Sorocamirim..... 86
5.1.7 Estimativa da contribuição do rio Sorocamirim na carga de carbono orgânico total do reservatório de Itupararanga..... 87
5.2 Cenários ambientais para a sub-bacia do rio Sorocamirim..... 88
5.2.1 Calibração do modelo QUAL2K para simulação da qualidade da água do rio Sorocamirim 88
5.2.2 Simulação de cenários..... 94
6 CONCLUSÕES 109
7 RECOMENDAÇÕES.....113
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 115
ANEXOS 127

RESUMO

GARCIA, J. **A qualidade da água, o processo de autodepuração e a proposição de cenários para gerenciamento sustentável do rio Sorocamirim (SP)**. Dissertação (Mestrado), Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2013. 152 p.

Nos últimos anos tem-se agravado continuamente os problemas relacionados à poluição dos mananciais, principalmente em decorrência de lançamentos de esgotos sem qualquer tipo de tratamento e do desenvolvimento agrícola e industrial, evidenciando que o estudo da dinâmica das águas superficiais e o gerenciamento de bacias hidrográficas sejam cada vez mais necessários e fundamentais para garantir os usos múltiplos das águas. O presente estudo teve como objetivo principal avaliar as características limnológicas do rio Sorocamirim, visando fornecer subsídios para a gestão deste recurso hídrico e à garantia de seus usos múltiplos. Para avaliação da influência na qualidade da água do rio Sorocamirim, dos diferentes impactos em diferentes pontos, foi utilizado o modelo de qualidade QUAL2K. As variações espaciais e temporais da qualidade da água do rio Sorocamirim, em relação à concentração de nutrientes, indicaram que este manancial tem recebido impactos decorrentes da urbanização, do desmatamento da mata ciliar e das atividades agrícolas. Os estudos estatísticos efetuados com base nas variáveis físicas e químicas da água indicaram que, espacialmente, o rio Sorocamirim pode ser dividido em duas regiões de características distintas, uma à montante da entrada do ribeirão Vargem Grande, principal tributário do rio Sorocamirim, e outra à jusante, evidenciando que, dentre os impactos decorrentes da urbanização, o mais significativo é o lançamento, sem qualquer tratamento prévio, do esgoto doméstico do município de Vargem Grande Paulista no ribeirão Vargem Grande. Já sazonalmente, o comportamento deste manancial pode ser diferenciado entre: período de estiagem (coleta de inverno), período de chuvas (coleta de primavera) e períodos intermediários (coletas de verão e outono). O modelo QUAL2K foi calibrado para as variáveis oxigênio dissolvido, sólidos suspensos inorgânicos, nitrato, fósforo total, fósforo orgânico e fósforo inorgânico, sendo que os dados de qualidade simulados pelo modelo apresentaram concordância com os dados observados, ou seja, foram representativos do comportamento do rio Sorocamirim. Ressalta-se que o modelo foi calibrado e utilizado para simulação de cenários para gerenciamento em dois períodos distintos: período de estiagem e período de chuvas. A análise dos cenários que contemplaram o tratamento das diferentes variáveis mostrou que a coleta e o tratamento do esgoto doméstico nos municípios desta sub-bacia são fundamentais para a manutenção da qualidade da água deste manancial.

Palavras-chave: **sub-bacia do Alto Sorocaba, modelo QUAL2K, cenários ambientais, gestão de recursos hídricos.**

ABSTRACT

GARCIA, J. **The water quality, the process of autodeputation and the propose of scenarios for sustainable management of the Sorocamirim river (SP).** M.Sc. Dissertation. São Carlos: Engineering School of São Carlos, University of São Paulo, 2013. 152 p.

In recent years it has continuously compounded the problems related to pollution of water sources, mainly due to releases of sewage without any treatment and agricultural and industrial development, demonstrating that the study of the dynamics of surface water and watershed management are increasingly necessary and essential to ensure the multiple uses of water. The present study aimed to evaluate the limnological characteristics of the Sorocamirim river to provide subsidies for the management of water resources ensuring its multiple uses. To evaluate the influence on the water quality of the river Sorocamirim in different impacts at different points, the quality model QUAL2K was used. The spatial and temporal variations in water quality of the river Sorocamirim, in relation to the concentration of nutrients, indicate that this source suffers impacts of urbanization, deforestation of riparian vegetation and agricultural activities. Statistical analysis performed with the physical and chemical variables of the water indicated that the river Sorocamirim can be spatially divided into two regions with distinct characteristics, one of then is upstream of the Vargem Grande rivers's input (main tributary of the Sorocamirim river), and the other one is downstream. It shows that, among the impacts of urbanization, the most significant is the release of the sewage without any pretreatment of the city of Vargem Grande Paulista in the Vargem Grande river. Analysing the data seasonally, the behavior of this river can be differentiated between: the dry season (winter sampling), the rainy season (spring sampling), and the intermediate periods (summer and autumn samplings). The QUAL2K model was calibrated to the variables: dissolved oxygen, inorganic suspended solids, nitrate, total phosphorus, organic and inorganic phosphorus. The quality data simulated by the model showed agreement with the observed data, showing the representativity of the behavior of Sorocamirim river by the model. It's important to emphasize that the model was calibrated and used to simulate scenarios for management in two distinct periods: the dry season and the rainy season. The analysis of scenarios considering the different variables showed that the collection and treatment of domestic sewage in the cities of this sub basin is fundamental in maintaining the quality of water from this source.

Key words: **water quality, autodepuration, sub-basin of Alto Sorocaba, Sorocamirim river, QUAL2K model, environmental scenarios.**

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 - Tamanho das bacias hidrográficas e unidades políticas envolvidas e tipos de projetos e/ou planos correspondentes (Fonte: MUÑOZ, 2000 apud MOCCELIN, 2010).....9
Figura 3.2 - Principais processos de contaminação e poluição das águas e suas consequências (Fonte: *International Lake Environment Comittee* – ILEC, 1996 apud REBOUÇAS, BRAGA & TUNDISI, 2006).....10
Figura 3.3 – Diagrama do conceito do Continuo Fluvial (CALIJURI & BUBEL, 2006).....12
Figura 3.4 - Quatro períodos de desenvolvimento dos modelos de qualidade da água (Adaptada de CHAPRA, 1997).....18
Figura 3.5 - Esquema da divisão de um corpo de água, sem tributários, em segmento (Adaptado de CHAPRA, PELLETIER e TAO, 2008).....24
Figura 3.6 - Esquema da subdivisão de um segmento em 4 elementos computacionais igualmente espaçados (Adaptado de CHAPRA, PELLETIER e TAO, 2008).....25
Figura 4.1 – Mapa da Sub-Bacia 6 - Alto Sorocaba com destaque da área de estudo e do rio Sorocamirim (Adaptado de SECCHIN, 2012)..... **Erro! Indicador não definido.**
Figura 4.2 – Mapa de uso e ocupação do solo da Sub-Bacia 6 - Alto Sorocaba (SECCHIN, 2012).....29
Figura 4.3 - Pontos de amostragem da CESTESB na UGRHI 10.....32
Figura 4.4 – Mapa com a localização dos pontos de amostragem selecionados.....33
Figura 4.5 - Diagrama unifilar da extensão do rio Sorocamirim mostrando os tamanhos de cada trecho e as fontes difusas.....45
Figura 5.1 - Valores de vazão obtidos no rio Sorocamirim ($m^3.s^{-1}$).....49
Figura 5.2 - Valores de velocidade obtidos no rio Sorocamirim ($m.s^{-1}$).....51
Figura 5.3 - Valores da temperatura da água (˚C) no rio Sorocamirim.....52
Figura 5.4 - Valores de turbidez (uT) no rio Sorocamirim.....53
Figura 5.5 - Concentrações de sólidos suspensos totais ($g.L^{-1}$) na água do rio Sorocamirim..54
Figura 5.6 - Parcelas orgânicas e inorgânicas das concentrações de sólidos suspensos totais (%) na água do rio Sorocamirim durante as coletas (2011/2012).....56
Figura 5.7 - Valores de condutividade ($\mu S.cm^{-1}$) no rio Sorocamirim.....57
Figura 5.8 - Foto do ponto J-01 com tubulações de lançamento de esgoto doméstico das residências localizadas na margem (29/07/2011).....58
Figura 5.9 - Valores de pH no rio Sorocamirim.....59

Figura 5.10 - Valores de alcalinidade (mg.L^{-1}) no rio Sorocamirim..... 61
Figura 5.11 - Concentrações de oxigênio dissolvido (mg.L^{-1}) no rio Sorocamirim 62
Figura 5.12 - Valores de potencial redox (mV) no rio Sorocamirim..... 64
Figura 5.13 - Concentração de fósforo total (µg.L^{-1}) na água do rio Sorocamirim 65
Figura 5.14 - Concentração de fósforo total dissolvido (µg.L^{-1}) na água do rio Sorocamirim66
Figura 5.15 - Concentração de ortofosfato (µg.L^{-1}) na água do rio Sorocamirim 66
Figura 5.16 - Concentração de nitrogênio total Kjeldahl (mg.L^{-1}) na água do rio Sorocamirim 68
Figura 5.17 - Concentração de nitrito (µg.L^{-1}) na água do rio Sorocamirim 70
Figura 5.18 - Concentração de nitrato (mg.L^{-1}) na água do rio Sorocamirim..... 71
Figura 5.19 - Concentrações de carbono total (mg.L^{-1}) na água do rio Sorocamirim 72
Figura 5.20 - Relação entre carbono orgânico total e carbono inorgânico (%) na água do rio Sorocamirim durante as coletas (2011/2012)..... 73
Figura 5.21 - Gráfico da PCA sobre variáveis físicas e químicas da água do rio Sorocamirim considerando os dois principais componentes 76
Figura 5.22 - Dendrograma obtido a partir da PCA feita com os dados das variáveis físicas e químicas da água durante o período de estudo (julho de 2011/abril de 2012)..... 77
Figura 5.23 - Dendrogramas das diferentes coletas obtidos a partir da PCA feita com os dados das variáveis físicas e químicas da água do rio Sorocamirim..... 79
Figura 5.24 - Concentração de clorofila-a (µg.L^{-1}) no rio Sorocamirim 81
Figura 5.25 - Concentração de feofitina (µg.L^{-1}) no rio Sorocamirim..... 81
Figura 5.26 - Porcentagem de matéria orgânica no sedimento do rio Sorocamirim..... 83
Figura 5.27 - Concentrações de nitrogênio total (µg.g^{-1}) no sedimento do rio Sorocamirim .. 84
Figura 5.28 - Concentrações de fósforo total (µg.g^{-1}) no sedimento do rio Sorocamirim..... 85
Figura 5.29 - Variação espacial das vazões medidas e simuladas nos períodos de estiagem e de chuvas..... 89
Figura 5.30 - Variação espacial das velocidades de escoamento medidas e simuladas nos períodos de estiagem e de chuvas 89
Figura 5.31 - Variação espacial medida e simulada de oxigênio dissolvido (mg.L^{-1}), sólidos suspensos inorgânicos (mg.L^{-1}), nitrato (µg.L^{-1}), fósforo total (µg.L^{-1}), fósforo orgânico (µg.L^{-1}) e fósforo inorgânico (µg.L^{-1}) no período de estiagem no rio Sorocamirim..... 90
Figura 5.32 - Variação espacial medida e simulada de oxigênio dissolvido (mg.L^{-1}), sólidos suspensos inorgânicos (mg.L^{-1}), nitrato (µg.L^{-1}), fósforo total (µg.L^{-1}), fósforo orgânico (µg.L^{-1}) e fósforo inorgânico (µg.L^{-1}) no período de chuvas no rio Sorocamirim..... 92

Figura 5.33 - Resultados das simulações dos cenários propostos para as concentrações de oxigênio dissolvido (mg.L^{-1}) no período de estiagem do rio Sorocamirim.....96
Figura 5.34 - Resultados das simulações dos cenários propostos para as concentrações de sólidos suspensos inorgânicos (mg.L^{-1}) no período de estiagem do rio Sorocamirim 97
Figura 5.35 - Resultados das simulações dos cenários propostos para as concentrações de nitrato (µg.L^{-1}) no período de estiagem do rio Sorocamirim.....99
Figura 5.36 - Resultados das simulações dos cenários propostos para as concentrações de fósforo total (µg.L^{-1}) no período de estiagem do rio Sorocamirim.....100
Figura 5.37 - Resultados das simulações dos cenários propostos para as concentrações de fósforo orgânico (µg.L^{-1}) no período de estiagem do rio Sorocamirim.....100
Figura 5.38 - Resultados das simulações dos cenários propostos para as concentrações de fósforo inorgânico (µg.L^{-1}) no período de estiagem do rio Sorocamirim 101
Figura 5.39 - Resultados das simulações dos cenários propostos para as concentrações de oxigênio dissolvido (mg.L^{-1}) no período de chuvas do rio Sorocamirim.....102
Figura 5.40 - Resultados das simulações dos cenários propostos para as concentrações de sólidos suspensos inorgânicos (mg.L^{-1}) no período de chuvas do rio Sorocamirim 103
Figura 5.41 - Resultados das simulações dos cenários propostos para as concentrações de nitrato (µg.L^{-1}) no período de chuvas do rio Sorocamirim.....104
Figura 5.42 - Resultados das simulações dos cenários propostos para as concentrações de fósforo total (µg.L^{-1}) no período de chuvas do rio Sorocamirim.....105
Figura 5.43 - Resultados das simulações dos cenários propostos para as concentrações de fósforo orgânico (µg.L^{-1}) no período de chuvas do rio Sorocamirim.....105
Figura 5.44 - Resultados das simulações dos cenários propostos para as concentrações de fósforo inorgânico (µg.L^{-1}) no período de chuvas do rio Sorocamirim.....106

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1 - Principais diferenças entre QUAL2K e o QUAL2E (CHAPRA *et al*. 2006 apud GONÇALVES,2009)....2
Tabela 3.1 - Principais características dos marcos legais da gestão dos recursos hídricos....7
Tabela 3.2 – Principais características das zonas de autodepuração (Adaptado de VON SPERLING, 2005)....15
Tabela 3.3 - Principais modelos de qualidade da água em rios (BITTENCOURT *et al.*, 1997; COX, 2003; OLOB, 1992; RAUCH *et al*., 1998; TSAKIRIS e ALEXAKIS, 2012)....19
Tabela 3.4 - Variáveis simuladas pelo modelo QUAL2K (Adaptado de BOTTINO, 2008)....21
Tabela 4.1 - Índice de qualidade de água para fins de abastecimento público – IAP (Fonte: CESTESB - Relatórios de qualidade das águas superficiais do Estado de São Paulo de 2002 a 2012)....30
Tabela 4.2 - Índice de qualidade de água bruta para proteção da vida aquática – IVA (Fonte: CESTESB - Relatórios de qualidade das águas superficiais do Estado de São Paulo de 2002 a 2012)....30
Tabela 4.3 - Índice de estado trófico – IET (Fonte: CESTESB - Relatórios de qualidade das águas superficiais do Estado de São Paulo de 2002 a 2012)....31
Tabela 4.4 – Pontos de amostragem selecionados....34
Tabela 4.5 – Variáveis físicas e químicas da água....40
Tabela 4.6 - Classificação do estado trófico da água de rios (CETESB, 2013)....42
Tabela 5.1 - Informações dos postos de monitoramento pluviométrico do DAEE....47
Tabela 5.2 - Precipitação total mensal nos anos de 2011 e 2012 na bacia do rio Sorocamirim....47
Tabela 5.3 - Dados de precipitação e temperatura do ar nas datas referentes às coletas e nos seus cinco dias antecedentes....48
Tabela 5.4 - Valores de desnível e declividade medidos nos pontos de coleta....50
Tabela 5.5 - Valores dos componentes principais e fatores de explicação das variáveis físicas e químicas da água do rio Sorocamirm durante o período de estudo....75
Tabela 5.6 - Total da variância explicada pelos três principais componentes da PCA e valores dos coeficientes CCC da análise de agrupamento (Cluster)....78
Tabela 5.7 - Classificação do estado trófico da água de rios (CETESB, 2013)....86
Tabela5.8 - Classificação dos pontos de amostragem quanto ao nível de trofia....87

Tabela 5.9 - Carga de carbono orgânico total (TOC) no rio Sorocamirim, no rio Sorocaba e na represa de Itupararanga no período da coleta de inverno (29/07/2011)..... 88
Tabela 5.10 - Resultados das simulações para todas as variáveis analisadas no período de estiagem no rio Sorocamirim 91
Tabela 5.11 - Resultados das simulações para todas as variáveis analisadas no período de chuvas no rio Sorocamirim 93
Tabela 5.12 - Dados sobre o cenário atual de uso e ocupação do solo e tratamento de efluentes domésticos na sub-bacia do rio Sorocamirim (IBGE, 2012 e CETESB, 2012)..... 94
Tabela 5.13 - Classificação dos pontos de amostragem quanto ao nível de trofia para os diferentes cenários simulados - Período de estiagem.....**Erro! Indicador não definido.**
Tabela 5.14 - Classificação dos pontos de amostragem quanto ao nível de trofia para os diferentes cenários simulados – Período de chuvas.....**Erro! Indicador não definido.**

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos tem-se agravado continuamente os problemas relacionados à poluição dos mananciais, principalmente em decorrência de lançamentos de esgotos sem qualquer tipo de tratamento e do desenvolvimento agrícola e industrial, fazendo com que o estudo da dinâmica das águas superficiais e o gerenciamento de bacias hidrográficas sejam cada vez mais necessários e fundamentais para garantir os usos múltiplos das águas.

A definição de bacias hidrográficas como unidade de estudo e gestão foi adotada pela Política Nacional de Recursos Hídricos, instituída pela Lei nº 9433/97 (BRASIL, 1981). Porém, como cada bacia hidrográfica é formada por um conjunto de microbacias sobrepostas, a eficácia do manejo de qualidade da água será maior à medida que se enfocar as bacias de escalas menores para maiores (CALIJURI & BUBEL, 2006).

O comportamento hidrológico de uma bacia hidrográfica é função de suas características geomorfológicas (forma, relevo, área, geologia, rede de drenagem, solo, etc.) e do tipo da cobertura vegetal existente, sendo também afetado por ações antrópicas.

Os cursos de água possuem uma capacidade natural de depurar a matéria orgânica, uma vez que os rios são ecossistemas predominantemente heterotróficos e possuem um gradiente longitudinal. Entretanto, quando ocorre lançamento indiscriminado de efluentes no meio aquático, a capacidade deste de suportar ou mesmo estimular alterações nos processos químicos, físicos e biológicos para manutenção da qualidade das águas é ultrapassada.

Para se entender a dinâmica da poluição no ambiente aquático, é de fundamental importância o conhecimento desta capacidade do corpo receptor, assim como dos processos de sedimentação e da retirada do poluente do sistema (KNAPIK, FERNANDES & BASSANESI, 2011), bem como das condições hidrológicas, uma vez que estas influenciam nos processos supracitados. A utilização de ferramentas técnicas que possibilitem tal entendimento vem sendo consolidada para a implementação de instrumentos de gestão de recursos hídricos.

Como ferramentas técnicas, modelos de qualidade da água vêm sendo utilizados extensivamente, que têm como objetivo descrever as mudanças espaciais e temporais observadas nos parâmetros analisados.

Existem vários modelos para o estudo da autodepuração, entretanto, a diferença essencial entre eles é a modificação da abordagem do método de resolução das equações diferenciais previstas para o estudo deste processo (BENASSI, 2002). Além disso, os modelos

mais recentes possibilitam a simulação de mais variáveis, com detalhamento dos processos físicos, químicos e biológicos que interagem no corpo hídrico (KNAPIK, FERNANDES & BASSANESI, 2011).

Observa-se na literatura que entre os modelos de qualidade da água em rios, razoavelmente bem documentados e apoiados por grupos de usuários ativos, o mais utilizado é o modelo QUAL2E (BROWN & BARNWELL, 1997), com frequente aplicação em trabalhos científicos que envolvem a determinação da capacidade autodepuradora de cursos de água superficiais. A versão mais recente deste modelo é denominada QUAL2K (CHAPRA, PELLETIER & TAO, 2008), sendo as principais diferenças entre as duas versões apresentadas na Tabela 1.1.

Tabela 1.1 - Principais diferenças entre QUAL2K e o QUAL2E (CHAPRA & PELLETIER[1], 2006 apud GONÇALVES, 2009)

QUAL2K	**QUAL 2E**
Permite a segmentação do curso d'água em volumes de controle (VC) com comprimentos variáveis, além de permitir em cada VC inserir múltiplas cargas.	Requer que o sistema hídrico seja segmentado em volumes de controle com comprimentos constantes.
Usa duas formas de representar carbono orgânico. Estas formas representam a oxidação lenta, DBO lenta, e a oxidação rápida, DBO rápida, da matéria orgânica.	Usa apenas uma forma para representar o carbono orgânico.
Converte algas mortas em DBO, visto que estas são uma fonte autóctone de matéria orgânica.	As algas mortas não são convertidas em DBO.
Simula a retirada e o acréscimo de OD na água causado pela respiração e fotossíntese das algas de fundo, respectivamente.	Não simula algas de fundo.
O processo de desnitrificação é modelado, em uma reação de primeira ordem, tornando-se efetivo em baixas concentrações de OD.	O processo de desnitrificação não é considerado no modelo.

SALLES et. al. (2008) investigaram e constataram que a sub-bacia do Alto Sorocaba está sendo fortemente afetada principalmente por dois fatores: retirada de cobertura vegetal nativa e lançamento de efluentes domésticos e industriais sem tratamento prévio. Os autores supracitados verificaram que esta sub-bacia é carente quanto a informações referentes aos recursos hídricos e/ou identificação dos impactos ambientais e necessita de um gerenciamento ambiental que contemple medidas mitigadoras relacionadas ao cumprimento das legislações ambientais, recuperação das áreas degradadas e planejamento da exploração dos recursos naturais, entre outras ações que consigam reduzir os impactos observados.

[1] CHAPRA, S. C.; PELLETIER, G. J. QUAL 2K: A Modeling Framework for Simulating River and Stream Water Quality, Version 2.11: Documentation and Users Manual. Civil and Environmental Engineering Dept., Tufts University, Medford, MA, 2008, 109 p.

Neste contexto, esta pesquisa visou não apenas suprir a falta de informações com relação aos recursos hídricos através do estudo da dinâmica do rio Sorocamirim nas diferentes fases do ciclo hidrológico, mas também fornecer, através da simulação de cenários com o modelo QUAL2K, uma ferramenta para o gerenciamento deste recurso hídrico e, consequentemente, fornecer subsídio para o gerenciamento da sub-bacia do Alto Sorocaba.

Ressalta-se que o modelo QUAL2K foi adotado para o estudo da autodepuração do rio Sorocamirim e para simulação de cenários devido aos novos recursos apresentados (conforme Tabela 1.1) com maior precisão dos resultados em outras pesquisas (PARK & LEE, 2002 e MOCCELLIN, 2010). Além disso, na sub-bacia do Alto Sorocaba está localizado o reservatório de Itupararanga, responsável por 74 % do abastecimento de água do município de Sorocaba-SP, 92 % de Votorantim, 100 % de Ibiúna e 32% de São Roque, ou seja, pelo abastecimento de mais de 630.000 habitantes (IBGE, 2012); fora a geração de energia elétrica para a Votorantim Metais, irrigação de cultivos agrícolas (morango, hortaliças e chá), pesca e lazer.

Esta pesquisa foi realizada juntamente com outras pesquisas no Projeto Temático “Contribuição ao conhecimento do ciclo do carbono no reservatório de Itupararanga como subsídio para a sustentabilidade da bacia hidrográfica do rio Sorocaba-SP” (Processo nº 08/55636-9).

2 OBJETIVOS

O presente estudo teve como objetivo principal avaliar as características limnológicas do rio Sorocamirim visando fornecer subsídios para a gestão de recursos hídricos. Para tanto, esta pesquisa foi fundamentada da seguinte forma:

- Na caracterização das variáveis limnológicas (água e sedimento) do rio Sorocamirim – SP, em quatro períodos hidrológicos;
- Na calibração e validação de um modelo hidrológico (QUAL2K) e simulação de cenários, como ferramenta para subsidiar a tomada de decisões quanto à gestão deste recurso hídrico, visando garantir os usos múltiplos da água.

Além disso, o presente estudo teve como objetivo secundário verificar a contribuição deste manancial para o índice de estado trófico (IET) do reservatório de Itupararanga.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Gestão de recursos hídricos no Brasil

O Código de Águas (Decreto nº 24643 - BRASIL, 1934), a criação da Política Nacional do Meio Ambiente (Lei Federal nº 6.938 - BRASIL, 1981), a Constituição Federal (BRASIL, 1988) e a criação da Política Nacional dos Recursos Hídricos (Lei Federal nº 9.433 - BRASIL, 1997), representam marcos legais importantes na gestão dos recursos hídricos, sendo responsáveis por significativas mudanças na mentalidade e forma de gestão. Na Tabela 3.1 são apresentadas as principais características destas legislações com relação à gestão dos recursos hídricos.

Tabela 3.1 - Principais características dos marcos legais da gestão dos recursos hídricos

Legislação	**Principais características**
Código das Águas	Define como proprietários dos recursos hídricos a União, os Estados e os municípios. Classifica as águas em públicas, comuns e privadas. Regulamenta o aproveitamento do potencial hidráulico das águas por meio de concessões, autorizações, fiscalizações e penalidade.
Política Nacional do Meio Ambiente	Define o meio ambiente como um bem de uso comum que deve ser preservado para as futuras gerações. Estabelece a água como um recurso natural passível de proteção contra a poluição.
Constituição Federal	Estabelece como competência comum da União, dos Estados e dos municípios registrar, acompanhar e fiscalizar as concessões e direitos de pesquisa e exploração dos recursos hídricos. Começa a romper a forte centralização do poder de decisão sobre gestão dos recursos hídricos.
Política Nacional dos Recursos Hídricos	Estabelece que a gestão dos recursos hídricos deve ser descentralizada e contar com a participação do poder público, dos usuários e das comunidades. Define a água como bem de domínio público, sendo um recurso natural limitado e dotado de valor econômico. Estabelece a bacia hidrográfica como unidade territorial para a sua implantação.

Para viabilizar a implantação da Política Nacional dos Recursos Hídricos foram previstos os seguintes instrumentos: os Planos de Recursos Hídricos, o enquadramento dos corpos de água em classes, segundo os usos preponderantes, a outorga dos direitos de usos

dos recursos hídricos, a cobrança pelo uso de recursos hídricos e os Sistemas de Informações sobre os Recursos Hídricos.

Os Sistemas de Informações sobre os Recursos Hídricos são indispensáveis à gestão dos mesmos em qualquer nível, uma vez que apenas com a coleta e análise dos dados ambientais e socioeconômicos pode-se proceder o planejamento de seus usos.

As informações sobre a qualidade das águas são necessárias para que se conheça a situação dos corpos hídricos com relação aos impactos antrópicos na bacia hidrográfica e são essenciais para que se planeje a ocupação desta e seja exercido o controle dos impactos sobre a mesma.

Segundo Rebouças, Braga & Tundisi (2006) a oferta de água pode ser adequadamente estimada se existirem redes de monitoramento que gerem dados sobre variáveis que indiquem a quantidade disponível e a respectiva qualidade das águas. Porém, estes autores ressaltam que as redes de qualidade de água e sedimentométricas são dispersas, sendo possivelmente as redes onde mais faltam informações para a adequada gestão dos recursos hídricos no Brasil.

Visando à adequada gestão dos recursos hídricos, além da obtenção de informações confiáveis a respeito da quantidade e da qualidade dos recursos hídricos, devido às inúmeras variáveis envolvidas na aplicação dos instrumentos da Política Nacional dos Recursos Hídricos (BRASIL, 1997), é interessante e pertinente o uso de ferramentas que possam subsidiar a adequada aplicação dos instrumentos.

Uma destas ferramentas é a modelagem matemática, que tem apresentado excelentes resultados na elaboração de prognósticos da qualidade da água em corpos hídricos, em função de distintos cenários de intervenções em uma bacia hidrográfica (GONÇALVES, 2009).

3.2 Bacia hidrográfica como unidade de estudo e dinâmica fluvial

Para implantação de um sistema de gerenciamento de recursos hídricos é necessária a delimitação de uma unidade geográfica para estudo. A definição de bacias hidrográficas como unidade de estudo e gestão foi adotada pela Política Nacional de Recursos Hídricos, instituída pela Lei nº 9433 (BRASIL, 1997).

Apesar de não existir um consenso na comunidade cientifica quanto às definições dos termos bacia, sub-bacia e microbacia hidrográfica, estes parecem obedecer a uma certa escala espacial, na qual os maiores recortes espaciais são atribuídos às bacias hidrográficas e os menores recortes às microbacias. Na Figura 3.1 são apresentadas as subdivisões propostas por Muñoz (2000, apud MOCCELIN, 2010), baseadas em tamanho do recorte territorial.

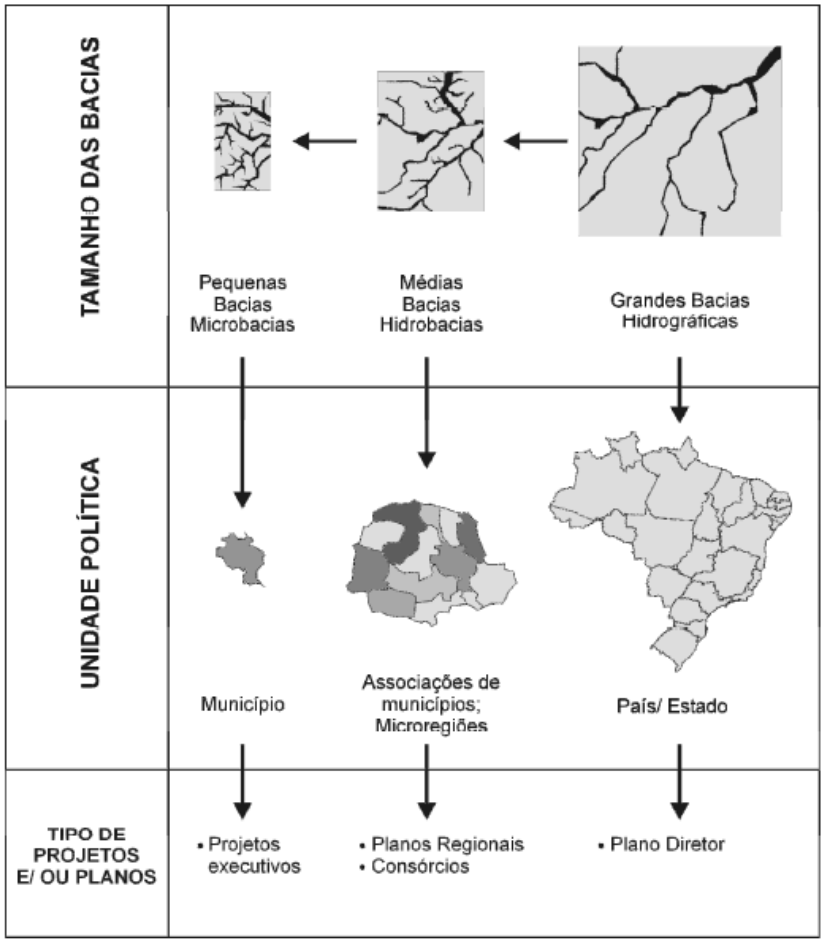

Figura 3.1 - Tamanho das bacias hidrográficas e unidades políticas envolvidas e tipos de projetos e/ou planos correspondentes (Fonte: MUÑOZ[2], 2000 apud MOCCELIN, 2010)

Lima & Zakia (2006) definem bacia hidrográfica como sendo uma unidade natural da paisagem, que representa um sistema geomorfológico aberto, no qual ocorre troca contínua de energia e nutrientes com o meio. Desta forma, a qualidade da água do recurso hídrico de uma determinada bacia é resultado das diversas características desta unidade e das interações que nela ocorrem, inclusive as interações antrópicas e o impacto decorrente destas.

Ressalta-se que os processos de erosão, lixiviação e modificação da cobertura vegetal são processos naturais que ocorrem independentemente de ações antrópicas na bacia hidrográfica. Porém, quando uma bacia sofre alterações antrópicas, principalmente relativas ao mau uso do solo, estes processos são acentuados (SILVA, FERNANDES & OLIVEIRA, 2007).

Na Figura 3.2 são apresentados os principais processos de contaminação e poluição das águas e suas consequências, ilustrando a estreita relação entre a qualidade do recurso hídrico, o uso deste recurso e o tipo de uso e ocupação da bacia hidrográfica na qual está inserido.

[2] MUÑOZ, H. R. (org) Interfaces da gestão de recursos hídricos: Desafios da Lei de Águas de 1997. 2ª Edição. Brasília: Secretaria de Recursos Hídricos, 2000.

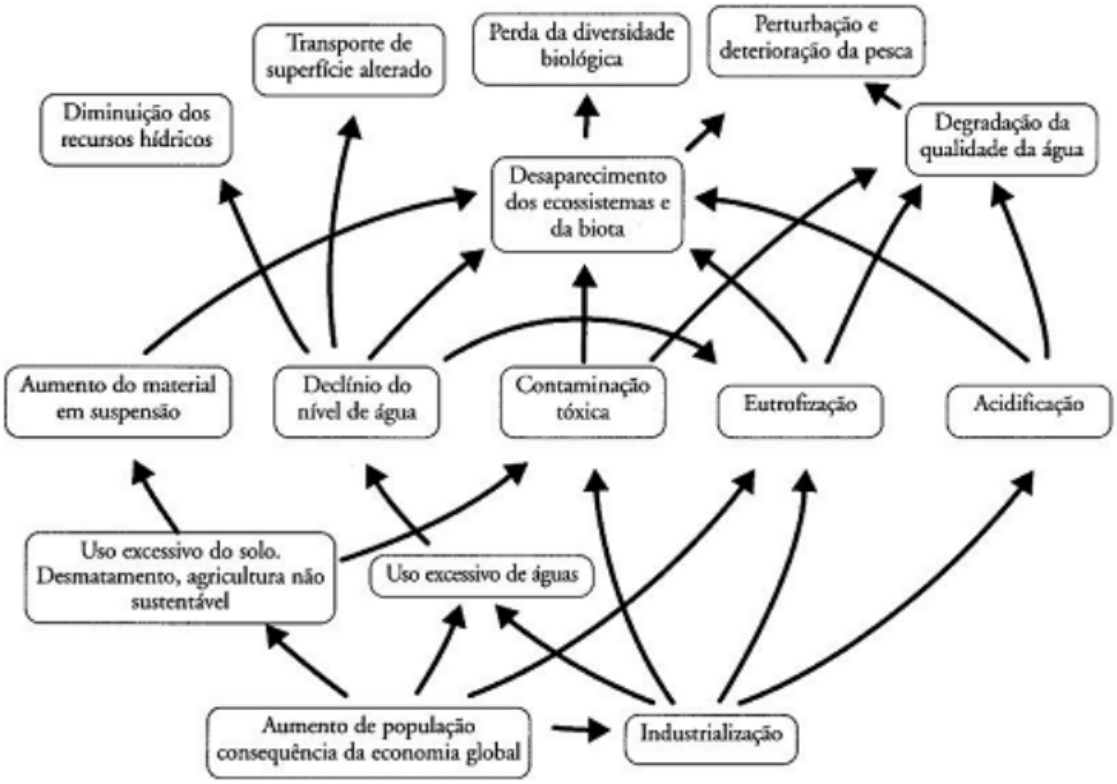

Figura 3.2 - Principais processos de contaminação e poluição das águas e suas consequências (Fonte: ILEC[3], 1996 apud REBOUÇAS, BRAGA & TUNDISI, 2006)

Para Calijuri & Bubel (2006), cada bacia hidrográfica é formada por um conjunto de microbacias sobrepostas e a eficácia do manejo de qualidade da água será maior à medida que se enfocar as bacias de escalas menores para as maiores.

Desta forma, a microbacia hidrográfica pode ser vista como o recorte territorial ideal, uma vez que representa a menor manifestação física que permite compreender de forma sistêmica a relação entre as ações antrópicas e o ecossistema, permitindo a elaboração de ações que possam mitigar os impactos ambientais e garantir a utilização sustentável dos recursos naturais.

Além disso, o uso de microbacias no gerenciamento dos recursos hídricos oferece condições geográficas e sociais favoráveis à organização comunitária (RYFF[4], 1995 apud SABANÉS, 2002). Com a participação do município e da comunidade verifica-se um planejamento mais integrado nos aspectos econômicos, sociais e ambientais, com resultados mais rápidos e evidentes (ASSAD & SANO, 1993).

[3] *International Lake Environment Comittee* - ILEC. Resultado de estudo realizado em 600 lagos de vários continentes.

[4] RYFF, T. Microbacias hidrográficas: Um novo conceito de desenvolvimento rural. In: Agroanálise. 1995, V. 15, n. 5, mai. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas.

Sob o ponto de vista da hidrologia, o conceito de microbacia corresponde ao recorte espacial com maior sensibilidade tanto a chuvas de alta intensidade como ao fator uso do solo, sendo recortes territoriais pequenos nos quais estas características não são suprimidas pelas da rede de drenagem (LIMA & ZAKIA, 2006).

Para conservação e gestão adequada dos corpos de água, além da adequada delimitação da área de estudo, é fundamental o entendimento da dinâmica fluvial. A análise da variação longitudinal de determinadas variáveis físicas, químicas e biológicas, a organização biológica dos ecossistemas lóticos frente às fontes alóctones (matéria orgânica proveniente da bacia hidrográfica) e autóctones (fotossíntese) e a natureza dos processos (contínua ou descontínua) propiciaram a elaboração de algumas teorias gerais.

Um rio é um sistema que apresenta ao longo de sua extensão uma série de gradientes físicos, formando um contínuo. Segundo a teoria proposta por Vannote (1980) do *Contínuo Fluvial* ou *River Continuum Concept* (RCC), a comunidade biológica estaria associada a estes gradientes físicos, uma vez que em função dos mesmos ocorre uma série de respostas das populações do ecossistema, com sucessões de espécies animais e vegetais, que resultam em diversos padrões de carga, transporte, utilização e armazenamento de matéria orgânica ao longo do comprimento de um rio.

Na Figura 3.3 é apresentado o diagrama do RCC, mostrando a vegetação ripária e as regiões geomorfológicas, considerando a ordem dos canais. Na figura em questão, as barras à esquerda indicam a importância das fontes de energia; as barras à direita, a abundância relativa de invertebrados bentônicos com diferentes hábitos alimentares; MOPG, a matéria orgânica particulada grosseira e MOPF, a matéria orgânica particulada fina.

A teoria supracitada divide o rio em três zonas geomorfológicas:

- nascente: as zonas de nascente ou cabeceira são fortemente influenciadas pelo sombreamento da mata ciliar e pela produção alóctone. Possuem baixa variação sazonal, baixa diversidade biológica e substrato formado essencialmente por cascalhos e pedras;
- médio curso: as zonas de médio curso ou intermediárias possuem características hidráulicas estáveis e taxa de sedimentação semelhante à taxa de remoção dos nutrientes e matéria orgânica do subtrato. Apresenta ampla variação sazonal da temperatura, alta diversidade biológica, diminuição da velocidade de escoamento e aumento da produção autóctone; e

- baixo curso: as zonas de baixo curso tendem a ser turvas, com grande carga de sedimento de todos os processos à montante. Apresenta maior profundidade, fluxo reduzido, menor heterogeneidade espacial e pequena variação térmica.

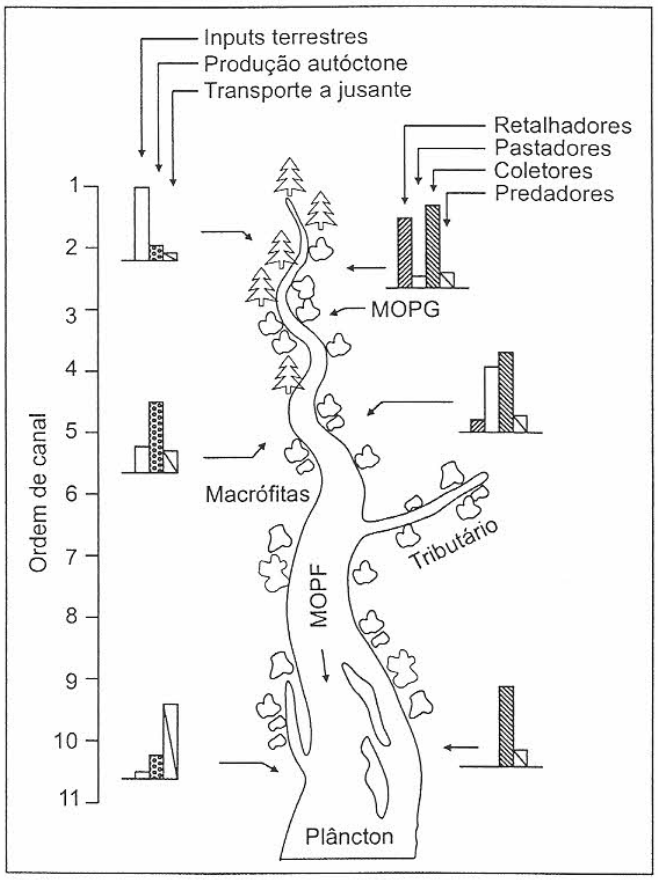

Figura 3.3 – Diagrama do conceito do Continuo Fluvial (CALIJURI & BUBEL, 2006)

Porém esta teoria é limitada, uma vez que foi desenvolvida para ambientes isentos de atuação antrópica. Além disso, não considera as diferentes estruturações de um rio (cachoeiras, áreas alagadas, etc.) e a variação da magnitude dos efeitos causados pela entrada de diferentes tributários.

Neste contexto, Ward & Stanford (1983) propuseram a teoria da *Descontinuidade Serial* para bacias hidrográficas com alguma interferência antrópica. Esta teoria propõe que a construção de barragens e, consequentemente, os represamentos acarreta alterações longitudinais dos processos bióticos e abióticos, sendo que a orientação destas alterações depende da posição ou do ponto de entrada da atividade impactante.

O conceito da *Descontinuidade Serial* pode ser utilizado para medir as variações a partir de outros tipos de intervenções antrópicas como poluição, entrada de tributários ou efluentes, autodepuração, entre outros (SABATER, ARMENGOL & SABATER, 1989).

Considerando a ciclagem de nutrientes, Elwood e *et al.* (1983) desenvolveram o conceito da Espiral de Nutrientes. De acordo com os autores, o transporte horizontal dos sistemas lóticos impossibilita a ocorrência de ciclos em um determinado local, assim a ciclagem de nutrientes adquire a forma de uma espiral. Este conceito pode servir para verificar a eficiência e estabilidade de um sistema.

Outra teoria proposta para o estudo de sistemas lóticos é a teoria de *Pulso de Inundação*. Esta teoria, postulada por Junk, Bayley& Sparks (1989), estabelece que para rios que possuem grandes áreas alagáveis, as interações do rio não são decorrentes do transporte de cargas que ocorre da montante para jusante e sim, direta ou indiretamente, dos processos que ocorrem nas planícies de inundação. Desta forma, os autores entendem a estruturação biótica de rios como dependente das trocas laterais entre o canal fluvial e a planície de inundação.

Seguindo este princípio de que os rios possuem dinâmicas geomorfológicas distintas, que englobam planícies de inundação, em 1995 Ward & Stanford ampliaram o conceito de *Descontinuidade Serial* para abranger também as interações entre o rio e estas áreas.

Diante da importância das características geomorfológicas da bacia hidrográfica no processo de descontinuidade dos sistemas aquáticos, Montgomery (1999) propôs o conceito do *Domínio de Processo*. Neste conceito, as características dos habitats são mais semelhantes dentro de uma mesma unidade litotrófica que em uma bacia que apresente diferentes unidades.

Rice, Greenwood & Joyce (2001) propuseram ainda o conceito da *Descontinuidade de Ligação*, que sugere que os tributários são fundamentais para a caracterização das mudanças de gradientes físicos em um corpo de água e assumem um papel de destaque no transporte de nutrientes. Os autores assumem que dependendo do tamanho da bacia hidrográfica e do tributário que adentra o rio principal, a confluência passa a ter características de cabeceira, além disso represas e demais interferências antrópicas se comportam como tributários.

3.2.1 Autodepuração nos corpos de água

Um dos principais problemas de poluição hídrica é o consumo de oxigênio dissolvido nos corpos de água, decorrente de processos de estabilização da matéria orgânica advinda de efluentes. No Brasil, a maior parte dos efluentes lançados nos corpos de águas é proveniente dos municípios e indústrias, não possuem qualquer tipo de tratamento prévio e apresentam considerável parcela de compostos orgânicos.

Segundo Batalha & Rocha (1986), quando um corpo de água recebe uma carga poluidora, tal como a decorrente do lançamento de efluentes domésticos ou industrial, este passa por um processo natural de purificação/estabilização, por meio de processos físicos (diluição, sedimentação e turbulência), químicos (oxidação dos redutores) e biológicos (ação de bactérias e algas). O autor denomina este processo de purificação e recuperação do corpo de água, autodepuração.

Segundo Von Sperling (2005), os estágios da sucessão ecológica podem ser identificáveis no corpo de água, uma vez que a autodepuração é um processo que se desenvolve ao longo do tempo e a dimensão do corpo de água é predominantemente longitudinal. Em função destes estágios, Batalha & Rocha (1986) apresentam três zonas principais de autodepuração: zona de degradação, zona de decomposição ativa e zona de recuperação; e Von Sperling (2005) acrescenta uma quarta zona de autodepuração: a zona de águas limpas.

Na Tabela 3.2 são apresentadas as principais características das quatro zonas de autodepuração.

O conhecimento do processo de autodepuração é fundamental para que se utilize a capacidade de assimilação de um rio. Porém, é importante ressaltar que este é um conceito relativo, estando intimamente relacionado com os usos preponderantes a que se destina cada trecho de um recurso hídrico. Desta forma, uma água pode ser considerada depurada e adequada para uso mesmo que não apresente a mesma qualidade que possuía antes da perturbação (LIMA, 1997; BENASSI, 2002; VON SPERLING, 2005).

Tabela 3.2 – Principais características das zonas de autodepuração (Adaptado de VON SPERLING, 2005)

Zona de autodepuração	Principais características
Zona de degradação	Esta zona tem inicio logo após o lançamento de um efluente no corpo de água. Com relação ao aspecto estético, a água torna-se turva, devido à presença de sólidos, que na ocasião da sedimentação são responsáveis pela formação de bancos de lodo. O processo de decomposição da matéria orgânica pode ter um início lento, dependendo da adaptação dos seres decompositores aos despejos. Apresentam-se ainda altos teores de compostos nitrogenados complexos, embora já ocorra a conversão de grande parte em amônia. Há uma diminuição sensível do número de espécies de seres vivos, ainda que o número de indivíduos seja elevado. Além disso, há o desaparecimento das espécies menos adaptadas.
Zona de decomposição ativa	Nesta zona o ecossistema aquático começa a se organizar, com os microorganismos desempenhando ativamente suas funções de decomposição da matéria orgânica. A qualidade de água apresenta seu estado mais deteriorado, com drástica diminuição da concentração de oxigênio dissolvido, redução dos organismos aeróbios, elevação do número de protozoários e macrofauna restrita em espécies. O nitrogênio apresenta-se ainda na forma orgânica, embora grande parte já se encontre na forma de amônia.
Zona de recuperação	Nesta zona inicia-se a etapa de recuperação. Com aspecto estético grandemente melhor, a água está mais clara e favorece a penetração da luz e, consequentemente, o processo de fotossíntese, intensificando a entrada de oxigênio no ecossistema. A matéria orgânica encontra-se grandemente estabilizada, o que implica em baixo consumo de oxigênio nesta etapa. A amônia é convertida a nitrito e este a nitrato. A cadeia alimentar esta mais diversificada, gerando alimentação dos primeiros peixes mais resistentes. Além disso o número de bactérias e protozoários encontra-se bem reduzido.
Zona de águas limpas	Nesta zona o ecossistema aquático encontra-se mais estável, com aparência similar à anterior à ocorrência da poluição. A concentração de oxigênio é próxima à de saturação, devido ao baixo consumo pela população microbiana e à possivelmente elevada produção pelas algas. Predominam as formas mais oxidadas e estáveis dos compostos de nitrogênio e fósforo. A comunidade aquática atinge novamente o clímax.

3.3 Modelagem da qualidade da água em rios

3.3.1 Importância da modelagem no gerenciamento dos recursos hídricos

Para a gestão dos recursos hídricos é fundamental a obtenção de dados. Diante do alto custo do monitoramento ambiental e da consequente escassez de dados, a utilização de modelos calibrados permite interpolar e extrapolar, espacial e temporalmente para toda a extensão do corpo hídrico estudado, as informações obtidas no monitoramento de poucos pontos. Isto proporciona melhor interpretação das medições isoladas, fornecendo uma noção do processo de autodepuração ao longo do rio e do trajeto das plumas de contaminantes.

Face à complexidade dos corpos de água naturais, especialmente de lagos, reservatórios, estuários e zona costeira adjacente das bacias hidrográficas, além do alto custo do monitoramento ambiental para a obtenção de dados, a necessidade da aplicação de modelos para estudos, projetos e auxílio à gestão de recursos hídricos é inquestionável (ROSMAN[5], 2001 apud AMARAL, 2003).

Segundo Lima (1997), alguns exemplos da ampla aplicação da modelagem para o gerenciamento de recursos hídricos são:

- alocação de empreendimentos potencialmente geradores de poluição hídrica;
- definição de respectivos níveis de controle para fontes existentes a instalarem-se em uma bacia hidrográfica para atendimento aos padrões de qualidade;
- delimitação de trechos críticos de poluição; e
- previsão das alterações da qualidade da água ao longo do tempo e do espaço decorrentes de descargas acidentais.

Desta forma, dentro de uma faixa de incertezas inerente ao conhecimento técnico e científico, os modelos de qualidade da água são uma importante ferramenta na gestão dos recursos hídricos, contribuindo para a avaliação de impactos ambientais, bem como para a identificação e definição das estratégias para a operacionalização e gerenciamento de programas de monitoramento ambiental.

No Brasil, a utilização da modelagem na gestão dos recursos hídricos ainda é muito tímida (GONÇALVES, 2009). Este desuso está associado à falta de maior interação entre os órgãos envolvidos e à segmentação do gerenciamento dos aspectos quantitativos e qualitativos (LIMA, 1997), uma vez que para o efetivo gerenciamento dos recursos hídricos, TUNDISI (2005) destaca a necessidade da avaliação simultânea tanto da qualidade quanto da quantidade da água.

[5] ROSMAN, P. C. C. Os modelos para recursos hídricos. In: MAGRINI, A.; DOS SANTOS, M. A. Gestão Ambiental em recursos hídricos. Instituto Virtual de Mudanças Globais, COPPE/URFJ. 2001, V. 3, cap. 2. (parte 3).

3.3.2 Evolução dos modelos de qualidade da água em rios

A modelagem matemática da qualidade da água em rios surgiu da necessidade de se prever e avaliar os efeitos de ações antrópicas, visando controlar a poluição das principais fontes de abastecimento e proteger a saúde pública (ORLOB, 1983; ORLOB, 1992).

O modelo pioneiro de Streeter-Pelphs, desenvolvido em 1925, marca o início do uso de modelos matemáticos nos estudos da poluição dos corpos hídricos. Este modelo foi desenvolvido a partir dos estudos dos impactos das fontes de poluição no rio Ohio e descreve o aumento, seguido de decréscimo, do déficit de oxigênio a jusante de uma fonte de matéria orgânica (CHAPRA, 1997; ORLOB, 1983; ORLOB, 1992; RAUCH *et al*., 1998).

Entre 1925 e 1960 não foi observado avanço significativo nesta área, em função das limitações do uso de soluções analíticas, que limitava a aplicação do modelo de Streeter-Phelps à cinética linear, geometria simples e escoamento em regime permanente e uniforme (CHAPRA, 1997), além de impossibilitar o trato de problemas considerados essenciais para o gerenciamento de recursos hídricos (ORLOB, 1983; ORLOB, 1992).

Devido à maior disponibilidade das técnicas computacionais, na década de 1960 ocorreu avanço no desenvolvimento e aplicação dos modelos, que passaram a simular geometrias mais complexas, reações cinéticas e a variação temporal (CHAPRA, 1997).

Além do desenvolvimento das técnicas numéricas e computacionais, a evolução dos modelos ocorreu em função do surgimento de novos problemas ambientais e da incorporação de novos processos físicos, químicos e biológicos nos modelos. Segundo CHAPRA (1997), os avanços desta área na década de 1970 decorreram do aumento da preocupação com o meio ambiente e do surgimento do movimento ecológico, que fizeram com que os modelos englobassem mecanismos característicos dos processos biológicos.

Segundo THOMANN (1998), entre os anos de 1980 e 1995 ocorreu uma rápida expansão dos modelos, sendo observado o aumento do número de variáveis de qualidade, a incorporação de módulos hidrodinâmicos capazes de simulações multidimensionais, a consideração dos processos de interação do sedimento com a coluna de água e a contribuição de cargas difusas.

A evolução dos modelos matemáticos pode ser dividida em quatro períodos em função dos avanços das ferramentas técnicas e principais inovações (CHAPRA 1997), conforme Figura 3.4.

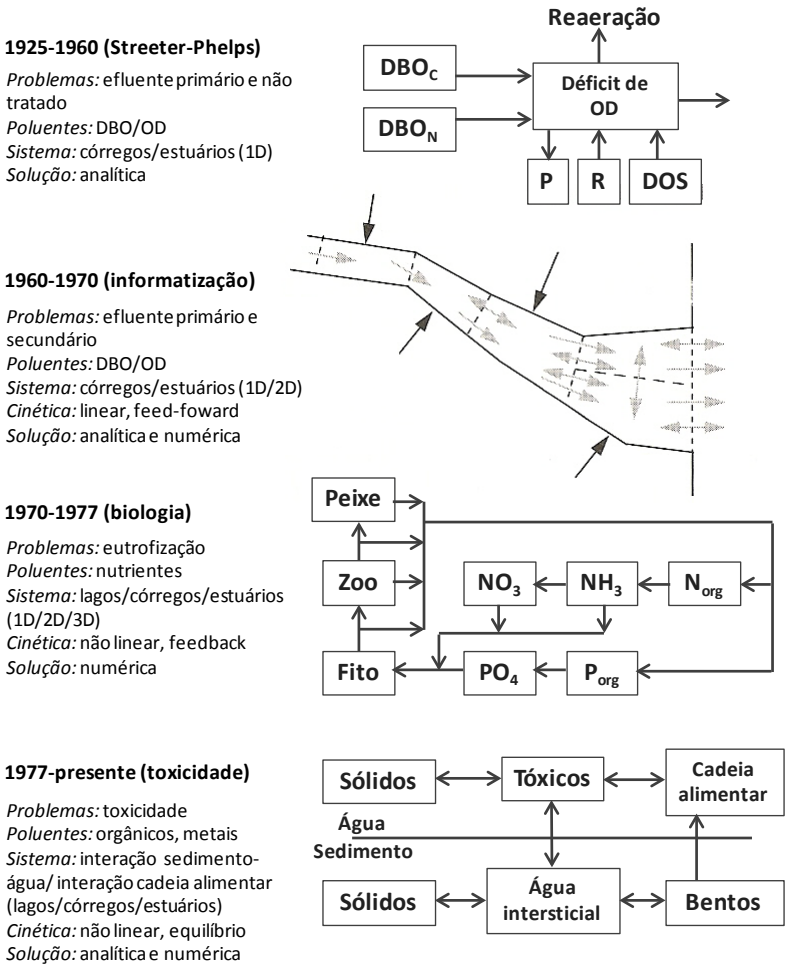

Figura 3.4 - Quatro períodos de desenvolvimento dos modelos de qualidade da água (Adaptada de CHAPRA, 1997)

Na Tabela 3.3 são apresentadas características dos principais modelos de qualidade da água em rios. Para tanto, foram selecionados modelos bem concebidos, razoavelmente bem documentados e apoiados por grupos de usuários ativos (*United States Environmental Protection Agency* - USEPA, *US Army Corps of Engineers*, Centro Pan-Americano de Engenharia Sanitária e Ciências do Ambiente - CEPIS-OPS, *England and Wales Environmental Agency* - EWEA, *Danish Hydraulic Institute* - DHI, *Scottish Environmental Protection Agency* - SEPA).

Tabela 3.3 - Principais modelos de qualidade da água em rios (BITTENCOURT *et al*., 1997; COX, 2003; OLOB, 1992; RAUCH *et al*., 1998; TSAKIRIS e ALEXAKIS, 2012)

Modelo	**Principais características/inovações**	**Desenvolvedor**
Streeter-Phelps (1925)	Descreve o aumento, seguido de decréscimo, do déficit de oxigênio a jusante de uma fonte de material orgânico.	Streeter & Phelps
DECS *Delaware Estuary Comprehensive Study Model* (1963)	Primeiro modelo baseado em expressões numéricas e no uso de computadores. Estende a equação de Streeter-Phelps para um sistema de múltiplos segmentos. Considera a entrada de múltiplas cargas de poluentes ao longo do recurso hídrico e propriedades variáveis espacialmente.	R. V. Thomann & associates
DOSAG (1970)	Resolveu o problema do estado-estacionário do decaimento de oxigênio com coeficientes de taxa variável.	TWDB
QUAL I (1970)	Simula adicionalmente a troca de calor/energia ao longo da interface ar-água, inovação que permite a correção dos coeficientes que dependem da temperatura durante a simulação. Inclui a DBO nitrogenada.	TWDB
QUAL II (1973)	Modificação do modelo QUAL I. Inclui a capacidade de simular sistemas físicos mais complexos e avaliar os impactos das cargas nutrientes nos ecossistemas aquáticos.	USEPA
SIMOX *Dissolved Oxygen Simulation Model* (1973)	Simula rios e canais em regime permanente Considera OD, DBO, bactéria (lei de Chick) e substancia conservativa Inclui as cargas bentônicas	CEPIS-OPS
SIMCAT *Simulation of Catchments (início da década* de 1980)	Modelo estocástico, unidimensional e de regime permanente. Pode representar mais do que uma estrutura ou influencia em qualquer segmento. Escoamento difuso pode ser especificado pelo utilizador como uma taxa de fluxo e de qualidade, ou se adicionado pelo modelo como parâmetro de auto-calibração.	EWEA
WASP *Water Analysis Simulation Program* (1981)	O módulo TOXI permite avaliar a cinética de substâncias tóxicas e o particionamento dos contaminantes entre os sedimentos suspensos e depositados.	USEPA
TOMCAT *Temporal/Overall Model of Catchment* (1984)	Conceituação similar a do SIMCAT, porém permite correlações temporais mais complexas. Permite reproduzir nos dados simulados efeitos sazonais e alguns efeitos diurnos observados.	EWEA (Bowden and Brown)

Continuação da Tabela 3.3 - Principais modelos de qualidade da água em rios (BITTENCOURT *et al*., 1997; COX, 2003; OLOB, 1992; RAUCH *et al*., 1998; TSAKIRIS e ALEXAKIS, 2012)

Modelo	Principais características/inovações	Desenvolvedor
QUAL2E (1987)	Modificação do modelo QUAL II Inclui a degradação da matéria orgânica, crescimento, respiração e sedimentação das algas, a reaeração, compostos orgânicos de nitrogênio e de fósforo e a hidrólise destes compostos, a demanda de oxigênio do sedimento e a liberação de nitrogênio e fósforo do sedimento.	EPA & Tufts University (Brown & Barnwell)
MIKE 11 (1992)	Simula advecção-dispersão, qualidade de água, transporte de sedimentos, eutrofização e chuva-vazão. Divide a matéria orgânica nas frações: dissolvida, suspensa e sedimentável. Isto permite a simulação da sedimentação, degradação e ressuspensão da matéria orgânica no sedimento.	DHI
CE-QUAL-ICM (1995)	Pode ser aplicado em uma, duas ou três dimensões e deve ser ligado a um modelo hidrodinâmico. Inclui processos detalhados para temperatura, salinidade, balanço de OD/carbono, ciclos de nutrientes, interações entre fitoplancton, zooplancton, bactéria e sedimento.	US Army
QUASAR *Quality simulation Along River Systems* (1997)	Modelo que descreve a variação temporal de transporte e transformação de solutos em sistemas fluviais ramificados. Influências como abstrações, afluentes e descargas só podem ser adicionadas ao elemento superior de um segmento. Permite maior segmentação que o QUAL2E.	SEPA
ISIS (1998)	Conceituação similar a do modelo MIKE 11, porém a modelagem da interação sedimento-água demanda que cada seguimento seja dividido.	HR Wallingford
QUAL2K (2000)	Modificação do modelo QUAL2E Simula a retirada e o acréscimo de OD na água causado pela respiração e fotossíntese das algas de fundo, além de converter algas mortas em DBO. Inclui o processo de desnitrificação.	USEPA (Steven C. Chapra)

Dentre os modelos internacionais de qualidade da água atualmente disponíveis, os mais utilizados são:

- QUAL2K (última atualização realizada em 2009);
- SIMCAT (última atualização realizada em 2010);
- TOMCAT;
- MIKE 11 (última atualização realizada em 2011);
- QUASAR.

3.4 O modelo QUAL2K

O modelo QUAL2K é um modelo de simulação de qualidade da água em córregos e rios, desenvolvido originalmente por Steven C. Chapra e distribuído pela USEPA (SARDINHA *et al.*, 2008). O modelo se baseia em equações diferenciais ordinárias para sistemas unidimensionais e de fluxo constante, e permite a simulação de 18 variáveis de qualidade, conforme apresentado na Tabela 3.4.

Tabela 3.4 - Variáveis simuladas pelo modelo QUAL2K (Adaptado de BOTTINO, 2008)

Variáveis	**Símbolo**	**Unidade**
Condutividade	s	Umhos
Sólidos suspensos inorgânicos	m_i	mg D/L
Oxigênio dissolvido	o	mg O_2/L
DBO carbonácea (reação lenta)	c_s	mg O_2/L
DBO carbonácea (reação rápida)	c_f	mg O_2/L
Nitrogênio orgânico	n_o	µg N/L
Nitrogênio amoniacal	n_a	µg N/L
Nitrato	n_n	µg N/L
Fósforo orgânico	p_o	µg P/L
Fósforo inorgânico	p_i	µg P/L
Fitoplancton	a_p	µg P/L
Detritos	m_o	µg A/L
Patógenos	X	Cfu/100 mL
Alcalinidade	Alk	mg $CaCO_3$/L
Carbono inorgânico total	cT	mole/L
Biomassa de algas de fundo	a_b	mg A/m²
Nitrogênio de algas de fundo	IN_b	mg N/m²
Fósforo de algas de fundo	IP_b	mg P/m²

O modelo QUAL2K é considerado um dos mais completos, e a estrutura de funcionamento do mesmo contempla as seguintes premissas (CHAPRA, PELLETIER e TAO, 2008):

- Modelo unidimensional: o canal é bem misturado verticalmente e lateralmente, ou seja, a concentração do material em estudo é homogênea numa mesma seção transversal;
- Fluxo constante: o fluxo constante não uniforme é simulado;
- Modelo segmentado: o Q2K permite a segmentação do corpo hídrico em trechos com elementos de diferentes tamanhos. Em cada elemento podem ser inseridas múltiplas cargas e abstrações;

- Balanço diurno de calor: o balanço e a temperatura do calor são simulados em função da meteorologia em condições diurnas;
- Entradas de dados de calor e massa: simulação das cargas pontuais e não pontuais e dos pontos de saída;
- Cinética das reações da qualidade da água diurna: todas as variáveis da qualidade da água também são simuladas em uma escala de tempo diurna;
- Parâmetros cinéticos específicos de cada trecho: permite especificar vários parâmetros cinéticos de um trecho especifico;
- Distinção da demanda bioquímica de oxigênio (DBO): o modelo usa duas formas de DBO para representar o carbono orgânico, uma de oxidação lenta (DBO lenta) e uma oxidação rápida (DBO rápida);
- Ambientes anóxicos: engloba situações anóxicas reduzindo as reações de oxidação a zero em níveis baixos do oxigênio. O processo de desnitrificação é modelado como uma reação de primeira ordem, o qual se torna efetivo em concentrações de oxigênio baixas;
- Algas de fundo: o modelo simula diretamente o agrupamento de algas de fundo. Estas têm estequiometria variável de N e de P;
- Inibição da luz: é calculada em função das algas, detritos e sólidos inorgânicos;
- Potencial hidrogeniônico (pH): a alcalinidade e carbono inorgânico total são simulados, sendo que o pH do corpo de água é simulado com base nestes dois parâmetros;
- Patógenos: um patógeno genérico é simulado. Sua remoção é determinada em função da temperatura, luz e sedimentação;
- Interação sedimento-coluna de água: a demanda de oxigênio do sedimento (DOS) e o fluxo de nutrientes são simulados em função da sedimentação das partículas de matéria orgânica, reações internas do sedimento e da concentração das formas solúveis na coluna de água;
- Represamentos e cachoeiras: a hidráulica de represamentos, bem como os efeitos de represamentos e cachoeiras na transferência de gases é incluída.

Apesar de ter sido desenvolvido para corpos de água de regiões temperadas, o modelo tem sido amplamente empregado para regiões tropicais e tem apresentado bons resultados. A

seguir destacam-se alguns trabalhos nos quais o modelo foi empregado para corpos de água de regiões tropicais.

- PARK & LEE (2002) utilizaram os modelos QUAL2E e QUAL2K para simular a qualidade da água do rio Nakdong, Coréia, com relação aos parâmetros oxigênio dissolvido, DBO, clorofila-a e séries de nitrogênio e fósforo. Ambos os modelos representaram muito bem os dados obtidos em campo, com exceção dos parâmetros DBO, OD e nitrogênio total, nos quais foram observadas discrepâncias significativas entre os resultados obtidos nos dois modelos. Para estes parâmetros o QUAL2K apresentou melhor concordância com as medições de campo do que QUAL2E, devido à capacidade para simular a conversão das algas mortas em DBO, OD fixado por plantas, e a desnitrificação.
- BOTTINO (2008) utilizou o modelo QUAL2K na modelagem da qualidade da água do rio Canha/SP. A calibração do modelo foi efetuada utilizando os seguintes parâmetros de qualidade: sólidos suspensos inorgânicos, nitrogênio orgânico, nitrogênio amoniacal, nitrato, fósforo inorgânico, alcalinidade e DBO. De modo geral, as simulações do modelo acompanharam razoavelmente bem as variáveis empregadas.
- SARDINHA e *et al.* (2008) utilizaram o modelo QUAL2K para modelar a autodepuração do Ribeirão do Leme/SP. Dentre as variáveis disponíveis para simulação foi utilizado apenas o oxigênio dissolvido. A modelagem conseguiu identificar as varias zonas de autodepuração e permitiu concluir que a implantação, na cidade de Leme/SP, de um sistema de tratamento secundário com eficiência de 76 % garantirá conformidade com a resolução CONAMA 357 para o parâmetro avaliado, ou seja, a concentração de oxigênio dissolvido neste corpo de água permanecerá acima de 5,0 mg/L (valor recomendado para rios de classe 2).
- SILVINO (2008) calibrou o modelo QUAL2K para as variáveis DBO, oxigênio dissolvido e *Escherichia Coli*. Foram simulados diversos cenários hipotéticos relacionados às políticas de gestão dos recursos hídricos na bacia do rio Coxipó/MT. As simulações indicaram que para a melhoria da qualidade da água será necessária forte intervenção em saneamento.
- FANG e colaboradores (2008) utilizaram o modelo QUAL2K para avaliar a distribuição espacial de DBO no rio Qiantang, China. O modelo foi calibrado e validado com dados ambientais do período de 2000 a 2004 e considerando a condição

de baixo fluxo. Os resultados das simulações efetuadas (cenário com redução de 25% das águas residuárias e cenário com nível de DBO abaixo de 30 mg/L) mostraram que um controle da carga de DBO total diária deve ser efetuado para controlar a poluição neste rio, indicando a necessidade do tratamento das águas residuárias.

- MOCCELLIN (2010) utilizou o modelo QUAL2K na modelagem da qualidade da água do rio Jacupiranquinha/SP em função das variáveis oxigênio dissolvido, DBO, sólidos suspensos inorgânicos, nitrato, fósforo orgânico e coliformes fecais. As simulações do modelo apresentaram boa concordância com os dados observados e, através dos cenários simulados, o modelo indicou que o tratamento do esgoto doméstico e industrial se apresenta como um elemento chave para a manutenção da qualidade deste corpo de água.

3.4.1 Representação conceitual

O modelo QUAL2K considera que em toda a extensão do corpo hídrico as características hidráulicas sejam constantes em cada trecho, tais como a inclinação do talude, a largura de fundo, etc. A Figura 3.5 apresenta a divisão de um corpo hídrico em segmentos que são numerados em ordem crescente, iniciando pela cabeceira. A dimensão de cada segmento é determinada no momento de criação de cada modelo (CHAPRA, PELLETIER e TAO, 2008).

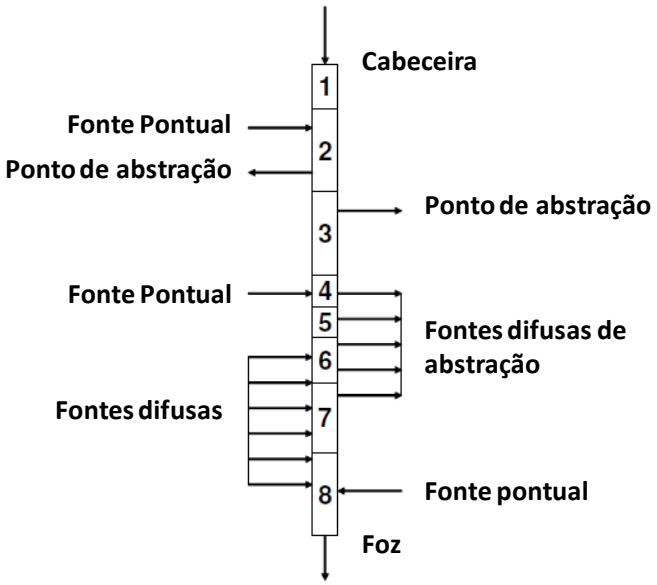

Figura 3.5 - Esquema da divisão de um corpo de água, sem tributários, em segmentos (Adaptado de CHAPRA, PELLETIER e TAO, 2008)

Ressalta-se que o posicionamento das fontes pontuais e das fontes difusas pode ser efetuado em qualquer segmento. Além disso, cada segmento pode ser subdividido em elementos computacionais igualmente espaçados, conforme apresentado na Figura 3.6, sendo a determinação do número de elementos de cada segmento efetuada em função da dimensão do mesmo.

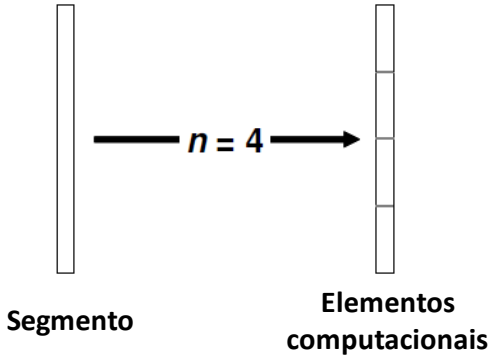

Figura 3.6 - Esquema da subdivisão de um segmento em 4 elementos computacionais igualmente espaçados (Adaptado de CHAPRA, PELLETIER e TAO, 2008)

Em cada elemento computacional é realizado um balanço hidrológico em termos de vazão, um balanço energético em termos de temperatura e um balanço de massa em termos de concentração.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Área de estudo

A área estudada esta situada na porção sudeste do estado de São Paulo e, segundo a Lei n° 7.663 (São Paulo, 1991), integra a Unidade de Gerenciamento dos Recursos Hídricos dos rios Sorocaba e Médio Tietê (UGRHI-10). Devido à extensão da UGRHI-10 e às peculiaridades intra-regionais, esta unidade de gerenciamento foi divida em 6 sub-bacias hidrográficas: Médio Tietê Superior, Médio Tietê Médio, Baixo Sorocaba, Médio Sorocaba, Médio Tietê Inferior e Alto Sorocaba, na qual está localizado o rio Sorocamirim, rio que foi objeto de estudo nesta pesquisa.

A sub-bacia do Alto Sorocaba é formada pelos rios Una, Sorocabuçu e Sorocamirim, cujas cabeceiras se encontram nos município de Ibiúna, Cotia, Vargem Grande Paulista e São Roque, que formam o Rio Sorocaba.

Esta sub-bacia possui uma área de aproximadamente 929 km², sendo que a área urbanizada ocupa por volta de 71 km², dois quais cerca de 55 km² são caracterizados por pequenos aglomerados populacionais como vilas e vilarejos. Com economia fundamentada na produção agrícola, esta sub-bacia possui 393 km² ocupados por áreas de cultivo. Quanto à cobertura vegetal, a bacia é composta por floresta ombrófila densa e cerrado, estando inserida no domínio da Mata Atlântica.

Na Figura 4.1 é apresentado um mapa com a localização da área de estudo e do rio Sorocamirim e na Figura 4.2 um mapa de uso e ocupação do solo.

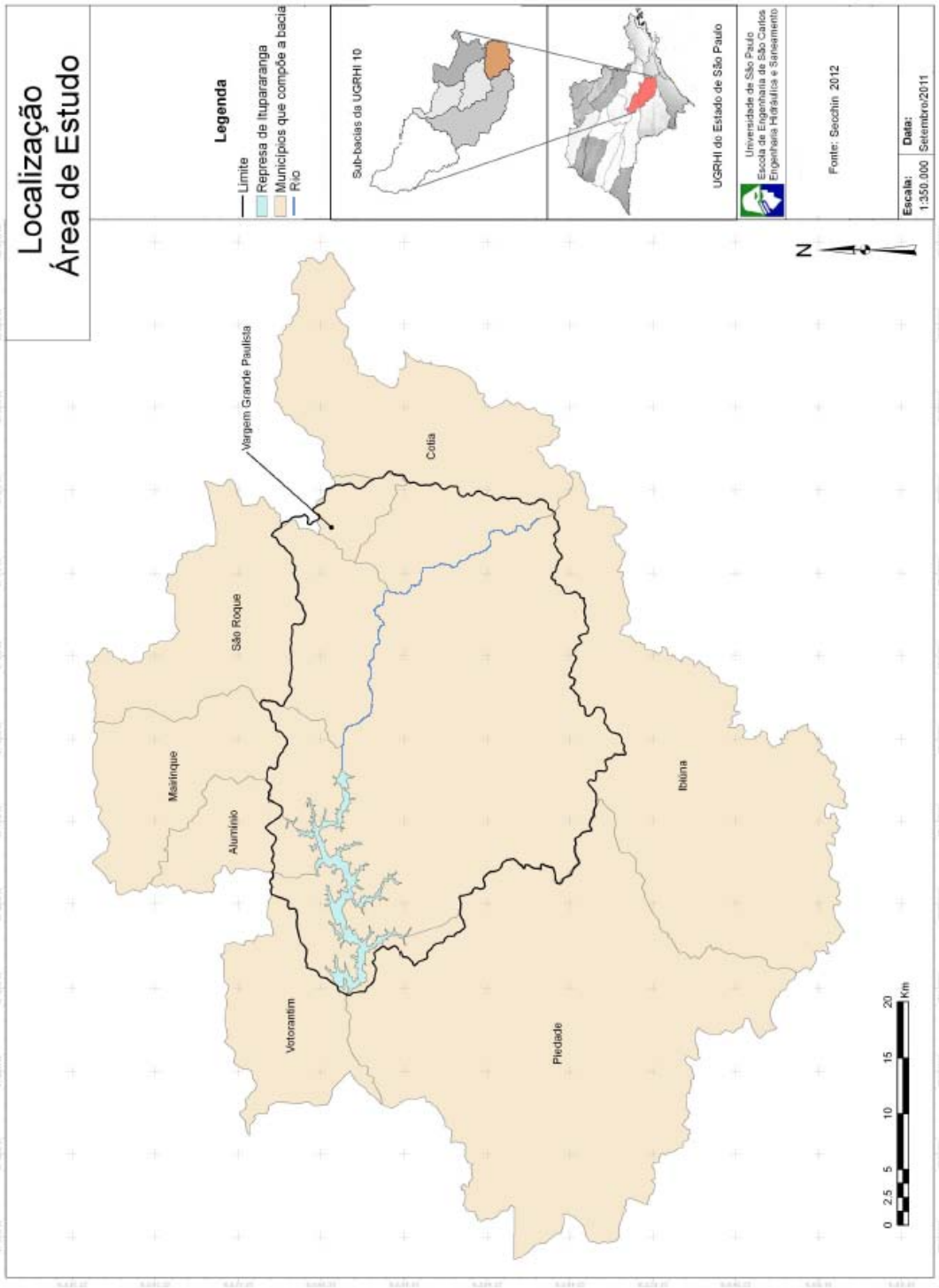

Figura 4.1 – Mapa da Sub-Bacia 6 - Alto Sorocaba com destaque da área de estudo e do rio Sorocamirim (Adaptado de SECCHIN, 2012)

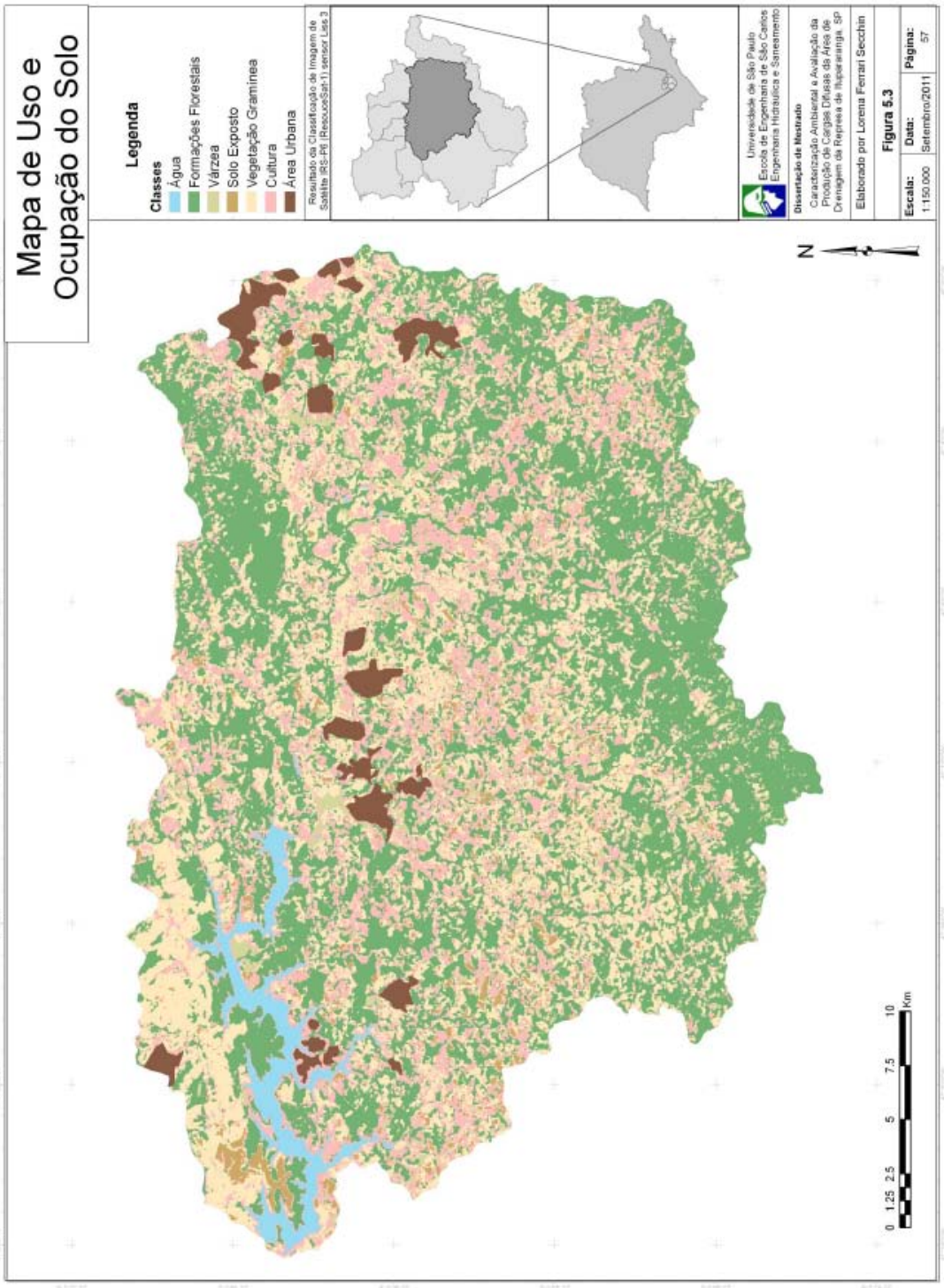

Figura 4.2 – Mapa de uso e ocupação do solo da Sub-Bacia 6 - Alto Sorocaba (SECCHIN, 2012)

Nas Tabelas 4.1 a 4.3 são apresentados os valores médios anuais do índice de qualidade de água para fins de abastecimento público (IAP), do índice de qualidade de água para proteção da vida aquática (IVA) e do índice de estado trófico na sub-bacia do Alto Sorocaba.

Tabela 4.1 - Índice de qualidade de água para fins de abastecimento público – IAP (Fonte: CESTESB - Relatórios de qualidade das águas superficiais do Estado de São Paulo de 2002 a 2012)

Código do ponto	Corpo de água	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
BUNA 02900	Rio Uma				39	46	45					
SOBU 02800	Rio Sorocabuçu				47	65	28	55	33	54	59	52
SOMI 02850	Rio Sorocamirim				42	52	32	50	35	60	43	50
SOIT 02100	Res. Itupararanga	89	83	82	85	68	70					
SOIT 02900	Res. Itupararanga	88	86	82	61	76	65	65	51	53	37	48

Legenda

Qualidade Ótima
Qualidade Boa
Qualidade Regular
Qualidade Ruim
Qualidade Péssima

Tabela 4.2 - Índice de qualidade de água bruta para proteção da vida aquática – IVA (Fonte: CESTESB - Relatórios de qualidade das águas superficiais do Estado de São Paulo de 2002 a 2012)

Código do ponto	Corpo de água	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
BUNA 02900	Rio Uma				6,9	6,9	7,2	6,9	6,6	6,2	5,0	
SOBU 02800	Rio Sorocabuçu								3,6	3,3	2,7	3,1
SOMI 02850	Rio Sorocamirim				6,6		5,6		3,3	3,5	3,3	3,1
SOIT 02100	Res. Itupararanga	2,7	4,3	3,7	3,9	4,0	3,6	3,7	3,8	4,0	4,4	4,7
SOIT 02900	Res. Itupararanga	2,9	3,8	3,1	4,0	3,5	3,6	4,2	5,3	4,4	5,0	5,0

Legenda

Qualidade Ótima
Qualidade Boa
Qualidade Regular
Qualidade Ruim
Qualidade Péssima

Tabela 4.3 - Índice de estado trófico – IET (Fonte: CESTESB - Relatórios de qualidade das águas superficiais do Estado de São Paulo de 2002 a 2012)

Código do ponto	Corpo de água	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
BUNA 02900	Rio Una						63	63	61	60	58	56
SOBU 02800	Rio Sorocabuçu							54	56	53	53	47
SOMI 02850	Rio Sorocamirim						52	49	50	53	55	51
SOIT 02100	Res. Itupararanga	44	51	46	53	55	53	56	56	57	56	54
SOIT 02900	Res. Itupararanga	42	45	39	51	52	53	54	56	56	55	54

Legenda

Ultraoligotrófico
Oligotrófico
Mesotrófico
Eutrófico
Supereutrófico
Hipereutrófico

Na Figura 4.3 estão apresentados os pontos de monitoramento da CESTESB, cujos índices de qualidade foram apresentados nas Tabelas 4.1 a 4.3.

As informações apresentadas nas Tabelas 4.1 a 4.3 e os resultados da pesquisa realizada por SALLES et. al. (2008) mostram que a sub-bacia do Alto Sorocaba apresenta alto impacto ambiental. Com relação ao rio Sorocamirim, os autores (op. cit.) verificaram que o maior impacto ambiental era decorrente do despejo "*in natura*" de todo o efluente gerado na cidade de Vargem Grande Paulista no maior tributário deste manancial, o ribeirão Vargem Grande, além de outras contribuições difusas referentes a ausência de mata ciliar, presença de lixo nas margens e demais lançamentos de efluentes.

4.1.1 Pontos de amostragem selecionados

Para a seleção dos pontos de amostragem utilizados nesta pesquisa, foi efetuada uma visita a campo no dia 25 de maio de 2011, quando foi percorrida toda a extensão do rio Sorocamirim, que corresponde a 47,9 km. Os pontos de amostragem foram selecionados em função dos objetivos propostos e das exigências do modelo QUAL2K (características hidráulicas, entrada de tributários, lançamento de esgoto, etc.).

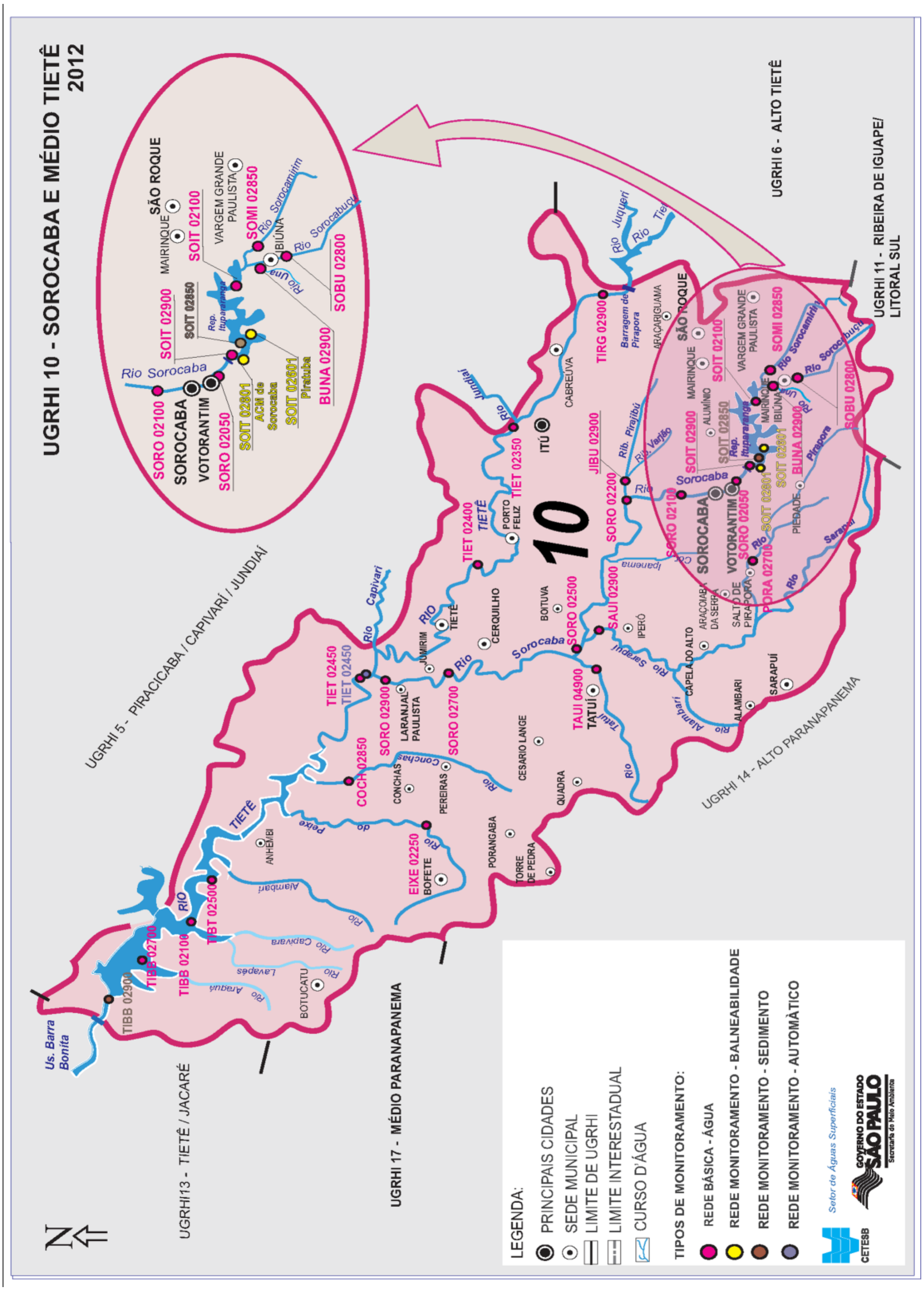

Figura 4.3 - Pontos de amostragem da CESTESB na UGRHI 10 (Fonte: CETESB, 2012)

Na Figura 4.4 é apresentado um mapa com a localização dos pontos de amostragem para a obtenção de dados desta pesquisa, ao longo da extensão do rio Sorocamirim.

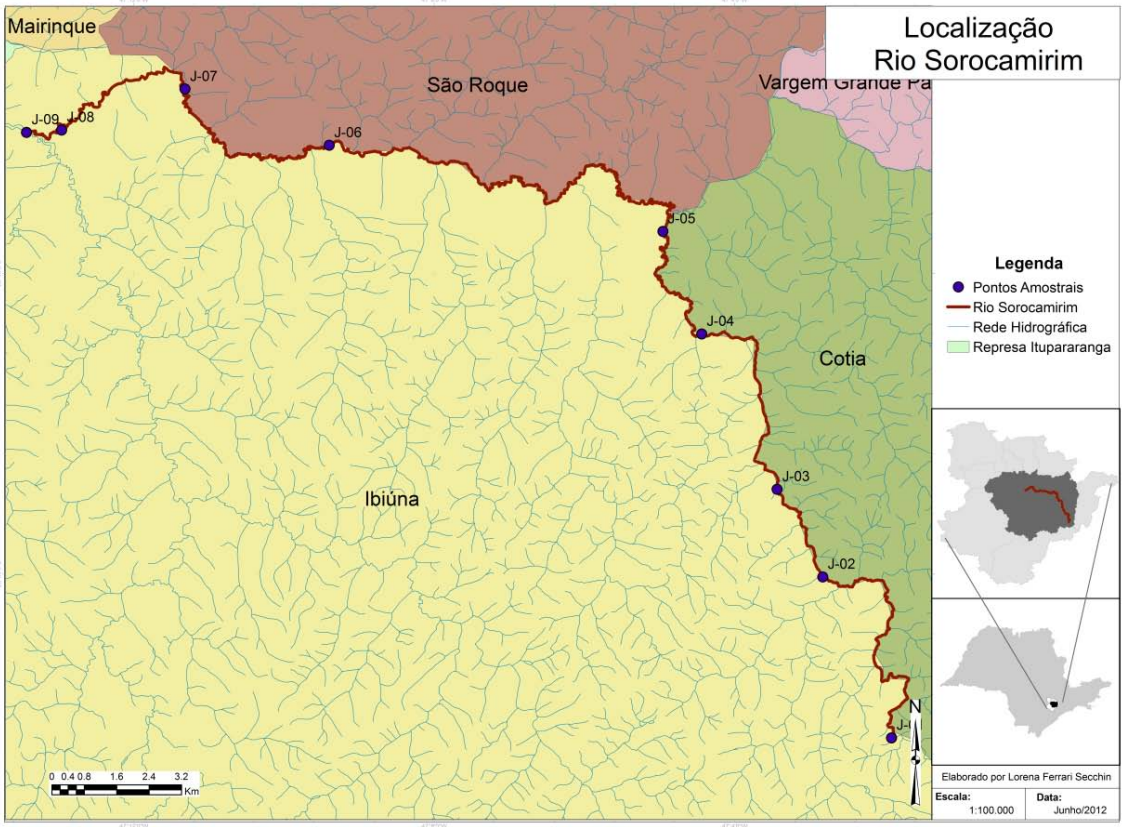

Figura 4.4 – Mapa com a localização dos pontos de amostragem selecionados

Na Tabela 4.4 são apresentadas as nomenclaturas utilizadas para os pontos de amostragem, bem como as coordenadas geográficas e uma foto dos mesmos. As características gerais dos pontos são apresentadas na descrição a seguir.

Tabela 4.4 – Pontos de amostragem selecionados

Ponto de amostragem	Localização	
J-01 (Nascente)	23°46’10.1’’ S 47°01’55.6’’ O	
J-02 (Atravessa uma área urbana do município de Cotia)	23°44’05.7’’ S 47°02’52.2’’ O	
J-03	23°42’52.4’’ S 47°03’30.3’’ O	

Continuação da Tabela 4.4 – Pontos de amostragem selecionados

Ponto de amostragem	Localização	
J-04 (Captação da SABESP de água para abastecimento)	23°40’51.8’’ S 47°04’26.3’’ O	
J-05 (Após contribuição do maior tributário – ribeirão Vargem Grande)	23°39’26.5’’ S 47°04’59.6’’ O	
J-06 (Atravessa uma área urbanizada do município de Ibiúna)	23°38’18.5’’ S 47°09’23.6’’ O	

Continuação da Tabela 4.4 – Pontos de amostragem selecionados

Ponto de amostragem	Localização	
J-07 (Captação da SABESP de água para abastecimento)	23°37’33.6’’ S 47°11’20.5’’ O	
J-08 (Exutório)	23°38’08.6’’ S 47°12’56.2’’ O	
J-09 (Rio Sorocaba)	23°38’09.7’’ S 47°13’25.6’’ O	

- Ponto de amostragem J-01

Situado no município de Cotia, no bairro Grilos, com coordenadas geográficas 23°46’10.1’’ S e 47°01’55.6’’ O, representa a nascente do rio Sorocamirim. À montante do ponto, ambas as margens não estão preservadas, sendo que a margem esquerda é ocupada por residências que despejam efluentes domésticos diretamente no rio e a margem direita possui apenas vegetação rasteira que garante a estabilidade da mesma. À jusante do ponto, após o trecho canalizado pela estrada, ambas as margens são providas de mata ciliar. No ponto de amostragem, a largura da calha do rio é de aproximadamente 2,0 m e o rio recebe incidência direta dos raios solares.

- Ponto de amostragem J-02

Situado no município de Cotia, o ponto em questão atravessa área urbana do município, sendo frequentemente utilizado pelos produtores locais para lavagem de verduras. Tanto à montante, quanto à jusante do ponto as margens possuem mata ciliar preservada, exceto por um acesso com cerca de 20 m existente na margem direita (presença de lixo). À jusante do ponto existe alteração do leito do rio devido à construção de uma ponte, além de pequenas quedas de água que promovem a oxigenação da mesma. No ponto de amostragem, a largura da calha do rio é de aproximadamente 7,0 m e o rio recebe incidência direta dos raios solares.

- Ponto de amostragem J-03

Situado na zona rural do município de Cotia, este ponto é utilizado para coleta de água para irrigação. À montante e à jusante verifica-se a presença de mata ciliar preservada, porém na região de entorno do ponto, região na qual existe o sistema de bombeamento de água para irrigação e alteração do leito devido à ponte da estrada vicinal, verifica-se a presença de entulho nos margens e residências próximas às margens. No ponto de amostragem a largura da calha do rio é de aproximadamente 10,0 m e o rio recebe incidência direta dos raios solares.

- Ponto de amostragem J-04

Situado na zona rural do município de Cotia, este ponto é utilizado pela Sabesp para captação de água. Ambas as margens apresentam vegetação rasteira e capim. Devido a uma estrada vicinal que passa pelo rio, o leito deste foi modificado de modo a proporcionar a construção da ponte existente. No ponto de amostragem, a largura da calha do rio é de aproximadamente 7,0 m e o rio recebe incidência direta dos raios solares.

- Ponto de amostragem J-05

Situado na zona no limite dos municípios de Cotia e Ibiúna, o ponto está localizado a jusante do cruzamento do rio Sorocamirim com a estrada rodoviária SP-250 (Rodovia Bunjiro Nakao). Tanto à montante, quanto à jusante, as margens apresentam vegetação rasteira e capim, sendo observada a presença de lixo nas mesmas. A região de entorno é urbanizada e possui um condomínio de alto padrão (Patrimônio Do Carmo). No ponto de amostragem a largura da calha do rio é de aproximadamente 2,1 m, o rio recebe incidência direta dos raios solares e a velocidade de escoamento é baixa, devido à pequena declividade, presença de trecho meândrico à jusante e junção com seu principal tributário, o ribeirão Vargem Grande.

- Ponto de amostragem J-06

Situado na zona rural do município de Ibiúna, é o primeiro ponto de monitoramento após a contribuição do ribeirão Vargem Grande. À montante deste ponto existe uma área alagada marginal e à jusante, um trecho com declividade acentuada que promove a oxigenação da água. Com exceção da área de entorno da ponte que possui mata ciliar, a jusante e à montante do ponto as margens são ocupadas por vegetação rasteira e capim. No ponto de amostragem, se encontra num ponto com sombreamento e a largura da calha do rio é de aproximadamente 10,0 m.

- Ponto de amostragem J-07

Situado na zona rural do município de Ibiúna, o ponto está localizado a montante da captação de água da SABESP para o sistema de abastecimento público. Neste ponto verifica-se alteração do leito do rio devido a duas ações antrópicas: construção da ponte da rodovia Prefeito Quintino de Lima e construção da barragem de água da captação. A montante e a jusante do ponto, as margens são ocupadas por mata ciliar, exceto pela região de entorno da ponte, onde a margem direita é ocupada pelas instalações de captação da SABESP e a margem esquerda é ocupada por vegetação rasteira, constantemente impactada pela atividade de pesca no local. No ponto de amostragem a largura da calha do rio é de aproximadamente 12,0 m e o rio recebe incidência direta dos raios solares.

- Ponto de amostragem J-08

Situado em uma área de várzea próxima à área urbana do município de Ibiúna, o ponto J-08 está localizado a menos de 200 metros do ponto de encontro do rio Sorocamirim com o rio Sorocabuçu. O ponto está localizado em um trecho em que o rio apresenta curso de água meândrico e baixa declividade, verificando-se assim várias formações de áreas alagadas em seu trajeto. Tanto a montante quanto a jusante as margens estão ocupadas por vegetação

rasteira. No ponto de amostragem a largura da calha do rio é de aproximadamente 3,0 m e o rio recebe incidência direta dos raios solares.

- Ponto de amostragem J-09

Situado em uma área de várzea próxima à área urbana do município de Ibiúna, o ponto esta localizado no início do rio Sorocoba. Tanto a montante quanto a jusante as margens estão ocupadas por vegetação rasteira, sendo que a margem esquerda sofre impactos constantes com a atividade de pesca no local, verificando-se a presença de lixo na mesma. Ressalta-se que a montante deste ponto, após o encontro dos rios Sorocabuçu e Sorocamirim com o rio Uma, ocorre o despejo do efluente da estação de tratamento de esgoto do município de Ibiúna. No ponto de amostragem a largura da calha do rio é de aproximadamente 15,0 m e o rio recebe incidência direta dos raios solares.

4.2 Amostragem

Com o intuito de compreender a dinâmica do rio Sorocamirim nas diferentes fases do ciclo hidrológico, foram realizadas quatro campanhas de amostragem em períodos sazonais distintos. A coleta representativa de inverno foi realizada em julho/2011, a de primavera em outubro/2011, a de verão em fevereiro/2012 e a de outono em abril/2012.

Na caracterização da qualidade da água foram analisadas as variáveis físicas, químicas e biológicas da água nos pontos de amostragem, as variáveis hidráulicas destes corpos de água e as variáveis climatológicas da sub-bacia do Alto Sorocaba. As variáveis que foram analisadas são apresentadas nos subitens a seguir, bem como a metodologia de análise utilizada.

4.2.1 Variáveis climatológicas

As variáveis climatológicas cujo monitoramento foi previsto nesta pesquisa são: temperatura do ar (°C) e precipitação (mm). Os dados referentes à temperatura do ar foram obtidos junto ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e os referentes à precipitação foram obtidos junto ao Centro Tecnológico de Hidráulica e Recursos Hídricos, unidade do Departamento de Águas e Energia Elétrica (CTH/DAEE).

4.2.2 Variáveis hidráulicas

As variáveis hidráulicas determinadas foram: vazão ($m^3.s^{-1}$) e declividade (m/m). A vazão foi calculada a partir da determinação dos perfis de velocidade de escoamento (segmentação da área transversal do rio e determinação da velocidade média de escoamento em cada segmento de área). Para medição das velocidades de escoamento foi utilizado o

método do molinete hidrométrico, método amplamente empregado para o cálculo de pequenas e médias vazões.

A determinação da declividade do rio Sorocamirim nos pontos de amostragem selecionados foi efetuada através do uso, em campo, do equipamento Nível Topográfico do fabricante SIOM e mira, ou régua topográfica.

4.2.3 Variáveis físicas e químicas da água

As variáveis físicas e químicas da água que foram monitoradas são apresentadas na Tabela 4.5.

Tabela 4.5 – Variáveis físicas e químicas da água

Variável	**Unidade**	**Metodologia**	**Referência bibliográfica APHA (2005)**
Temperatura	°C	Sonda multiparâmetros Yellow Springer 556 MPS	---
pH			
Condutividade elétrica	µS.cm^{-1}		
Oxigênio dissolvido	mg.L-1 % saturação		
Potencial redox	mV		
Alcalinidade	meq.L^{-1}	Titulometria	Método 2320B
Turbidez	uT	Turbidímetro de bancada Marconi®	---
Carbono total	mg.L^{-1}	Combustão	Método 5310 B
Carbono orgânico total	mg.L^{-1}	Combustão	
Carbono inorgânico	mg.L^{-1}	Combustão	
Fósforo total	µg.L^{-1}	Espectrofotometria	Método 4500 P B
Fósforo total dissolvido	µg.L^{-1}	Espectrofotometria	Método 4500 P B
Ortofosfato	µg.L^{-1}	Espectrofotometria	Método 4500P E
Sólidos suspensos totais	mg.L^{-1}	Gravimetria	Métodos 2540 D e 2540 E
Sólidos suspensos orgânicos	mg.L^{-1}	Gravimetria	
Sólidos suspensos inorgânico	mg.L^{-1}	Gravimetria	
Nitrogênio orgânico total Kjeldhal – NTK	mg.L^{-1}	Titulometria	Métodos 4500N C e 4500Norg
Nitrito	µg.L^{-1}	Espectrofotometria	Método 4500 NO2 B
Nitrato	mg.L^{-1}	Espectrofotometria	Método 14500 NO3 B

As variáveis: temperatura da água (°C), pH, oxigênio dissolvido (% de saturação), oxigênio dissolvido (mg.L^{-1}), condutividade elétrica (µS.cm^{-1}) e potencial redox (mV) foram medidas “in situ” com auxílio de um equipamento de leitura direta (Sonda multiparâmetros *Yellow Springer*, modelo 556 MPS). As demais variáveis foram determinadas no Laboratório de Biotoxicologia em Águas Continentais e Efluentes (BIOTACE) e, para tanto, foram

devidamente preservadas e acondicionadas em frascos, de acordo com a metodologia de análise.

4.2.4 Variáveis biológicas da água

Foram determinadas, como variáveis biológicas da água, a clorofila a ($\mu g.L^{-1}$) e a feofitina ($\mu g.L^{-1}$). A determinação destes pigmentos foi feita de acordo com NUSCH (1980) modificado por NEN (1981), ou seja, conduzida por meio de extração com etanol 80 %, espectrofotometria e acidificação da amostra, sendo que as equações a seguir foram utilizadas para o cálculo de suas concentrações.

$$[\text{clorofila}] = 29{,}6\frac{v}{V_a.S}[(Eu_{665} - Eu_{750}) - (Ea_{665} - Ea_{750})]$$

$$[\text{feofitina}] = 29{,}6\frac{v}{V_a.S}\{[1{,}7.(Ea_{665} - Ea_{750})] - (Eu_{665} - Eu_{750})\}$$

em que:

[clorofila]: concentração de clorofila na água ($\mu g.L^{-1}$);

[feofitina]: concentração de feofitina na água ($\mu g.L^{-1}$);

v: volume do extrato (mL);

Va: volume da amostra filtrada (L);

S: espessura da cubeta (cm);

Eu: absorbância da amostra não acidificada;

Ea: absorbância da amostra acidificada;

29,6: valor numérico do coeficiente de absorbância especifica da clorofila; e

1,7: razão de rendimento da clorofila não acidificada para acidificada.

4.2.5 Variáveis físicas e químicas do sedimento

As variáveis físicas e químicas que foram analisadas no sedimento são: matéria orgânica (%), nitrogênio orgânico total Kjedhal – NTK ($mg.g^{-1}$) e fósforo total ($\mu g.g^{-1}$). O teor de matéria orgânica foi determinado segundo o método descrito por Trindade (1980), a concentração de nitrogênio total, segundo método da APHA (2005) e a concentração de fósforo total, segundo protocolo apresentado por Andersen (1976).

As amostras de sedimento superficial foram coletadas com auxílio de Draga de Van Veen e armazenados em recipientes plásticos até a análise, no laboratório BIOTACE (EESC/USP).

4.2.6 Índice de estado trófico

O Índice do Estado Trófico (IET) tem por finalidade classificar corpos d'água em diferentes graus de trofia, ou seja, avaliar a qualidade da água quanto ao enriquecimento por nutrientes e seu efeito está relacionado ao crescimento excessivo das algas ou ao aumento da infestação de macrófitas aquáticas (CETESB, 2013). Para avaliar o nível de eutrofização da água foram utilizados os procedimentos descritos e utilizados pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB, 2013).

Apesar de alguns cálculos do IET utilizarem três parâmetros, os valores de transparência (disco de Secchi) e as concentrações de clorofila a e de fósforo total, o cálculo proposto pela CETESB (2013) desconsidera os valores de transparência, pois como este parâmetro pode ser afetado pela turbidez decorrente de material mineral em suspensão e não apenas pela densidade de organismos planctônicos, muitas vezes não são representativos do estado de trofia.

As equações utilizadas para o cálculo do IET em rios foram:

$IET(CL) = 10.(6-((-0,7-0,6.\ln(CL))/\ln(2))-20$

$IET(PT) = 10.(6-((0,42-0,36.\ln(PT))/\ln(2))-20$

em que:

PT: concentração de fósforo total medida à superfície da água, em $\mu g.L^{-1}$;

CL: concentração de clorofila a medida à superfície da água, em $\mu g.L^{-1}$;

ln: logaritmo natural.

Quando estão disponíveis tanto as concentrações de fósforo total quanto de clorofila a, o IET é dado pela média dos valores calculados para cada concentração. Na Tabela 5.7 estão apresentadas as categorias de classificação do estado trófico da água de rios.

Tabela 4.6 - Classificação do estado trófico da água de rios (CETESB, 2013)

Categoria de estado trófico	**Ponderação**	**P-total ($mg.m^{-3}$)**	**Clorofila a ($mg.m^{-3}$)**
Ultraoligotrófico	$IET \leq 47$	$P \leq 13$	$CL \leq 0,74$
Oligotrófico	$47 < IET \leq 52$	$13 < P \leq 35$	$0,74 < CL \leq 1,31$
Mesotrófico	$52 < IET \leq 59$	$35 < P \leq 137$	$1,31 < CL \leq 2,96$
Eutrófico	$59 < IET \leq 63$	$137 < P \leq 296$	$2,96 < CL \leq 4,70$
Supereutrófico	$63 < IET \leq 67$	$296 < P \leq 640$	$4,70 < CL \leq 7,46$
Hipereutrófico	$IET > 67$	$640 < P$	$7,46 < CL$

4.3 Análise estatística das variáveis físicas e químicas da água

Devido ao grande volume de variáveis físicas e químicas estudadas, buscou-se uma ferramenta para auxiliar a análise das mesmas e a verificação de inter-relações. Sendo assim, foi adotado o método de Análise de Componentes Principais (PCA) para sintetizar os dados físicos e químicos da qualidade do rio Sorocamirim obtidos nesta pesquisa, uma vez que este método possibilita a redução da quantidade de dados, quando existe uma correlação entre eles, sem a perda de informações (MILLER & MILLER, 2005).

A PCA consiste em achar combinações lineares dos dados analisados e, a partir dessas combinações, identifica-se a nova variável que se relaciona mais com a maior quantidade de dados, denominada de PC1. A variável que se relaciona mais com a segunda maior quantidade de dados é denominada de PC2, e assim por diante.

Desta forma, a PCA relaciona os dados das diferentes variáveis entre si (pH, turbidez, condutividade, etc) criando novas variáveis (genéricas) e relacionando todos esses dados com essas novas variáveis, o que possibilita uma análise direta entre esses dados, pois agora eles estão relacionados com as mesmas variáveis.

Posteriormente a PCA, as variáveis com maior potencial de explicação para a variância dos dados foram utilizadas para a análise de agrupamento hierárquico (Cluster Analysis), que consiste em um agrupamento de amostras pela similaridade, ou seja, divisão de um conjunto em um número finito de classes (VALENTIN, 1995).

Para a construção das matrizes de similaridade do Cluster foi adotada a Distância Euclidiana Média como coeficiente de similaridade e o agrupamento UPGMA (Unweighted Pair - Group Method Average) como método de ligação ou formação de grupos.

Foi utilizado o software livre PaSt, desenvolvido pela Universidade de Oslo (Noruega), para fazer as duas análises estatísticas previstas: análise de componentes principais (PCA) e de agrupamento (Cluster).

4.4 Utilização do modelo QUAL2K

Para simular a qualidade da água do rio Sorocamirim foi utilizado o modelo QUAL2K, regulamentado pela USEPA. A justificativa para utilização deste modelo está relacionada com a disponibilidade e aplicação do mesmo, uma vez que se trata da atualização do modelo QUAL2E, bastante difundido em estudos de qualidade da água.

4.4.1 Dados de entrada no modelo

Para realizar a simulação, o modelo foi alimentado com os seguintes dados: coordenadas geográficas, altitude, declividade, posicionamento dos pontos de coleta com relação à foz do rio, concentrações de sólidos suspensos inorgânicos, oxigênio dissolvido, coeficiente de reaeração, nitrato, fósforo orgânico, fósforo inorgânico, fósforo total, temperatura da água, vazão, velocidade e profundidade do rio.

Ressalta-se que, apesar do modelo QUAL2K possibilitar a inserção de dados horários para as condições de contorno, como os parâmetros de qualidade foram monitorados apenas uma vez por dia durante as campanhas, a variação horária não foi considerada e as concentrações das condições de contorno foram mantidas constantes ao longo das 24 horas.

O modelo de integração adotado neste trabalho foi o de Runge-Kutta.

4.4.2 Discretização do rio Sorocamim

Na presente pesquisa foram simulados os 47,9 km do rio Sorocamirim, compreendendo desde a região de cabeceira até a foz, no rio Sorocaba. A diferença entre a localização dos pontos de coleta caracterizou os trechos de estudo, sendo que cada trecho foi subdividido, através dos elementos computacionais do modelo, em sub-trechos de 0,4 km nos quais as simulações foram realizadas por meio de balanços de massa e energia.

Na Figura 4.5 está apresentado o diagrama unifilar da extensão simulada do rio Sorocamirim simulada nesta pesquisa. Neste diagrama são apresentadas as dimensões de cada trecho, o número de elementos computacionais de cada um e os locais nos quais foram consideradas as poluições difusas.

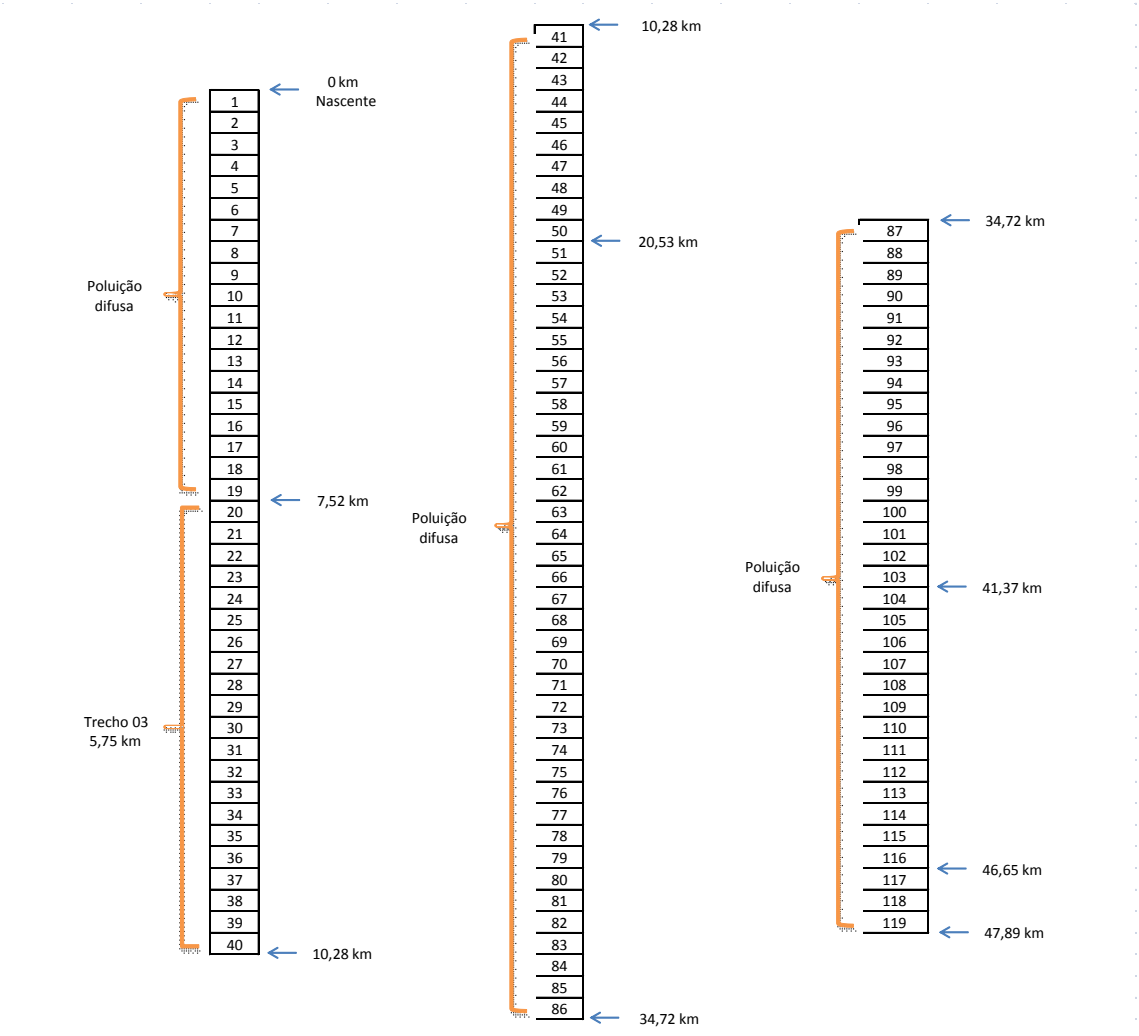

Figura 4.5 - Diagrama unifilar da extensão do rio Sorocamirim mostrando os tamanhos de cada trecho e as fontes difusas

4.4.3 Calibração do modelo QUAL2K

A seguir, uma breve descrição de como foi efetuada a calibração do modelo de acordo com os parâmetros utilizados:

- Vazão: foram utilizados os valores médios de vazão obtidos no monitoramento, sendo que a diferença entre a vazão do trecho de montante com o trecho de jusante foi considerada como fonte difusa;
- Velocidade de escoamento: foram utilizados os valores médios de velocidade obtidos no monitoramento, sendo que este parâmetro foi calibrado com base na declividade da bacia e no coeficiente de rugosidade de Manning (n) para canais naturais;
- Altura de água: foram utilizados os valores médios de altura de água da seção de escoamento;

- Variáveis limnológicas: foram utilizados os dados obtidos em campo durante as campanhas de monitoramento, sendo que a diferença entre as concentrações do trecho de montante e do trecho de jusante foi considerada como fonte difusa.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Limnologia do rio Sorocamirim

5.1.1 Variáveis climatológicas

Conforme mencionado anteriormente, os dados de precipitação foram obtidos junto ao CTH/DAEE (Centro Tecnológico de Hidráulica e Recursos Hídricos, unidade do Departamento de Águas e Energia Elétrica) e os dados de temperatura do ar foram obtidos junto ao INMET (Instituto Nacional de Meteorologia). Na Tabela 5.1 estão apresentadas as informações referentes aos postos de monitoramento cujos dados foram fornecidos.

Tabela 5.1 - Informações dos postos de monitoramento pluviométrico do DAEE

Posto de monitoramento	**DAEE**	**INMET**
Município	Ibiúna/SP	Sorocaba/SP
Prefixo	E4-131	---
Nome	Mato do gado	Sorocaba-A713
Altitude	950 m	609 m
Latitude	23°43' S	23°26’ S
Longitude	47°07' O	47°35’ O
Bacia	Sorocamirim	Sorocaba

Na Tabela 5.2 estão apresentados os valores totais mensais de precipitação na bacia do rio Sorocamirim, com destaque para os valores correspondentes aos meses nos quais ocorreram coletas. Observa-se na Tabela 5.2 que os maiores valor de precipitação mensal ocorreram em janeiro, situação característica do clima tropical que possui o verão como período de chuvas e inverno como período de seca.

Tabela 5.2 - Precipitação total mensal nos anos de 2011 e 2012 na bacia do rio Sorocamirim

Ano	**Precipitação total mensal (mm)**											
	Jan	**Fev**	**Mar**	**Abr**	**Mai**	**Jun**	**Jul**	**Ago**	**Set**	**Out**	**Nov**	**Dez**
2011	222,3	117,2	89,2	107,7	14,8		**17,5**	84,2		163,8	**50,0**	
2012	188,5	**152,6**	111,6	**166,9**	52,1	--	--	--	--	--	--	--

Visando melhor avaliar a influência desta variável nos resultados de cada coleta, uma vez que a precipitação está diretamente relacionada à disponibilidade hídrica e influencia fortemente a qualidade das águas e interações do ecossistema aquático (POFF *et al.*, 1997), na Tabela 5.3 estão apresentados os dados de precipitação nas datas referentes às coletas e nos seus cinco dias antecedentes. Verifica-se que nos dias de coleta não ocorreram precipitações,

nem nos dias que antecederam as coletas de inverno e verão. Porém, apesar dos maiores valores de precipitação total terem ocorrido no verão, a coleta que apresenta maior influencia desta variável e, consequentemente, melhor representa o período chuvoso é a coleta de primavera, devido a ocorrência de chuva intensa três dias antes da coleta, com precipitação total de 24,1 mm.

Tabela 5.3 - Dados de precipitação e temperatura do ar nas datas referentes às coletas e nos seus cinco dias antecedentes

Data		**Precipitação (mm)**	**Temperatura mínima (°C)**	**Temperatura máxima (°C)**
	24/07/2011	0	15,2	23,6
	25/07/2011	0	12,7	26,1
	26/07/2011	0	14,8	26,2
	27/07/2011	0	12,8	26,8
	28/07/2011	0	13,2	26,8
Coleta de inverno	29/07/2011	0	14,2	28,6
	13/10/2011	1,3	18,9	25,7
	14/10/2011	6,2	20,0	23,1
	15/10/2011	24,1	17,4	20,2
	16/10/2011	0	17,2	21,4
	17/10/2011	0	17,2	22,4
Coleta de primavera	18/10/2011	0	15,2	23,5
	03/02/2012	0	21,4	33,6
	04/02/2012	0	21,4	33,3
	05/02/2012	0	20,8	33,0
	06/02/2012	0	20,8	33,4
	07/02/2012	0	19,8	35,0
Coleta de verão	08/02/2012	0	22,0	35,4
	13/04/2012	0	18,9	31,8
	14/04/2012	8,8	22,0	31,0
	15/04/2012	2,5	20,3	30,5
	16/04/2012	1,0	19,5	26,8
	17/04/2012	0,1	17,2	29,0
Coleta de outono	18/04/2012	0	16,6	28,6

Na Tabela 5.3 estão apresentados, também, os valores mínimos e máximos da temperatura do ar. Conforme esperado, os maiores valores de temperatura do ar (valor máximo de 35,4 °C) ocorreram na coleta de fevereiro, coleta de verão. Em julho, a ocorrência de valores mais baixos de temperatura (valor mínimo diário de 12,7 °C e máximo de 28,6 °C) é representativa da estação de inverno, porém os menores valores máximos diários foram observados na coleta de primavera, efetuada em outubro, devido à ocorrência de uma frente fria (valores máximos diários entre 20,2 e 25,7 °C).

5.1.2 Variáveis hidráulicas

Na Figura 5.1 estão apresentados os valores de vazão medidos durante as coletas. Conforme previsto, os menores valores foram observados na coleta de inverno, os maiores na coleta de primavera, uma vez que esta variável está diretamente relacionada à ocorrência de precipitação.

Observa-se ainda o aumento da vazão de montante à jusante. Este aumento está associado à contribuição de efluentes que, de acordo com a teoria da Descontinuidade de Ligação proposta por RICE, GREENWOOD & JOYCE (2001), geram descontinuidade no rio, uma vez que as entradas de efluentes geram mudanças no sedimento, na quantidade e na qualidade da água.

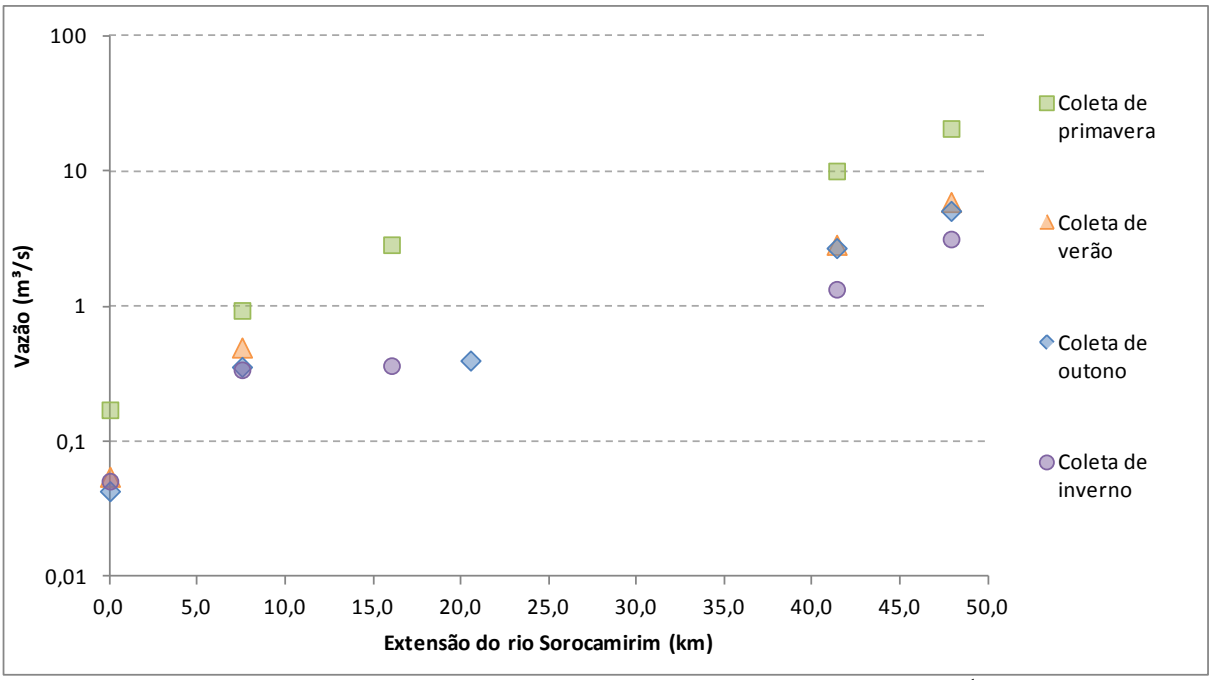

Figura 5.1 - Valores de vazão obtidos no rio Sorocamirim ($m^3.s^{-1}$)

Ressalta-se que, durante as coletas, os valores de vazão não puderam ser medidos em todos os pontos de estudo, devido à acessibilidade e limitações da metodologia empregada, que necessita adequada delimitação da seção de medição, sendo que esta delimitação não foi possível nos pontos 5, 6 e 8 por estarem muito próximos e/ou inseridos em planícies de inundação.

Como o rio Sorocamirim possui planícies de inundação bem desenvolvidas, sendo possível notar a existência de inúmeras áreas alagadas em seu curso, principalmente no período de chuvas; supõe-se que o pulso de inundação anual, segundo o conceito The Flood

Pulse Concept, proposto por Junk, Bayley & Sparks (1989), seja um fator hidrológico de grande influência sobre este manancial.

Além de planícies de inundação bem desenvolvidas, o rio Sorocamirim apresenta também trechos com declividade acentuada, principalmente na região de cabeceira, que favorecem a oxigenação da água e, desta forma, aumentam a capacidade de depuração do rio. Os valores de desnível medidos nos pontos de coleta (considerando 100 m à montante e 100 m à jusante) estão apresentados na Tabela 5.4 e mostram que os pontos J-01 e J-02 possuem declividade elevada.

Tabela 5.4 - Valores de desnível e declividade medidos nos pontos de coleta

	Ponto 1	**Ponto 2**	**Ponto 3**	**Ponto 4**	**Ponto 5**	**Ponto 6**	**Ponto 7**	**Ponto 8**	**Ponto 9**
Localização na extensão do rio (m)	0,0	7,5	10,3	16,0	20,5	34,7	41,4	46,6	47,9
Desnível medido no ponto (m)	1,527	3,369	0,258	0,055	0,128	0,158	0,131	0,140	0,371
Declividade (m/m)	0,0076	0,0168	0,0013	0,0003	0,0006	0,0008	0,0007	0,0007	0,0019

O menor desnível e, consequentemente, a baixa declividade observados no ponto J-04 decorrem do represamento do rio para captação de água para abastecimento público no qual este ponto está inserido. Apesar do ponto 7 também estar localizado próximo a um represamento para captação de água, a declividade deste não resultou tão baixa, pois o mesmo se encontra a uma distância maior que o ponto 4.

Em conjunto com os valores de vazão, foram obtidos os valores de velocidade de escoamento, que estão apresentados na Figura 5.2. A velocidade de escoamento possui relação direta com a geomorfologia da bacia e, para rios sem interferência antrópica, espera-se que a velocidade diminua gradativamente da nascente para a foz, enquanto o comportamento da vazão seja contrário (teoria do *Continuum Fluvial*, VANNOTE, 1980), conforme foi observado.

No rio Sorocamirim, apesar do rápido escoamento observado nos pontos próximos a nascente (pontos J-01 e J-02), devido principalmente à declividade acentuada dos mesmos (Tabela 5.4), o comportamento da velocidade de escoamento não obedece à teoria do *Continuum Fluvial*. Isso ocorre pois, apesar da ausência de fontes pontuais de poluição significativas, existe um grande número de fontes difusas e alterações antrópicas no curso do

rio, como estreitamento da calha para construção de pontes e represamentos tanto para captação de água para abastecimento público quanto para irrigação.

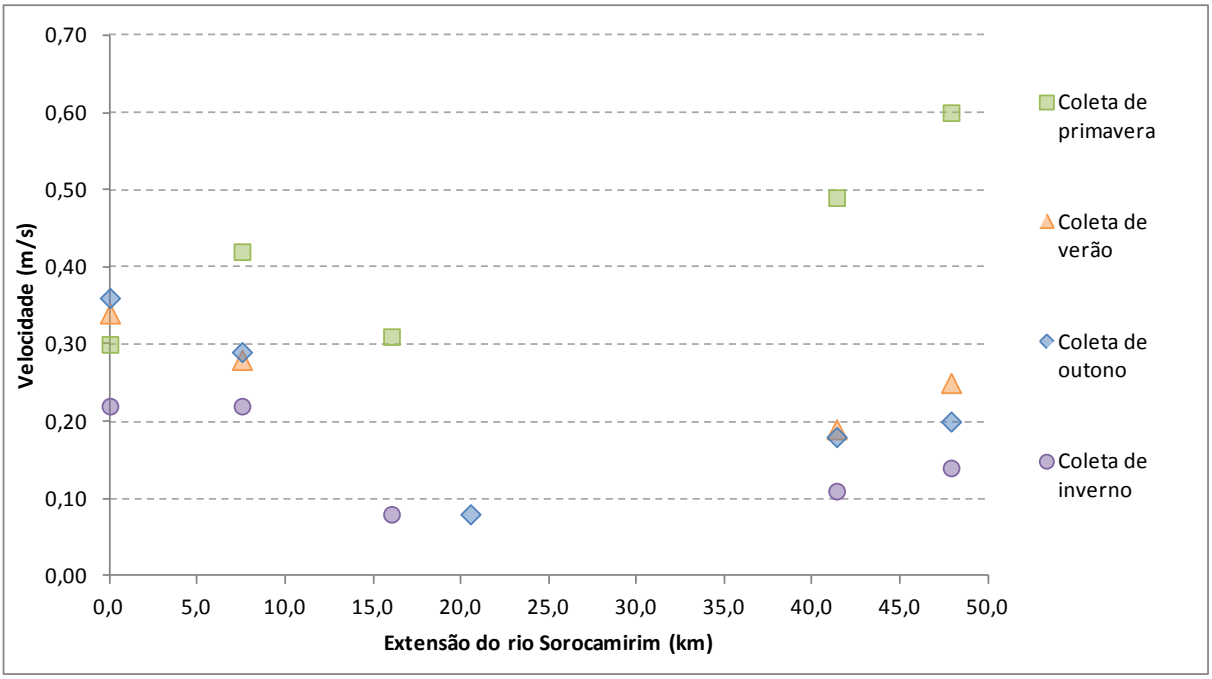

Figura 5.2 - Valores de velocidade obtidos no rio Sorocamirim ($m.s^{-1}$)

5.1.3 Variáveis físicas e químicas da água do rio Sorocamirim

5.1.3.1 Temperatura da água

A temperatura da água, por estar relacionada à temperatura do ar na área da bacia na qual o recurso hídrico estudado está inserido, é influenciada por fatores tais como latitude, altitude, estação do ano e período do dia, além dos fatores vazão e profundidade. Desta forma, corpos de água naturais apresentam variações de temperatura sazonais e diurnas, bem como estratificação vertical.

Na Figura 5.3 são apresentadas as variações da temperatura da água do rio Sorocamirim nos diferentes pontos de estudo e coletas realizadas.

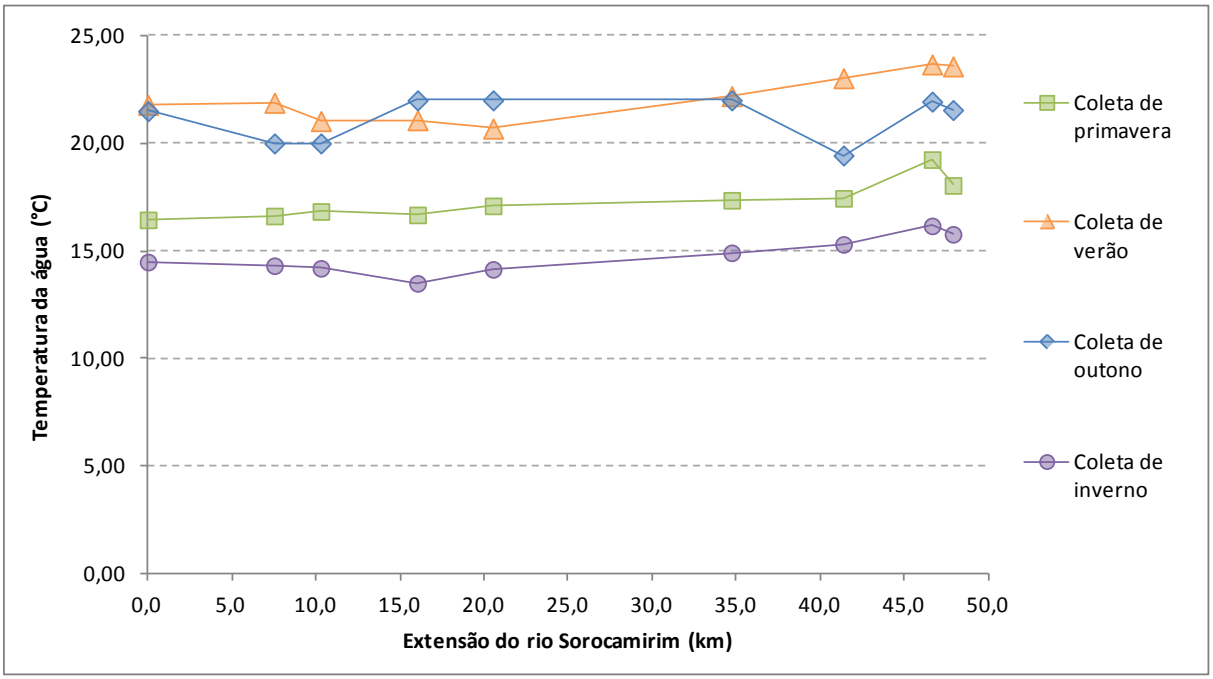

Figura 5.3 - Valores da temperatura da água (˚C) no rio Sorocamirim

A temperatura da água do rio Sorocamirim variou de 13,5 a 23,7 °C e, como esperado, os maiores valores ocorreram na coleta de verão. Na Figura 5.3 observa-se que os valores de temperatura da coleta de outono resultaram superiores aos da coleta de primavera, fato relacionado à chegada de uma frente fria, com chuvas, no período que antecedeu à coleta de primavera e à realização da campanha de outono, no início da estação.

Apesar de se observar uma pequena tendência de aumento da temperatura da água ao longo da extensão do rio, esta não pode ser associada à entrada de fontes pontuais de poluição no corpo de água, pois o estudo nos diferentes pontos ocorreu em diferentes horários durante os dias de coleta, sendo que a coleta nos últimos pontos era realizada no período da tarde.

Segundo Rios (1993), os resultados de temperatura da água do ribeirão do Feijão (São Carlos/SP) sofreram influencia da cobertura vegetal e do horário da coleta, sendo que as maiores temperaturas ocorreram no período da tarde, assim como observado para o rio Sorocamirim. Esta situação também foi observada por Bubel (1998) no rio do Peixe (Botucatu/SP).

Ressalta-se que o estudo desta variável é importante, pois a temperatura está relacionada à solubilidade dos gases e, consequentemente, à disponibilidade de oxigênio na água. Além disso, esta grandeza física e suas variações afetam diretamente as atividades metabólicas dos organismos aquáticos.

Com relação aos pontos J-04 e J-07, pontos de captação de água do rio Sorocamirim para abastecimento público, o estudo desta variável é importante pois a temperatura influencia

no desempenho das etapas de tratamento (coagulação, floculação, decantação, flotação e filtração), na eficiência da desinfecção e na sensação de sabor e odor da água (DI BERNARDO, DANTAS & VOLTAN, 2011).

5.1.3.2 Turbidez

A turbidez representa o grau de atenuação da transparência da água devido à interferência na passagem da luz provocada, principalmente, pela presença de partículas em suspensão, partículas coloidais, microrganismos, plâncton e material orgânico particulado.

Esta variável possui grande importância em limnologia e no estudo da qualidade das águas, pois além de ser o principal fator na determinação da profundidade da zona eufótica, é uma das principais variáveis para a determinação da tecnologia de tratamento da água para consumo humano.

Na Figura 5.4 estão apresentados os valores de turbidez obtidos no rio Sorocamirim durante as coletas realizadas.

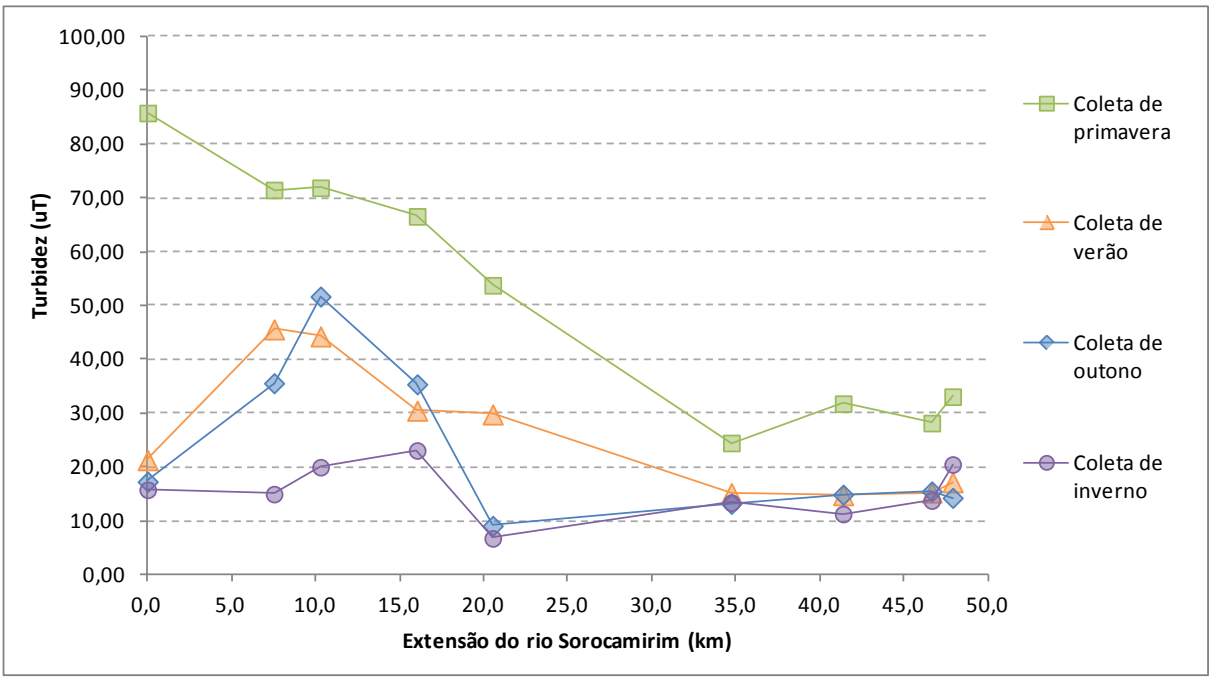

Figura 5.4 - Valores de turbidez (uT) no rio Sorocamirim

Observa-se na Figura 5.4 que os valores de turbidez na água do rio Sorocamirim resultaram abaixo de 100 uT, valor limite estabelecido pela resolução CONAMA 357/2005 para rios de classe II, apresentando variação entre 6,77 e 85, 8 uT. O menor valor de turbidez ocorreu durante a coleta de inverno no Ponto 05, ponto que antecede a contribuição do

ribeirão Vargem Grande, enquanto o maior valor foi observado na coleta de primavera no ponto J-01, localizado na cabeceira do rio Sorocamirim e adotado como nascente do mesmo.

Para todos os pontos estudados, os valores de turbidez observados na coleta de primavera resultaram maiores que os obtidos nas demais coletas. Estes valores mais elevados podem ser atribuídos ao carreamento de componentes dos solos expostos e erodíveis para o curso de água e ao revolvimento do sedimento devido à ocorrência de chuva intensa antes desta coleta, conforme dados da Tabela 5.3.

Ressalta-se que todas as coletas apresentaram seus valores mais elevados de turbidez entre os pontos J-01 e J-05 do rio, indicando que este manancial está mais suscetível ao arraste de partículas decorrentes de desmatamento e/ou ações antrópicas na primeira metade de seu percurso.

5.1.3.3 Sólidos suspensos totais, inorgânicos e orgânicos

Segundo MONTGOMERY (1999), a quantidade de sólidos presente num corpo de água está relacionada à geologia, uso do solo, precipitação e evaporação e podem diferir entre os rios que compõem a mesma bacia hidrográfica.

Na Figura 5.5 são apresentadas as concentrações de sólidos suspensos totais (SST) obtidos durante o período estudado.

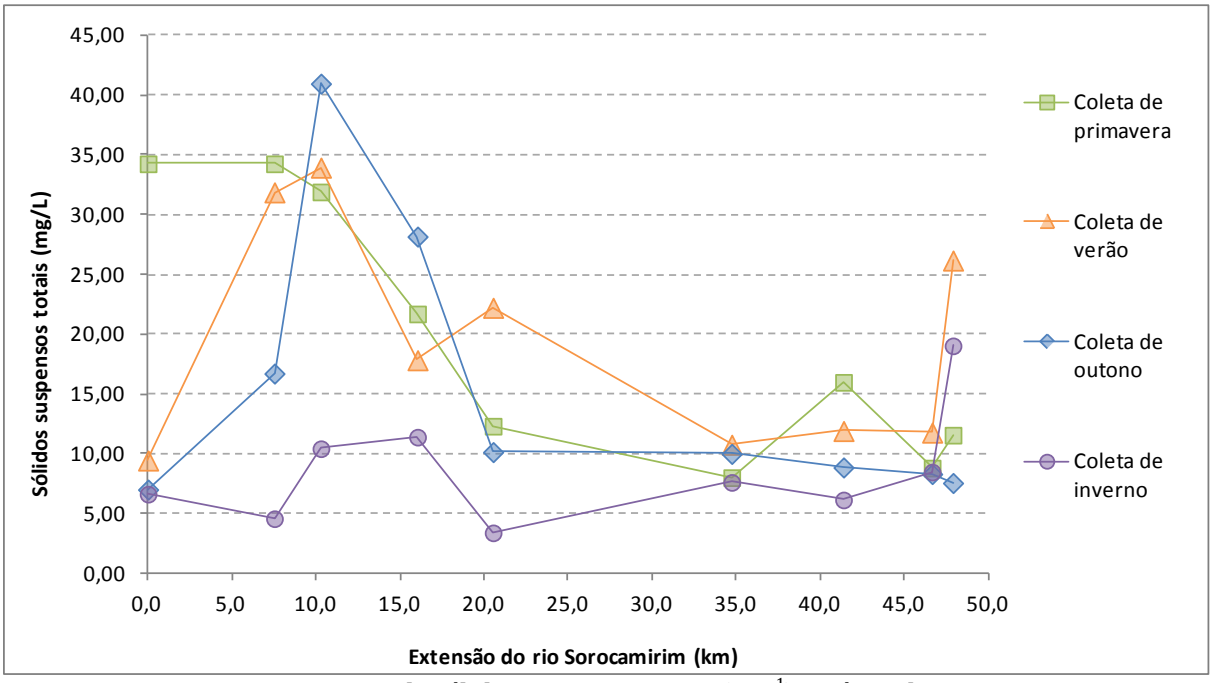

Figura 5.5 - Concentrações de sólidos suspensos totais ($g.L^{-1}$) na água do rio Sorocamirim

Na Figura 5.5 observa-se que as concentrações de SST variaram entre 3,4 (na coleta de inverno no J-05) e 41,0 $mg.L^{-1}$ (na coleta de outono no ponto J-03), valores considerados baixos para águas superficiais.

No rio Sorocamirim, observa-se que nas campanhas de verão, outono e inverno, que não foram influenciadas pela ocorrência de chuvas intensas, as maiores concentrações de SST ocorreram na primeira metade do manancial. Este comportamento corrobora que a primeira metade do percurso deste manancial é mais suscetível a ações antrópicas inadequadas, como retirada da mata ciliar, entrada de efluentes domésticos sem qualquer tipo de tratamento prévio, captação inadequada de água para irrigação (ponto J-03), etc.

O ponto J-09, localizado no rio Sorocaba após a confluência dos rios Sorocamirim, Una e Sorocabuçu, apresentou um aumento evidente da concentração de SST nas coletas de inverno e no verão. Devido à falta de informações sobre os demais rios, não se pode avaliar adequadamente este comportamento; porém ressalta-se que, antes desse ponto, há a entrada do efluente da Estação de Tratamento de Esgoto de Ibiúna, o que pode influenciar nas concentrações de SST no inverno, pois a capacidade de diluição do rio diminui em função da diminuição da vazão, e no verão, apesar do aumento da vazão, também é observado o aumento do consumo de água neste período e, consequentemente, da geração de efluentes em maior quantidade.

Devido aos diversos impactos sofridos e às diferentes suscetibilidades, não foi possível verificar um comportamento temporal desta variável no rio Sorocamirim. Segundo Ahearn *et al*. (2005), em terras com predominância de atividades agrícolas, como é o caso da sub-bacia do rio Sorocamirim, a carga de SST diminui muito em períodos de seca, pois é preciso que ocorra fortes chuvas para mobilizar o sedimento e causar erosão no solo. Este comportamento foi observado em diversos rios tropicais: rio Aquidauana (SANTOS, 2000), rio Bangpakong (BORDALO *et al*., 2001), rio Canha (BOTTINO, 2008), rio do Meio (SARDINHA *et al*., 2008), rio do Monjolinho (RODRÍGUEZ, 2001), rio Jacupiranguinha (MOCCELLIN, 2010) e rio Pariquera-Açu (MOCCELLIN, 2010), entre outros.

Na Figura 5.6 estão apresentadas as parcelas de sólidos suspensos orgânicos (SSO) e sólidos suspensos inorgânicos (SSI) nas concentrações de SST obtidas no período de estudo.

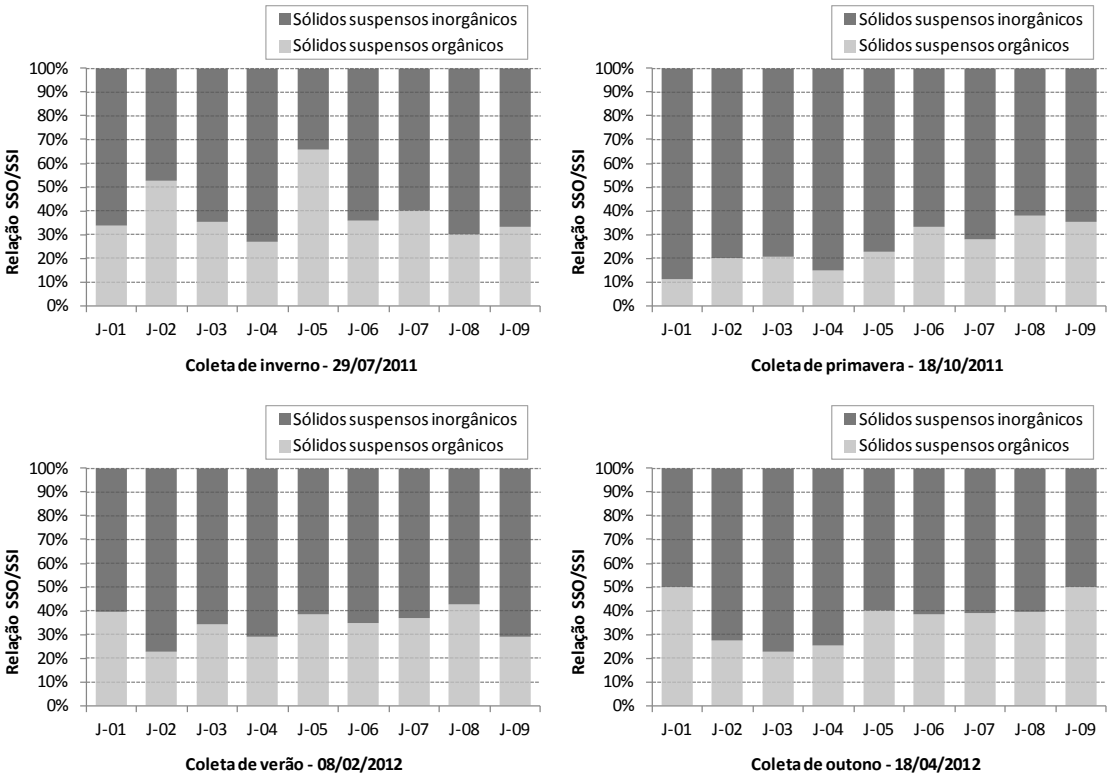

Figura 5.6 - Parcelas orgânicas e inorgânicas das concentrações de sólidos suspensos totais (%) na água do rio Sorocamirim durante as coletas (2011/2012)

No rio Sorocamirim, os sólidos suspensos inorgânicos predominaram sobre os sólidos suspensos orgânicos, principalmente na coleta de primavera, cuja campanha foi antecedida pela ocorrência de chuvas intensas. Este fato indica a contribuição tanto de fatores antrópicos, como uso e ocupação do solo, que geram erosão e lixiviação, quanto de fatores naturais, como intemperismo físico e químico das rochas.

Como os pontos J-04 e J07 são pontos de captação para abastecimento público, ressalta-se que quanto ao tratamento de água para consumo humano, a concentração de SST pode influir no desempenho de algumas tecnologias de tratamento. Dependendo da concentração de SST, por exemplo, no caso da tecnologia de filtração direta descendente, pode ou não ser necessária a floculação prévia, e no caso da filtração em múltiplas etapas, pode ocorrer obstrução do filtro na filtração lenta, limitando os mecanismos biológicos e físicos de remoção (DI BERNARDO, DANTAS & VOLTAN, 2011).

5.1.3.4 Condutividade elétrica

A condutividade é a expressão numérica da capacidade de uma água conduzir a corrente elétrica. Esta variável depende da temperatura e das concentrações iônicas, sendo que, em águas continentais, os íons diretamente responsáveis pelos valores da condutividade

são, entre outros, cálcio, magnésio, potássio, sódio, carbonatos, carbonetos, sulfatos e cloretos.

Ainda que a medida da condutividade não determine quais íons estão presentes em uma amostra de água, esta variável fornece uma boa indicação das modificações na composição da água, especialmente com relação à concentração mineral, e representa uma medida indireta de impactos ambientais ocasionados na bacia de drenagem por lançamentos de resíduos industriais, mineração, esgotos, etc. Em geral, níveis superiores a 100 µS/cm indicam ambientes impactados (CESTESB, 2013).

Na Figura 5.7 estão apresentados os valores de condutividade elétrica obtidos durante as campanhas efetuadas no período de julho de 2011 a abril de 2012.

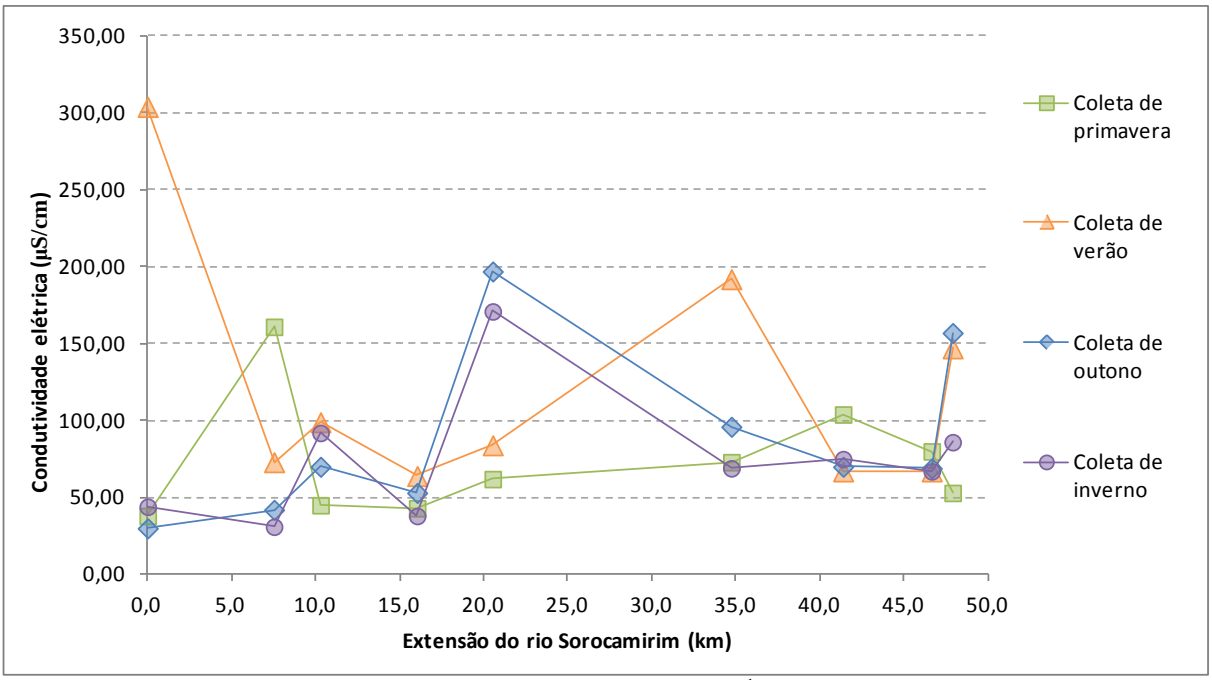

Figura 5.7 - Valores de condutividade (µS.cm^{-1}) no rio Sorocamirim

Observa-se na Figura 5.7 que tanto o menor valor quanto o maior valor de condutividade ocorreram no ponto J-01. O menor valor de condutividade foi de 30 µS.cm^{-1} e ocorreu na coleta de outono, enquanto o maior valor foi de 304 µS.cm^{-1} e ocorreu na coleta de verão.

Conforme mencionado anteriormente, valores de condutividade acima 100 µS.cm^{-1} indicam ambientes impactados, o que evidencia que o rio Sorocamirim sofre impactos em quase toda a sua extensão, uma vez que na Figura 5.7 são observados picos acima deste valor em seis, dos nove pontos de coleta estudados (J-01, J-02, J-05, J-06, J-07 e J-09).

O comportamento espacial da condutividade nas campanhas de inverno e outono resultou semelhante, com picos nos pontos J-03, J-05 e J-09. Como na coleta de primavera, coleta antecedida pela ocorrência de chuvas intensas, foram observados os menores valores de condutividade para estes mesmos pontos; apesar da relação de proporcionalidade desta variável com a quantidade de sólidos dissolvidos, os picos provavelmente estão atribuídos ao lançamento de efluentes, uma vez que os pontos J-03 e J-05 passam por áreas urbanizadas e o ponto J-09 esta localizado após o lançamento do efluente da Estação de Tratamento de Esgoto de Ibiúna.

Durante a coleta de verão, foram observados picos nos pontos J-01, J-06 e J-09. Estes picos também podem ser associados ao lançamento de efluentes, uma vez que o ponto J-01 recebe esgotos domésticos sem qualquer tipo de tratamento prévio (Figura 5.8), o ponto J-06, localizado após a entrada do ribeirão Vargem Grande, recebe todo o esgoto do município de Vargem Grande Paulista sem tratamento prévio e o ponto J-09 está localizado após o lançamento do efluente da Estação de Tratamento de Esgoto de Ibiúna.

Figura 5.8 - Foto do ponto J-01 com tubulações de lançamento de esgoto doméstico das residências localizadas na margem (29/07/2011)

A variação espacial da condutividade em função da entrada de tributários e /ou em função da entrada de efluente, industrial ou doméstico, foi observada em outros corpos de água tropicais: no ribeirão Bonito (BENASSI, 2002), rio Jacupiranguinha (MOCCELLIN, 2010), no rio Marimba (MVUNGI *et al*., 2003), no rio Odzi (JONNALAGADDA & MHERE,

2001), no rio Pardo (SILVA & SACOMANI, 2000), no rio Pariquera-Açu (MOCCELLIN, 2010) e no rio das Velhas (POMPEU *et al*., 2005).

5.1.3.5 pH

Em ecossistemas aquáticos naturais, a influência do pH pode ser direta, devido aos seus efeitos sobre a fisiologia das diversas espécies ou indireta, por afetar o equilíbrio químico, podendo contribuir para a precipitação de elementos tóxicos e/ou solubilização de nutrientes (CETESB, 2013). Desta forma, os critérios de proteção à vida aquática estabelecem restrições de faixas de pH para as diversas classes naturais, sendo que para rios de classe II a resolução CONAMA 357/2005 estabelece faixa de pH entre 6,0 e 9,0.

As variações dos valores de pH observados na água do rio Sorocamirim estão apresentadas na Figura 5.9.

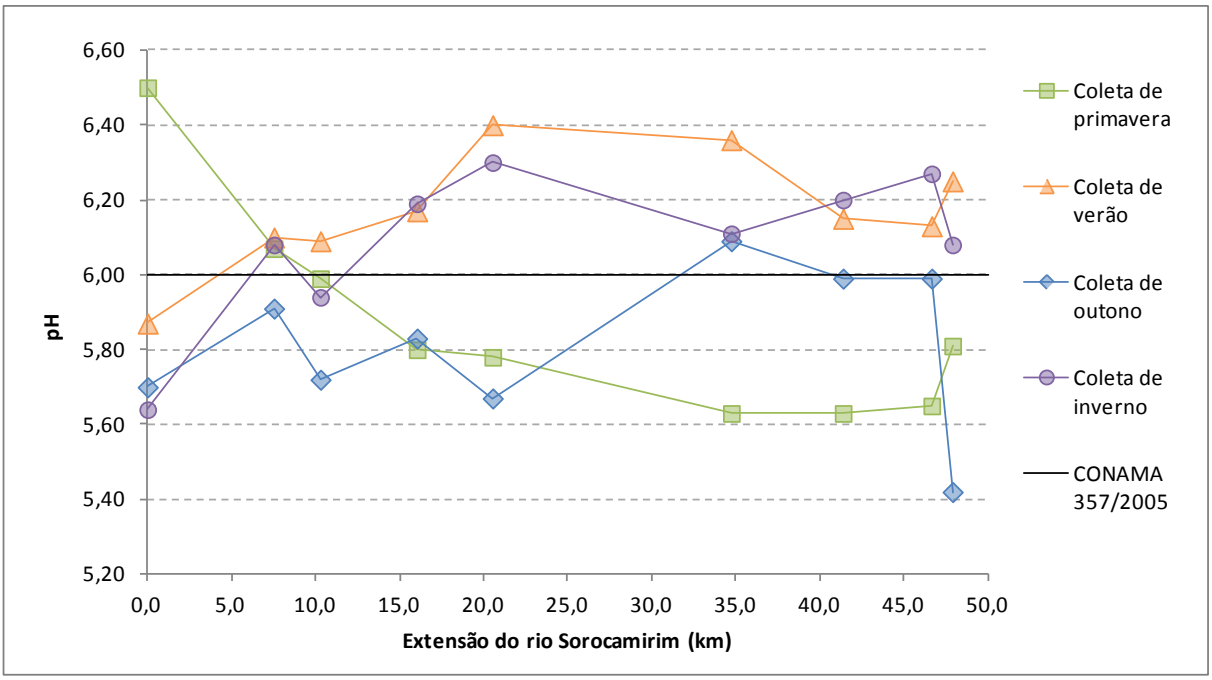

Figura 5.9 - Valores de pH no rio Sorocamirim

Na Figura 5.9 observa-se que os valores do pH resultaram variáveis entre 5,4 e 6,5, sendo que em todas as coletas ocorreram valores abaixo da faixa limite estabelecida pela resolução CONAMA 357 (2005), indicando que os valores de pH deste manancial variam entre próximos de neutros e ácidos. Este comportamento também foi observado no ribeirão do Feijão (RIOS, 1993), no rio Canha (BOTTINO, 2008), no rio Caulim (BONETO, 2007), no rio do Monjolinho (RODRÍGUEZ, 2001), no rio do Peixe (BUBEL, 1998), no rio Pariquera-Açu (MOCCELLIN, 2010) e no rio Tietê (BUBEL, 1998). MAIER[6] (1983) apud BUBEL

(1998) cita que os corpos de água brasileiros normalmente apresentam pH variando entre ácido e neutro, conforme foi observado neste estudo.

Destaca-se que os valores de pH abaixo de 6,0 ocorreram com maior frequência nas coletas de primavera e outono. Além disso, estes valores não apresentaram variação espacial semelhante nas diferentes estações, nem comportamento definido, com exceção da coleta de primavera, na qual se observa a tendência de diminuição do pH da nascente para a foz, com ligeiro aumento no valor do pH no ponto após a junção dos rios Sorocamirim, Sorocabuçu e Una.

Com relação aos pontos J-04 e J-07, nos quais é feita captação de água do rio Sorocamirim para abastecimento público, é importante ressaltar que águas com valores baixos de pH tendem a ser corrosivas ou agressivas a certos metais e paredes de concreto, enquanto águas com elevado valor de pH tendem a formar incrustações.

Além disso, o pH influencia na eficiência das etapas de coagulação e desinfecção, uma vez que, no Brasil, o principal produto utilizado para a desinfecção é o cloro, que em meio ácido tem menor dissociação do ácido hipocloroso, formando hipoclorito, sendo o processo, portanto, neste caso mais eficiente (DI BERNARDO, DANTAS & VOLTAN, 2011).

5.1.3.6 Alcalinidade

A alcalinidade representa a capacidade tampão natural do sistema aquático, ou seja, a capacidade que um sistema aquoso tem para neutralizar ácidos sem perturbar de forma extrema as atividades biológicas que nele ocorrem. A alcalinidade é devida, principalmente, à presença de carbonatos e bicarbonatos e, secundariamente, aos íons hidróxidos, silicatos, boratos, fosfatos e amônia na água.

Na Figura 5.10 estão apresentados os valores de alcalinidade obtidos no rio Sorocamirim, na qual se observa que os valores de alcalinidade variaram entre 16 e 102 $mg.L^{-1}$, sendo que o mínimo valor ocorreu na coleta de inverno, no ponto J-01, enquanto o máximo ocorreu na coleta de outono, no ponto J-06.

Com exceção da coleta de primavera, na qual os resultados de alcalinidade resultaram semelhantes ao longo da extensão do rio Sorocamirim, observa-se uma tendência de aumento desta variável da nascente para a foz, com pico no ponto J-06, após a entrada do ribeirão Vargem Grande.

Na coleta de primavera, antecedida pela ocorrência de chuvas intensas, os valores de alcalinidade resultaram baixos, variando entre 32,1 e 38,3 $mg.L^{-1}$. Este comportamento corrobora a hipótese de que após a ocorrência de chuvas fortes a capacidade tampão do meio

é baixa. Este comportamento também foi observado no rio Canha (BOTTINO, 2008) e no rio Jacupiranguinha (MOCCELIN, 2006).

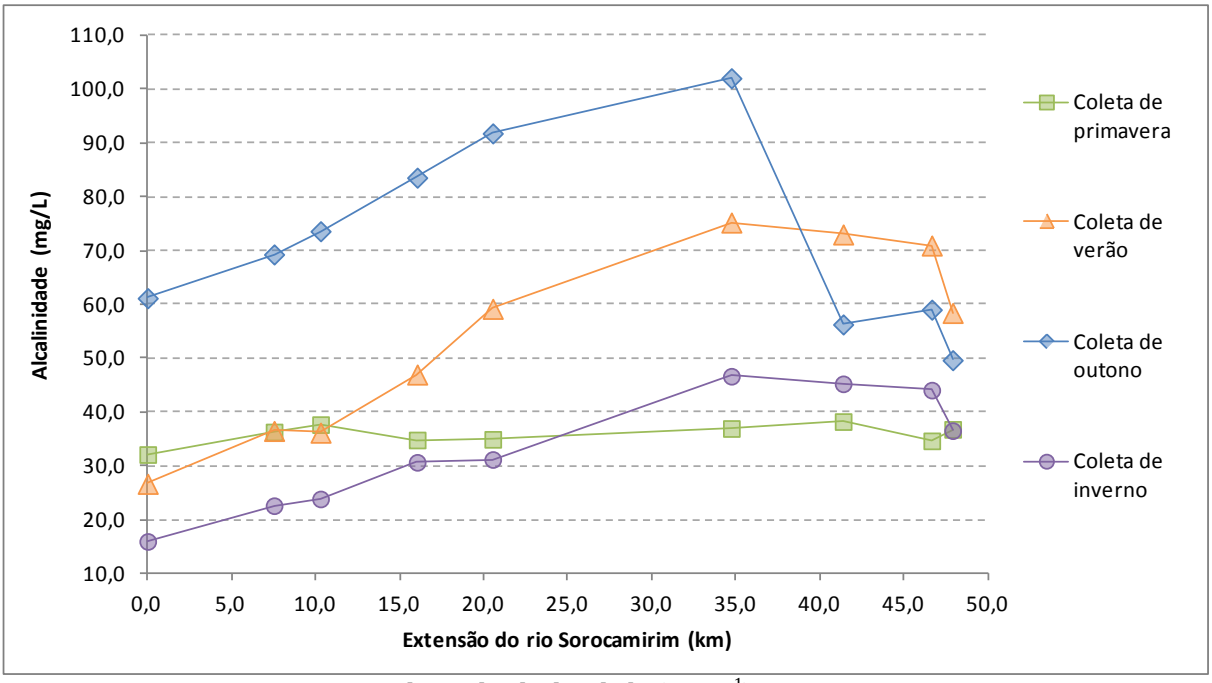

Figura 5.10 - Valores de alcalinidade ($mg.L^{-1}$) no rio Sorocamirim

Como os pontos J-04 e J07, são pontos de captação para abastecimento público, ressalta-se que quanto ao tratamento de água para consumo humano, a alcalinidade influi consideravelmente na coagulação química, uma vez que os principais coagulantes comumente utilizados no Brasil são sais de alumínio e ferro, que atuam como ácidos dipróticos em solução. Se a alcalinidade da água for baixa, poderá ser requerida a adição de um alcalinizante para ajuste do pH de coagulação mas, se por outro lado, a alcalinidade e o pH forem relativamente altos, é provável que o sulfato de alumínio não seja o coagulante indicado (DI BERNARDO & DANTAS, 2005).

5.1.3.7 Oxigênio dissolvido

O oxigênio dissolvido (OD) é uma variável extremamente importante do ponto de vista ecológico, pois é necessário para a respiração da maioria dos organismos que habitam o meio aquático e sua concentração está diretamente ligada à temperatura da água.

Para sistemas naturais, sem interferência humana, espera-se que no inverno haja maiores concentrações de OD, uma vez que as baixas temperaturas podem facilitar a dissolução dos gases. Esse padrão foi encontrado no rio Sorocamirim, rio estudado no presente trabalho, bem como no ribeirão do Feijão (RIOS, 1993), no rio Betari (DOMINGOS,

2002), no rio do Peixe (BUBEL, 1998), no rio Pariquera-Açu (MOCCELLIN, 2010) e no rio Tietê (BUBEL, 1998).

Na Figura 5.11 estão apresentadas as concentrações de OD obtidas no rio Sorocamirim durante as campanhas realizadas, na qual se observa que o comportamento espacial desta variável resultou semelhante nas coletas de verão e outono. Isso se deve ao fato de que os maiores valores de temperatura foram observados nessas coletas, sendo que tais valores também foram semelhantes.

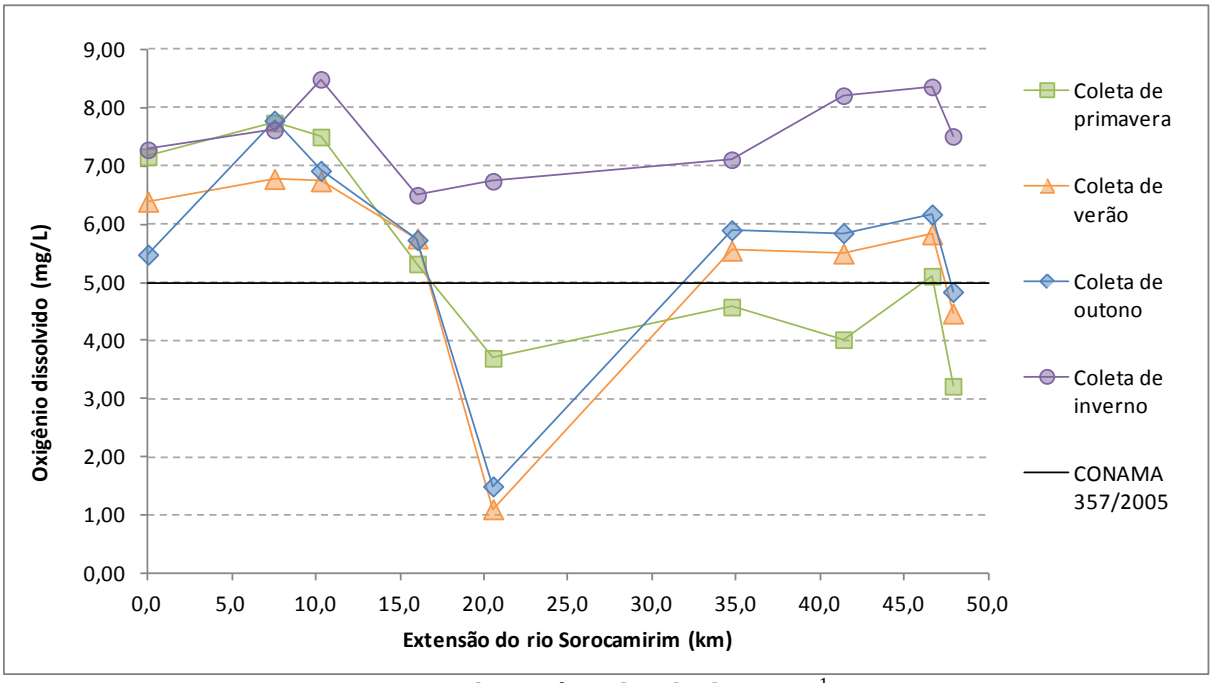

Figura 5.11 - Concentrações de oxigênio dissolvido ($mg.L^{-1}$) no rio Sorocamirim

De acordo com a Figura 5.11, no rio Sorocamirim as concentrações de OD resultaram entre 1,10 e 8,49 mg/L, sendo que nas coletas de primavera, verão e outono as concentrações apresentaram valores abaixo do limite de 5,0 $mg.L^{-1}$ estabelecido pela resolução CONAMA 357 (2005) para rio de classe II. No verão e outono, esta desconformidade só foi verificada nos pontos J-05, ponto anterior à contribuição do ribeirão Vargem Grande, e J-09, ponto após a junção deste corpo de água com os rios Sorocabuçu e Una.

Em todas as campanhas, do ponto J-08 para o J-09 ocorre a depleção desta variável. Esta depleção pode ser atribuída à entrada do efluente da Estação de Tratamento de Esgoto de Ibiúna e à influência da urbanização, além da menor declividade e maior profundidade da calha, que diminuem a taxa de reintrodução de oxigênio.

Na primavera, campanha antecedida pela ocorrência de chuvas intensas, observa-se tendência de redução da concentração de OD da nascente à foz, sendo que, a partir do ponto J-

05, as concentrações resultaram abaixo de 5,0 $mg.L^{-1}$. Como a taxa de reintrodução de oxigênio em águas naturais depende das características hidráulicas e é proporcional à velocidade e, na campanha de primavera, foram observados os maiores valores de vazão e velocidade de escoamento (item 5.1.1), eram esperadas maiores concentrações de OD. Desta forma, a concentração de sólidos suspensos pode estar interferindo nesta variável.

Segundo CALIJURI et al (1999), os sólidos suspensos inorgânicos servem de substrato para bactérias, as quais têm seu crescimento favorecido pelas maiores temperaturas que ocorrem na época de maior precipitação. Desta forma, é comum encontrar nesta época maiores concentrações de matéria orgânica, tanto devido ao "*input*" ocasionado pela precipitação quanto pelo crescimento destes microrganismos, e menor oxigenação da coluna de água.

Nas coletas de verão e outono, a depleção desta variável de qualidade dos pontos J-04 e J-05, provavelmente, esteve relacionada com a depuração da matéria orgânica e dos nutrientes (ver item 5.1.3.9). Além disso, é importante ressaltar que os valores de OD nos pontos J-03 e J-07 foram influenciados pela intensa mistura da coluna de água e reintrodução de oxigênio após os pontos J-02 e J-07, e em J-06 e J-08 pela presença de áreas alagadas.

Com relação a J-04 e J07, pontos de captação de água para abastecimento público, ressalta-se que a presença de oxigênio dissolvido, especialmente em companhia de dióxido de carbono, constitui fator importante a ser considerado na prevenção da corrosão de metais ferrosos que compõem os equipamentos e tubulações do sistema de captação e de tratamento.

5.1.3.8 Potencial redox

O potencial redox, potencial de oxidação/redução, é uma variável que mede a voltagem produzida na transferência de elétrons entre as espécies químicas que interagem em meio aquático. Quando a concentração de oxigênio dissolvido é elevada, os valores de potencial redox também o são, pois, neste caso, imperam processos de caráter oxidativo, enquanto no caso contrário, predominam os processos redutores.

Esta variável também serve para indicar poluição dos corpos de água, uma vez que as águas poluídas têm valor de potencial redox muito inferior ao das águas não poluídas, pois, possuem excesso de nutrientes oxidados. Na Figura 5.12 estão apresentados os valores de potencial redox no rio Sorocamirim durante o período de estudo.

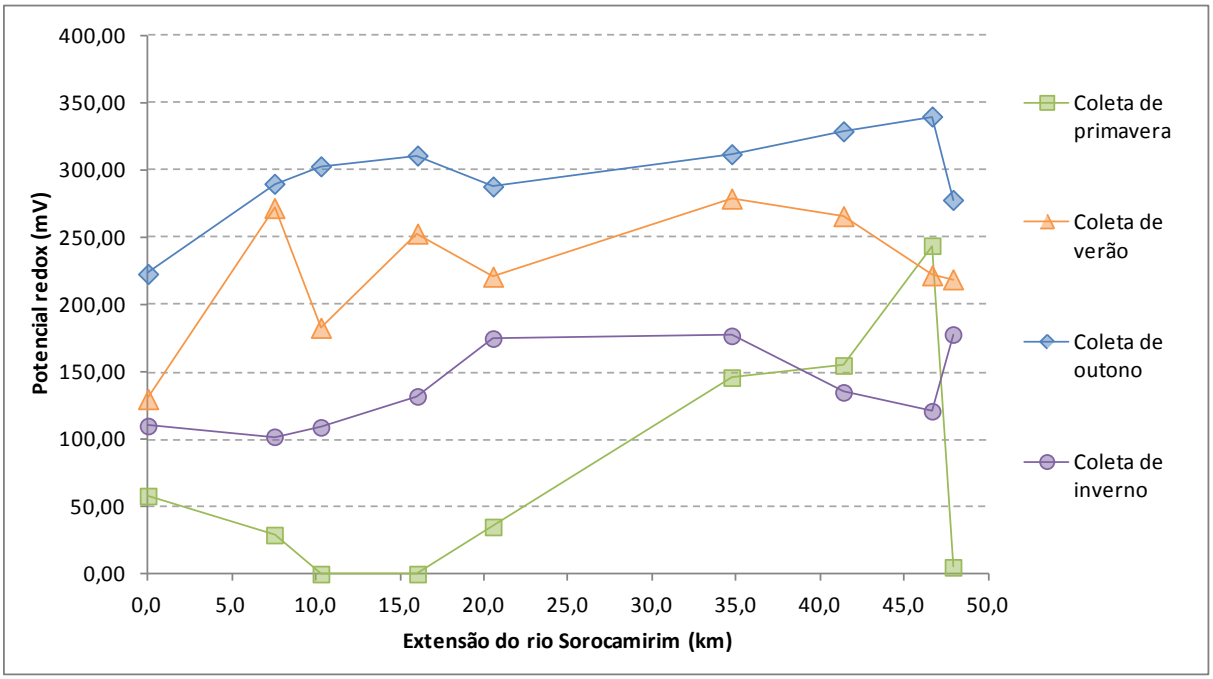

Figura 5.12 - Valores de potencial redox (mV) no rio Sorocamirim

Na Figura 5.12 observa-se que os valores de potencial redox variaram entre nulos e 340 mV. A coleta de outono foi a que apresentou os maiores valores desta variável, todos acima de 225 mV, enquanto a coleta de primavera foi a que apresentou os menores valores, com exceção dos pontos J-07 e J-08 nos quais ocorreram picos.

Assim como observado para as concentrações de oxigênio dissolvido (item 5.1.3.7), os maiores valores de potencial redox ocorreram na coleta de outono, enquanto os menores foram registrados na coleta de primavera. Além disso, ressalta-se que os baixos valores de potencial redox obtidos na coleta de primavera indicaram maior contaminação deste manancial naquela ocasião, fato corroborado pelas elevadas concentrações de nutrientes observadas para esta coleta (item 5.1.3.9, a seguir).

5.1.3.9 Nutrientes

Em ecossistemas aquáticos, o nitrogênio e o fósforo são elementos indispensáveis para o crescimento de algas, pois o nitrogênio participa na formação de moléculas de proteínas, e o fósforo também em processos metabólicos fundamentais, tais como no armazenamento de energia e na estruturação da membrana celular (ESTEVES, 1998 e VON SPERLING, 2005), entre outros (ATP, ADP, etc).

Desta forma, quando em baixas concentrações, ambos os nutrientes podem atuar como fatores limitantes da produção primária de ecossistemas aquáticos. Porém, quando em altas

concentrações, estes elementos podem conduzir a um crescimento exagerado de algas, acarretando a eutrofização artificial destes ecossistemas.

As concentrações de nitrogênio e fósforo nos corpos de água sofrem interferência significativa do uso e ocupação do solo da microbacia e de sua cobertura vegetal, sendo que em áreas dominadas pela agricultura, caso da sub-bacia do rio Sorocamirim, a concentração dos nutrientes é elevada (OSBORNE & WILEY,1988 e SOUZA & TUNDISI, 2003).

Além disso, a principal fonte de nutrientes para um sistema aquático é a entrada de cargas alóctones, tais como: esgoto doméstico e outros efluentes (MOCCELLIN, 2010).

Sendo assim, para a elaboração de diagnósticos ambientais, é importante que se façam determinações da concentração de nutrientes na água, pois, quando em altas concentrações, podem ser considerados como indicadores de poluição.

Nas Figuras 5.13, 5.14 e 5.15 estão apresentadas as concentrações de fósforo total, fósforo total dissolvido e ortofosfato no rio Sorocamirim, respectivamente. As concentrações de nitrogênio total Kjeldahl (NTK), nitrito e nitrato estão apresentadas, respectivamente, nas Figuras 5.16, 5.17 e 5.18.

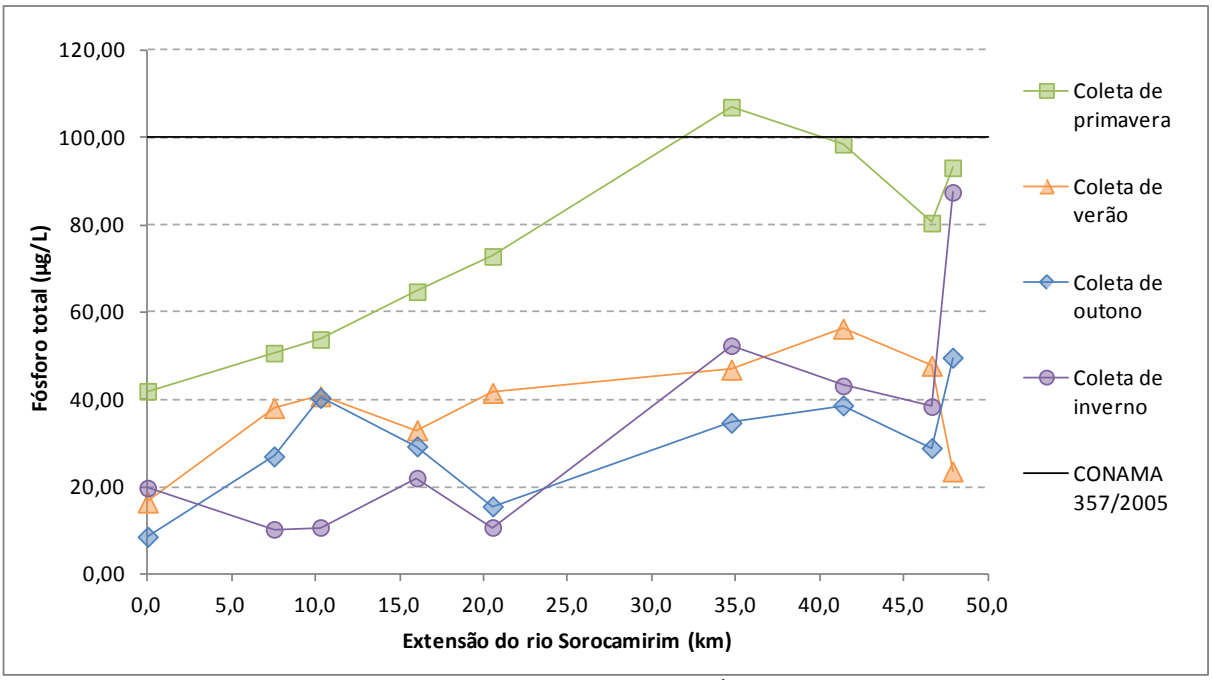

Figura 5.13 - Concentração de fósforo total (µg.L^{-1}) na água do rio Sorocamirim

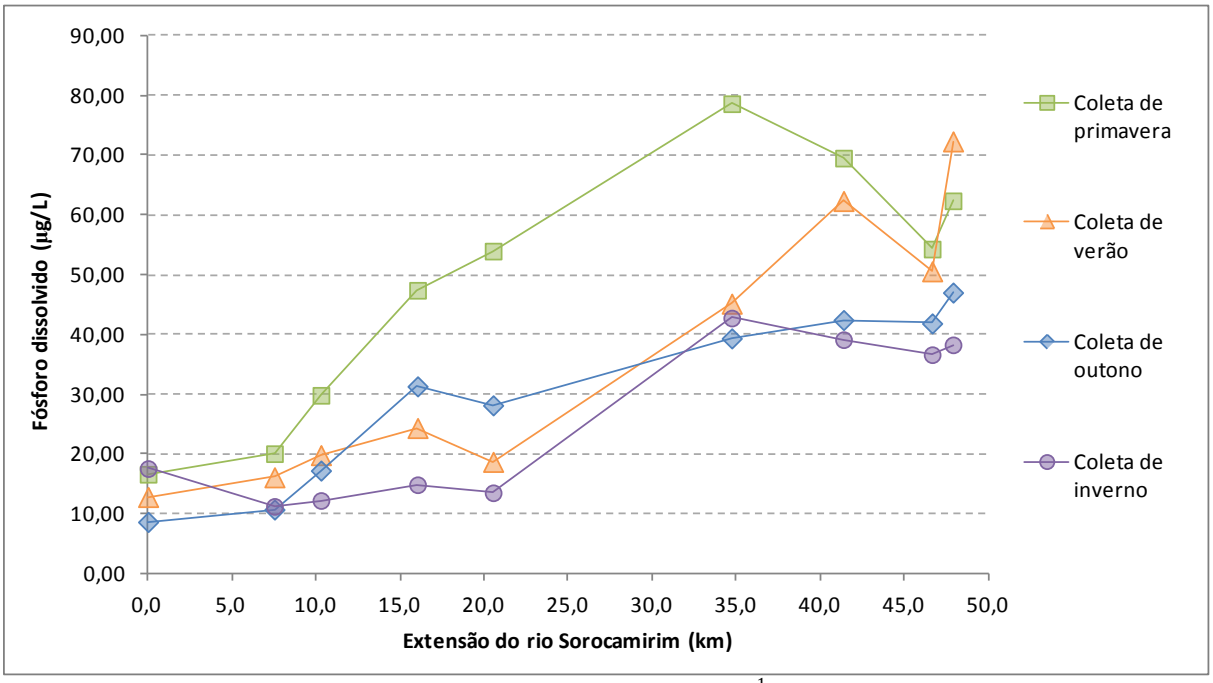

Figura 5.14 - Concentração de fósforo dissolvido (µg.L^{-1}) na água do rio Sorocamirim

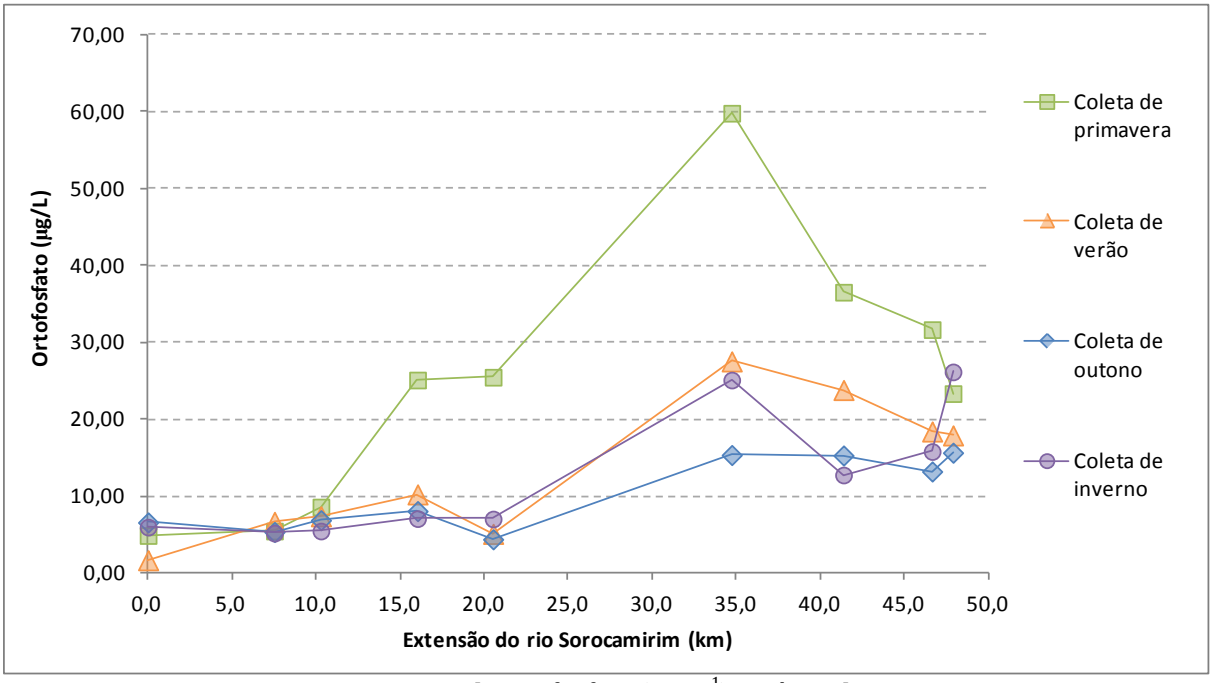

Figura 5.15 - Concentração de ortofosfato (µg.L^{-1}) na água do rio Sorocamirim

No rio Sorocamirim, a concentração de fósforo total variou entre 8,65 e 107,01 µg.L^{-1}, sendo que a menor concentração ocorreu na coleta de outono no ponto J-01, na cabeceira do rio e adotado como nascente do mesmo, enquanto a maior concentração ocorreu na coleta de primavera no ponto J-06, após a contribuição do ribeirão Vargem Grande, principal tributário deste manancial.

Observa-se na Figura 5.13 que, espacialmente, não é possível identificar um comportamento definido desta variável. Porém, quanto ao comportamento sazonal, verifica-se que para todas as formas de fósforo estudadas, os maiores valores de concentração foram observados no período de chuva (coleta de primavera). Este comportamento indica que, no rio Sorocamirim, a maior contribuição para o aumento das concentrações de fósforo é o escoamento superficial, provavelmente devido à intensa atividade agrícola na região. Porém, é importante destacar que a entrada de efluentes também é significativa, sendo que os picos observados nas concentrações de fósforo desta coleta ocorreram nos pontos J-06 e J-09, pontos após a entrada de efluentes domésticos sem e com tratamento prévio, respectivamente.

No rio Bangkapong (BORDALO *et al*., 2001), na Tailândia, foi verificado comportamento similar, com diferença sazonal clara nas concentrações de fósforo e as maiores concentrações no período chuvoso.

Na coleta de inverno, coleta representativa do período de estiagem, foram observados picos nas concentrações de fósforo total nos pontos J-01, J-03, J-06 e J-09, sendo que nos pontos J-01, J-06 e J-09 as concentrações resultaram abaixo apenas das observadas na coleta de primavera. Este comportamento corrobora que, apesar desta variável sofrer maior influência do escoamento superficial, a entrada de efluentes também é significativa com relação às concentrações de fósforo.

No rio Pardo (SILVA & SACOMANI, 2000) também foi observada a influência do esgoto e do uso de fertilizantes nas concentrações de fósforo, que passaram de 0,50 $mg.L^{-1}$ para aproximadamente 8,0 $mg.L^{-1}$ de fosfato, em média, no ponto que recebe o efluente da ETE do município e que está inserido em área de agricultura.

No rio Pariquera-Açu (MOCCELIN, 2010) também foi observado o mesmo comportamento, com aumento das concentrações de cinco a seis vezes em relação às estações à montante da área urbana e da entrada do efluente da estação de tratamento de esgotos.

A resolução CONAMA 357/05 determina que a concentração de fósforo total não deve exceder 100 µg/L para rios de classe I e II. Na Figura 5.13, observa-se que este limite só foi excedido no ponto J-06, na coleta de primavera.

Assim como observado para o fósforo total, as maiores concentrações de fósforo total dissolvido (Figura 5.14) e de ortofosfato (Figura 5.15) ocorreram no ponto J-06, na primavera, com valores de 78,61 e 59,82 $\mu g.L^{-1}$, respectivamente. As menores concentrações destas variáveis também ocorreram em J-01, na nascente, porém, em coletas diferentes, sendo que a concentração de fósforo total dissolvido foi de 8,71 $\mu g.L^{-1}$ e a de ortofosfato foi de 1,69 $\mu g.L^{-1}$.

Com exceção da coleta de primavera, ou precedida pela ocorrência de chuvas intensas, observa-se, nas Figuras 5.14 e 5.15, que as concentrações de fósforo total dissolvido e ortofostato apresentam tendência de redução do ponto J-04 para o Ponto J-05 e do ponto J-06 para o ponto J-08. Esta tendência pode ser atribuída à presença de áreas alagadas, uma vez que estas funcionam como filtros que retêm nutrientes, principalmente fósforo e nitrogênio (TUNDISI & MATSUMARA-TUNDISI, 2008).

Outra tendência observada é o aumento das concentrações do ponto J-08 para o ponto J-09, esta atribuída à influência dos demais rios formadores do rio Sorocaba (rio Sorocabuçu e rio Una) e/ou lançamento do efluente da Estação de Tratamento de Esgoto do município de Ibiúna.

Com relação à presença de nitrogênio no rio Sorocamirim, na Figura 5.16 observa-se que, na coleta de verão, a concentração de NTK resultou nula em J-08, enquanto que o ponto J-01 apresentou, na coleta de primavera, a maior concentração desta variável (0,165 mg.L^{-1}). Ressalta-se que no rio Sorocamirim as concentrações de NTK não apresentam comportamento definido, nem espacial e nem temporalmente.

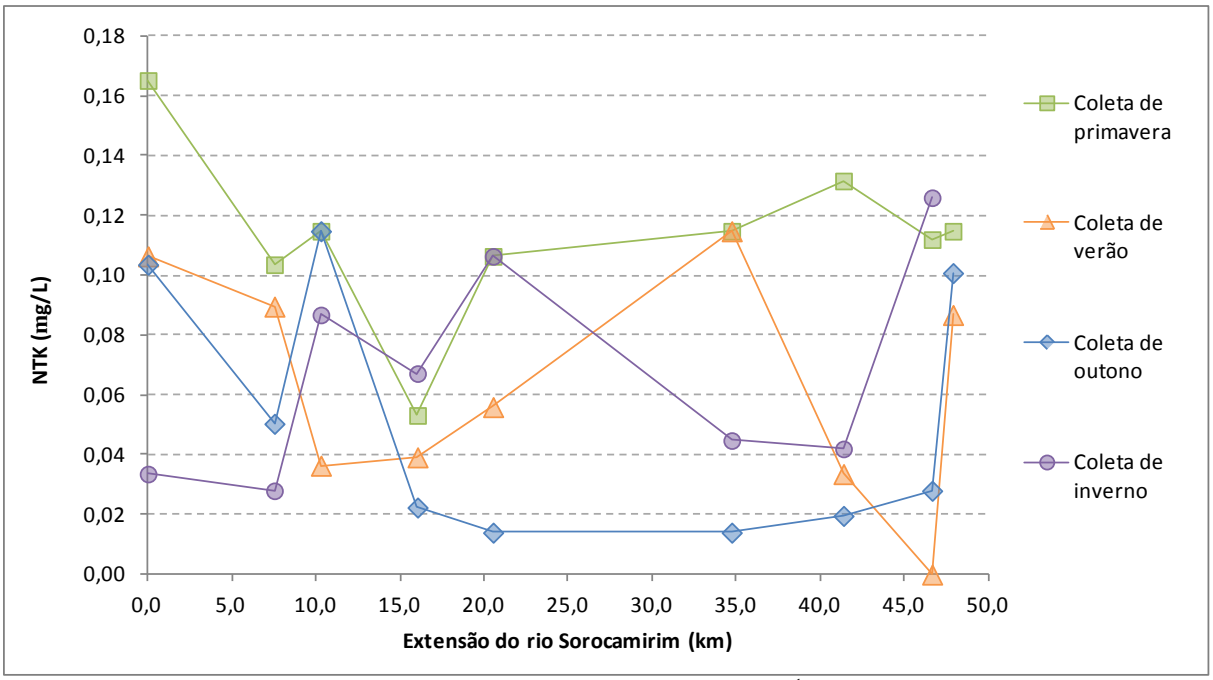

Figura 5.16 - Concentração de nitrogênio total Kjeldahl (mg.L^{-1}) na água do rio Sorocamirim

As concentrações de nitrito variaram de 0,21 a 79,20 µg.L^{-1} no rio Sorocamirim, sendo que o menor valor ocorreu no ponto J-01, na coleta de verão, e o maior ocorreu em J-06, na coleta de inverno. Ressalta-se que, em altas concentrações, como as obsevadas na coleta de

inverno, a partir do ponto J-06, o nitrito é extremamente tóxico à maioria dos organismos aquáticos (ESTEVES, 1988).

A presença de elevadas concentrações de nitrito em água indica processos biológicos ativos influenciados por poluição orgânica. Como é resultado da decomposição biológica, devido à ação de microrganismos sobre o nitrogênio amoniacal, as elevadas concentrações observadas na coleta de inverno, a partir do Ponto J-06, indicam que a fonte de matéria orgânica presente na água encontra-se a pouca distância do ponto onde foi feita a amostragem para análise.

Esta suposição é corroborada pelo controle de qualidade da captação da SABESP, localizada à jusante do ponto de amostragem J-07, que informou a ocorrência, no mês de julho de 2011, de contaminação significativa da água do rio Sorocamirim com insumos agrícolas.

Apesar da SABESP não ter informado quando a contaminação com insumos agrícolas ocorreu, através das concentrações das formas de nitrogênio pode-se estimar a proximidade temporal da coleta com o evento de contaminação. Segundo von Sperling (2005), em um corpo de água, a determinação da forma predominante de nitrogênio pode fornecer informações sobre o estágio da poluição. Se a poluição é recente, o nitrogênio estará basicamente na forma de nitrogênio orgânico ou amônia e, se antiga, basicamente na de nitratos. Como o nitrito é uma forma transitória (sendo rapidamente oxidado a nitrato) e as concentrações de nitrato são baixas (Figura 5.17), pode se dizer que a contaminação ocorreu no período que antecedeu a coleta.

Mesmo considerando os valores elevados observados na coleta de inverno, decorrentes de contaminação com insumos agrícolas, verifica-se que os valores de nitrito resultaram abaixo de 1,0 $mg.L^{-1}$, limite estabelecido pela resolução CONAMA 357/2005 para rios de classe II.

No córrego da Água Branca (MATSUBARA, 2013) também foram verificadas concentrações elevadas de nitrito, com concentração média de 74,74 $\mu g.L^{-1}$ e concentrações acima de 90 $\mu g.L^{-1}$ nas coletas de outono, inverno e primavera. Neste manancial, os valores elevados de nitrito também estiveram associados à poluição orgânica, no caso, o lançamento do esgoto da cidade de Itirapina.

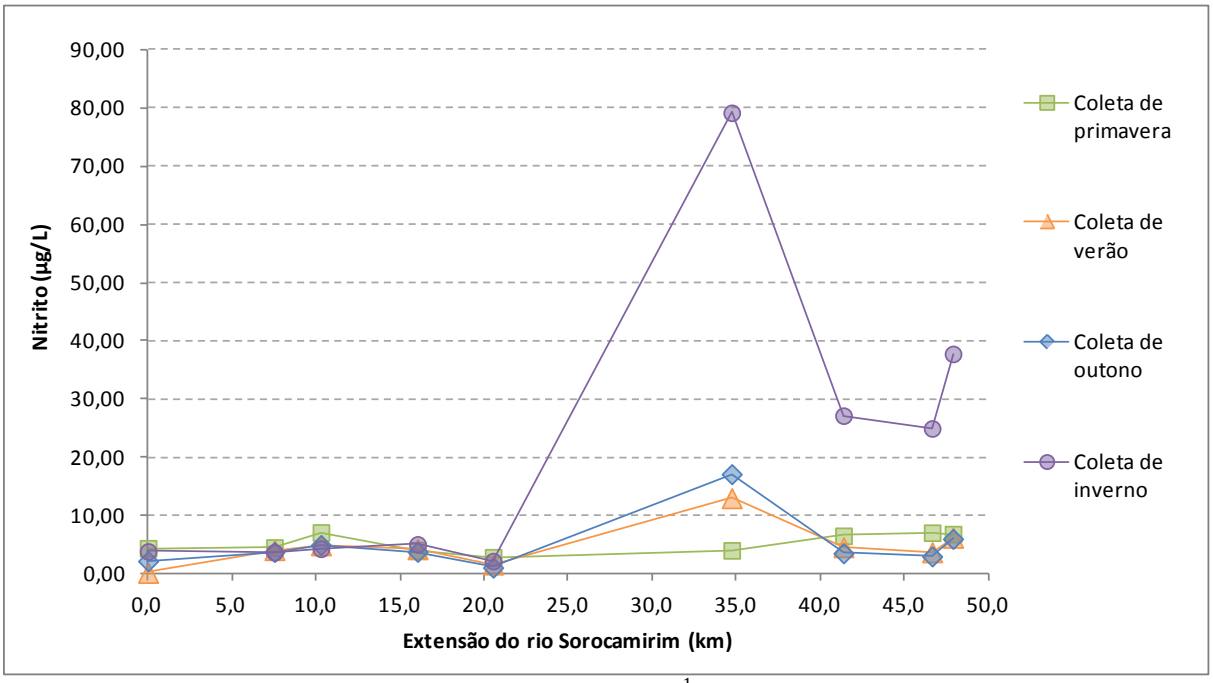

Figura 5.17 - Concentração de nitrito (µg.L^{-1}) na água do rio Sorocamirim

Na Figura 5.17 observa-se que as concentrações de nitrato no rio Sorocamirim variaram entre 0,44 e 2,22 mg.L^{-1}, sendo a menor observada no ponto J-01, no verão, enquanto a maior ocorreu no ponto J-06, no inverno.

Quanto ao comportamento deste nutriente, nas coletas de verão e outono este foi similar tanto espacialmente quanto sazonalmente, com valores similares e com mesmas tendências de aumento e redução ao longo do eixo longitudinal, e menores concentrações na nascente (ponto J-01) e no ponto J-05. As baixas concentrações de nitrato, no ponto J-05, podem estar associadas à presença de área alagada que, conforme mencionado anteriormente, funciona como filtro que retêm nutrientes, principalmente fósforo e nitrogênio (TUNDISI & MATSUMARA-TUNDISI, 2008).

O rio Sorocamirim apresentou concentrações de nitrato muito abaixo de 10 mg.L^{-1}, valor limite estabelecido pela resolução CONAMA 357/2005 para rios de classe II. Porém, segundo CÂMARA, LIMA & ZÁKIA (2006), os níveis naturais de nitrato em águas superficiais normalmente não excedem 0,1 mg.L^{-1}, concentração muito abaixo das observadas neste manancial. Porém, segundo os autores supracitados, este comportamento se deve ao fato de que este manancial esta situado em uma sub-bacia na qual prevalecem atividades agrícolas, sendo que o uso de fertilizantes inorgânicos à base de nitrato pode elevar suas concentrações nos sistemas aquáticos.

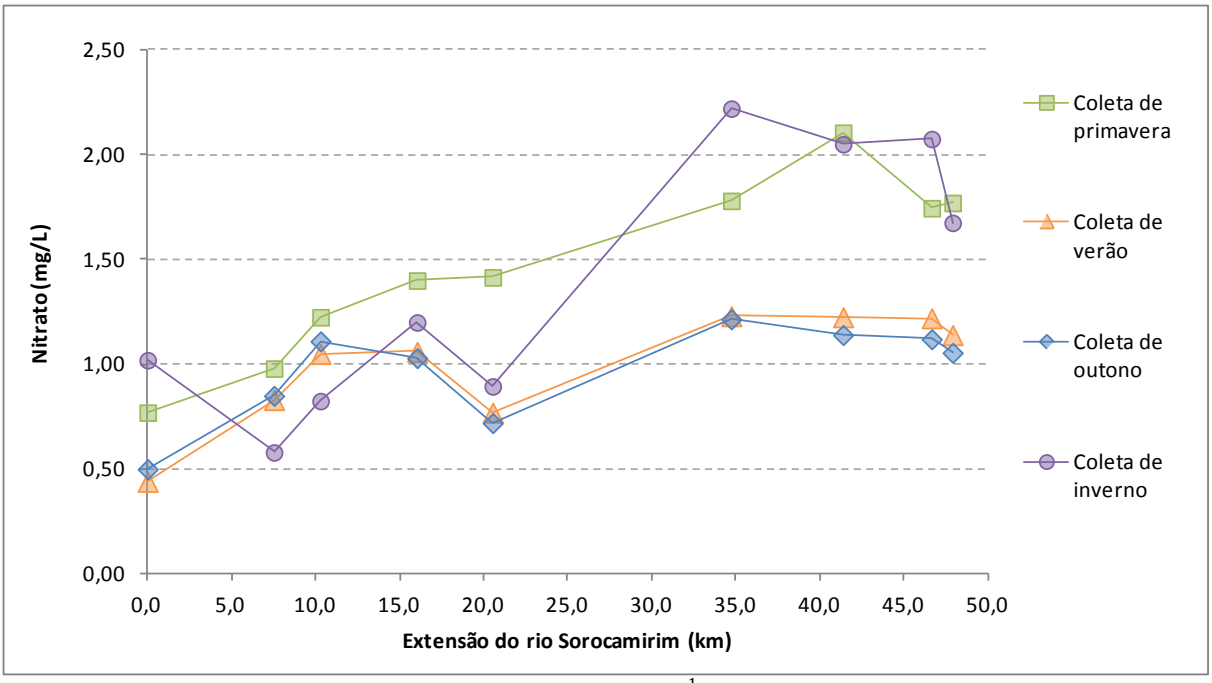

Figura 5.18 - Concentração de nitrato ($mg.L^{-1}$) na água do rio Sorocamirim

Com relação ao uso da água deste manancial para abastecimento público é importante destacar os seguintes aspectos:

- a existência de compostos amoniacais orgânicos pode dar origem, quando o cloro é usado como desinfetante ou oxidante, à cloraminas orgânicas, reduzindo o poder de desinfecção; e
- concentrações elevadas de nutrientes em corpos de água podem acarretar na eutrofização artificial, prejudicando seriamente o abastecimento público, pois alem de encarecerem significativamente os custos do tratamento de água, a floração de algas pode gerar toxinas que ocasionam danos a saúde humana, ou até mesmo a morte.

5.1.3.10 Carbono orgânico total e carbono inorgânico

O carbono é um elemento químico que está presente na constituição dos seres vivos e de todos os compostos orgânicos. O carbono orgânico total (COT) é uma medida direta da matéria orgânica carbonácea existente numa amostra líquida de água ou de efluentes sanitários ou industriais, sem oferecer distinção quanto à biodegradabilidade desta. A quantificação de COT é um bom indicador do grau de poluição de um corpo de água, por estar intimamente relacionado com a matéria orgânica existente nos meios hídricos, uma vez que ao oxidar-se este carbono consome o oxigênio dissolvido na água.

As concentrações de carbono total (CT) no rio Sorocamirim estão apresentadas na Figura 5.19, na qual se observa que as maiores concentrações ocorreram durante a coleta de verão.

De modo geral se observam dois comportamentos distintos desta variável, um espacial e um temporal. Espacialmente, observa-se tendência de aumento da concentração de CT da nascente para a foz, enquanto temporalmente se observa tendência de aumento das concentrações do inverno para o verão.

Este comportamento temporal pode ser atribuído ao aumento do consumo de água que ocorre do inverno para o verão e, consequentemente, da geração de efluentes domésticos, que, em grande parte, são lançados no corpo de água sem qualquer tratamento prévio.

O comportamento do CT da coleta de primavera acabou sendo similar ao comportamento observado na coleta de inverno, pois, ainda que ocorra maior entrada de matéria orgânica no corpo de água nesta época do ano, no período que antecedeu a coleta ocorreram chuvas com grande intensidade, que resultaram no aumento significativo da vazão do rio Sorocamirim e da capacidade de diluição do mesmo, acarretando concentrações mais baixas.

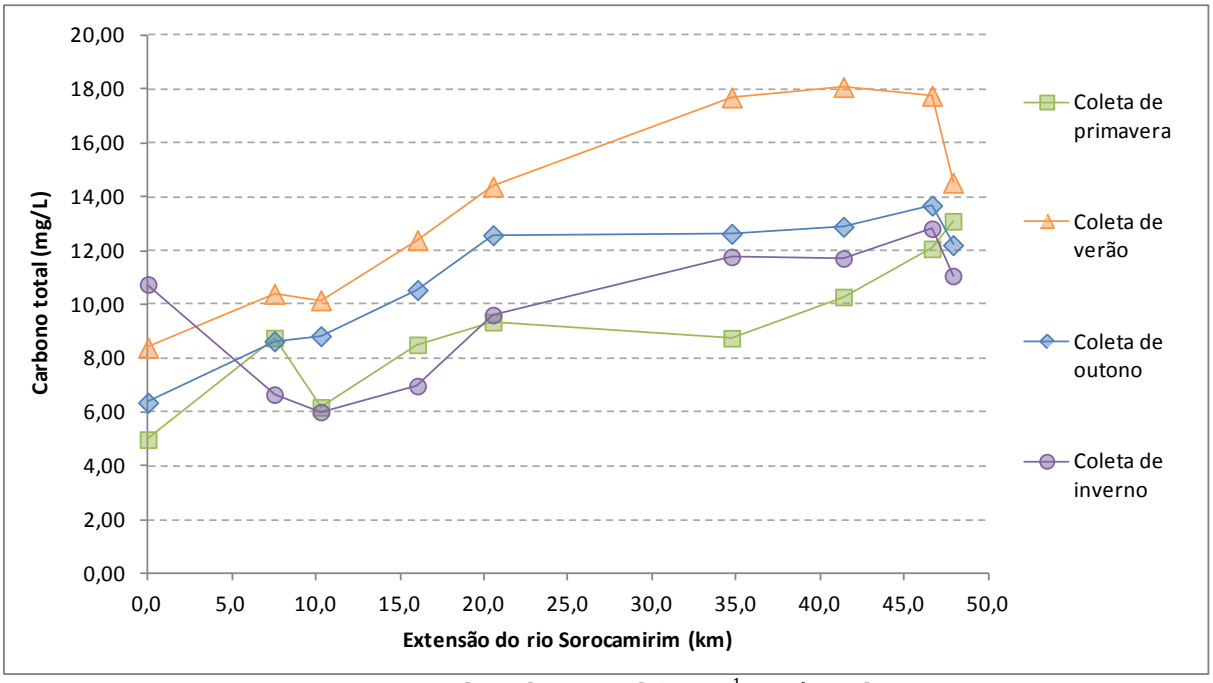

Figura 5.19 - Concentrações de carbono total ($mg.L^{-1}$) na água do rio Sorocamirim

Ressalta-se que não se pode estabelecer um comportamento para o ponto J-09, que ora tende aumentar e ora tende a diminuir, pois este ponto já esta localizado no rio Sorocaba, após a confluência dos rios Sorocamirim, Sorocabuçu e Una, dependendo, portanto, do

conhecimento das características de todos estes mananciais para que se possa fazer uma adequada avaliação.

Na Figura 5.20 estão apresentadas as parcelas de carbono orgânico total (COT) e carbono inorgânico (IC) das concentrações de carbono total medidas no período de estudo, na qual se observa que as concentrações de COT variaram entre 2,26 e 11,40 $mg.L^{-1}$ no rio Sorocamirim, sendo que às maiores concentrações de COT ocorreram na coleta de primavera, fato atribuído às precipitações que a antecederam, carreando compostos orgânicos como o ácido húmico, insumos agrícolas e solventes, entre outros.

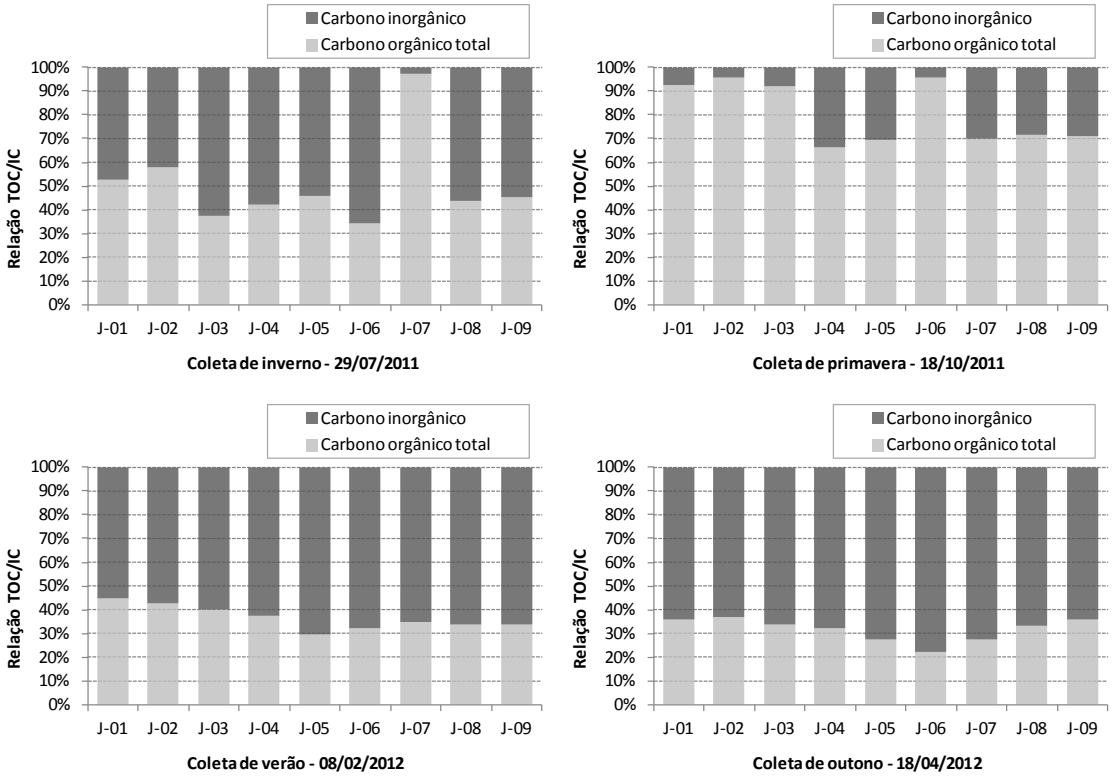

Figura 5.20 - Relação entre carbono orgânico total e carbono inorgânico (%) na água do rio Sorocamirim durante as coletas (2011/2012)

No rio Monjolinho (RODRÍGUEZ, 2001), as concentrações de carbono foram determinadas apenas no período de chuvas. Neste período as concentrações de CT variaram 2,34 a 6,83 mg/L, que assim como observado para o rio Sorocamirim, aumentaram da nascente para a foz. Porém, com relação às parcelas de carbono orgânico e inorgânico, o comportamento foi contrário, com a predominância da parcela inorgânica, que resultou de 76,6 a 91,8 %.

5.1.3.11 Análise estatística das variáveis físicas e químicas da água

Para estabelecer a diferenciação entre os pontos de amostragem e os períodos de coleta investigados foi utilizada a Análise de Componentes Principais (PCA), com os dados previamente transformados em Log (x+1), visando linearizar as relações e reduzir a dimensionalidade.

A PCA de todos os dados físicos e químicos referentes à qualidade da água do rio Sorocamirim mostra boa correlação entre os dados e permite separação inicial em grupos menores, para uma análise mais focada. Os resultados desta análise estão apresentados na Tabela 5.5 e na Figura 5.21.

Graficamente, a PCA pode ser descrita como uma rotação de vários pontos de dados em um espaço multidimensional, de forma que o eixo que explica a maior variação é sempre o primeiro eixo da PCA; o segundo eixo explica a segunda maior parte, e assim sucessivamente.

Na Figura 5.21 observa-se que, na coleta de primavera, o comportamento das variáveis físicas e químicas da água do rio Sorocamirim apresentou maior correlação entre os diferentes pontos de amostragem. Além disso, de maneira geral, verificam-se comportamentos distintos das variáveis nos pontos de amostragem de alto a médio curso e nos de médio a baixo curso.

Tabela 5.5 - Valores dos componentes principais e fatores de explicação das variáveis físicas e químicas da água do rio Sorocamirm durante o período de estudo

Variáveis	**Componente principal I**	**Componente principal II**	**Componente principal III**
Temperatura	0,0349	0,0013	0,0885
Turbidez	-0,2714	-0,1236	0,3301
Sólidos suspensos totais	-0,1564	-0,0991	0,5021
Sólidos suspensos orgânicos	-0,0204	-0,0602	0,2984
Sólidos suspensos inorgânicos	-0,2034	-0,0984	0,5663
Condutividade	0,1084	0,0342	0,0604
pH	0,0014	-0,0014	0,0044
Alcalinidade	0,0945	0,0796	0,1792
Oxigênio dissolvido	-0,0154	-0,0145	-0,0501
Potencial redox	0,8474	0,0422	0,3125
Fósforo total	-0,1685	0,3873	0,2439
Fósforo total dissolvido	-0,0524	0,4420	0,0687
Ortofosfato	-0,0538	0,5433	0,0010
NTK	-0,0091	0,0041	0,0074
Nitrito	-0,0249	0,4909	-0,0081
Nitrato	-0,0283	0,1526	-0,0028
Carbono total	0,0741	0,1407	0,0540
Carbono orgânico total	-0,0804	0,1510	-0,0255
Carbono inorgânico	0,2691	0,0686	0,1326
Porcentagem da variância explicada	40,08%	21,50%	15,41%
Total da variância explicada		76,98 %	

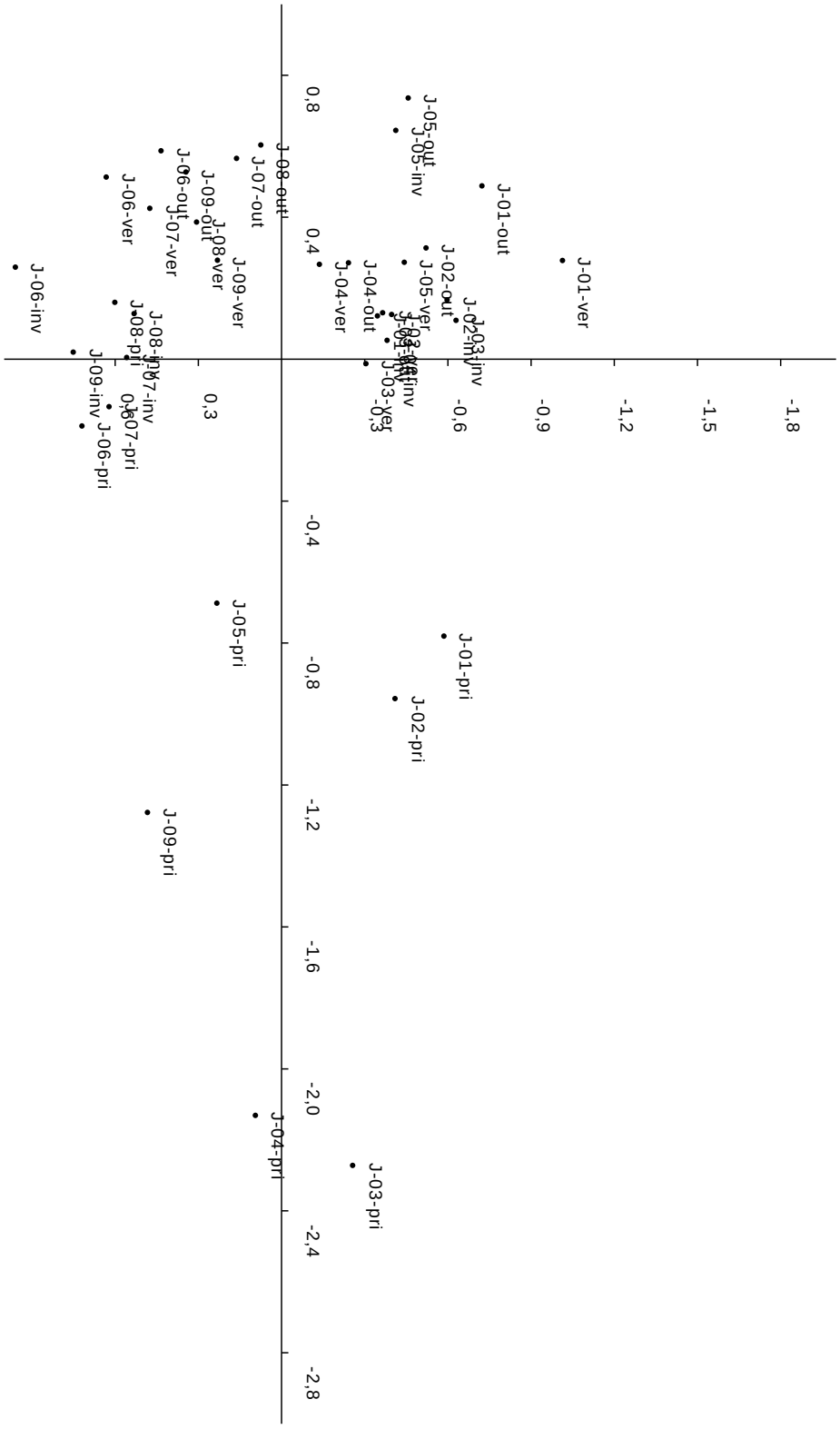

Figura 5.21 - Gráfico da PCA sobre variáveis físicas e químicas da água do rio Sorocamirim considerando os dois principais componentes

Como a PCA teve seus três principais componentes explicando 76,98 % da variância total dos dados, foi possível a utilização da análise de agrupamentos (Cluster) para uma melhor análise das correlações. O resultado da análise de agrupamentos está apresentado na Figura 5.22.

Para o dendograma formado com os valores dos três principais componentes da PCA em todos os pontos de amostragem, o coeficiente de correlação cofenético (CCC), que nada mais é do que a associação entre os objetos reconstituídos a partir do dendrograma, resultou em 0,781, valor que indica que o dendrograma fornece representação razoável da matriz de parecença original.

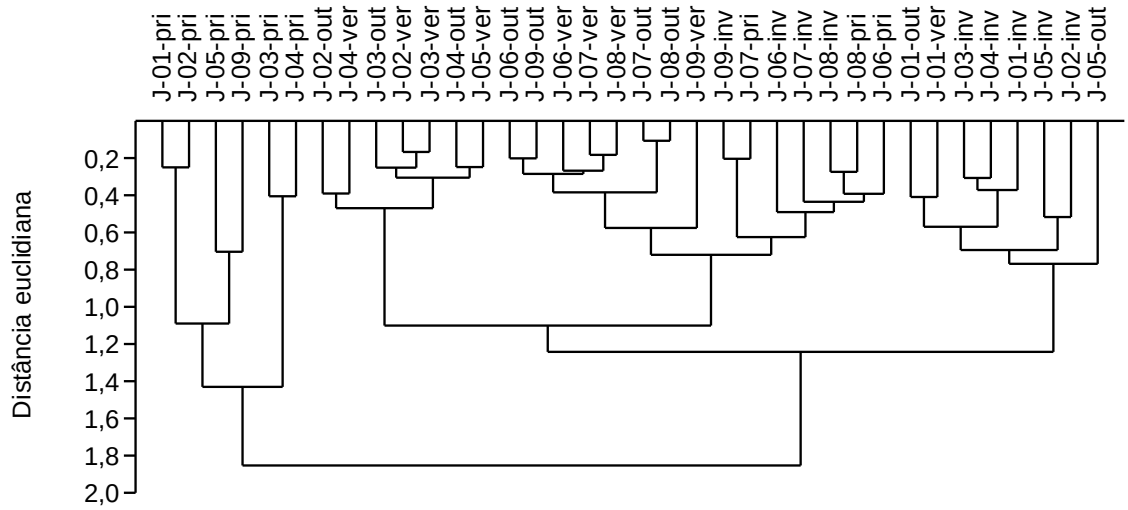

Figura 5.22 - Dendrograma obtido a partir da PCA feita com os dados das variáveis físicas e químicas da água durante o período de estudo (julho de 2011/abril de 2012)

Na Figura 5.22, adotando-se a distância euclidiana de 0,8, verifica-se a formação de seis grupos. Os primeiros três grupos correspondem a seis pontos de amostragem da coleta de primavera, sendo primeiro formado pelos pontos de cabeceira (J-01 e J-02), o segundo pelos pontos J-05 e J09 e o terceiro pelos pontos intermediários entre alto e médio curso (J-03 a J-04). Nos três grupos restantes verifica-se nítida diferenciação espacial do comportamento das variáveis, com os pontos J-06 a J-09 de todas as coletas, com exceção do ponto J-09 da coleta de primavera, em um único grupo (quinto grupo). Com relação aos pontos J-01 e J-05, verifica-se também diferenciação sazonal, com predominância da coleta de inverno no sexto grupo.

Devido à tendência de organização sazonal observada na Figura 5.22, foram efetuados estudos estatísticas das variáveis físicas e químicas da água do rio Sorocamirim em cada

coleta. Sendo assim, da mesma forma como foi feito para todas as amostras de todos os períodos de coleta, para cada período realizou-se uma PCA e as variáveis comuns principais foram selecionadas para então realizar a análise de agrupamento (Cluster).

Os resultados da PCA e o coeficiente CCC de cada análise de agrupamento estão apresentados na Tabela 5.6, na qual se observa que, para todas as campanhas, a PCA obteve elevada porcentagem da variância total explicada pelos três primeiros componentes, apresentando valores de porcentagem entre 81,32 e 87,34 %. Na análise de agrupamento (Cluster), foram observados elevados coeficientes CCC nas coletas de inverno, verão e outono, indicando que o coeficiente CCC da coleta de primavera foi o principal responsável pelo coeficiente CCC do dendograma de todas as coletas ter resultado abaixo de 0,800.

Tabela 5.6 - Total da variância explicada pelos três principais componentes da PCA e valores dos coeficientes CCC da análise de agrupamento (Cluster)

Coleta	**Total da variância explicada (três principais componentes da PCA)**	**Coeficiente CCC da análise de agrupamento**
Coleta de inverno (29/07/2011)	87,34 %	0,967
Coleta de primavera (18/10/2011)	84,93%	0,760
Coleta de verão (08/02/2012)	81,32 %	0,910
Coleta de outono 18/04/2012)	87,24 %	0,957

Na Figura 5.23 estão apresentados os dendogramas obtidos para cada coleta realizada. Considerando a distância euclidiana de 1,0 para a análise de todos os dendogramas, verifica-se a formação de três grupos na coleta de outono, quatro grupos nas coletas de inverno, e verão e cinco grupos na coleta de primavera.

Na coleta de inverno, verifica-se que o primeiro grupo é formado apenas pelo ponto J-04, ponto que apresentou maior valor de turbidez e menor concentração de OD, enquanto o segundo grupo é formado pelos pontos J03, J-05, J-07 e J-09.

O terceiro grupo da coleta de inverno é formado pelos pontos J-06 e J-08, pontos que apresentaram valores similares de caracterizado turbidez, sólidos suspensos, condutividade, pH, alcalinidade, nitrato e das formas de carbono. Os pontos J-01 e J-02, pontos da cabeceira do manancial, formam o quarto grupo.

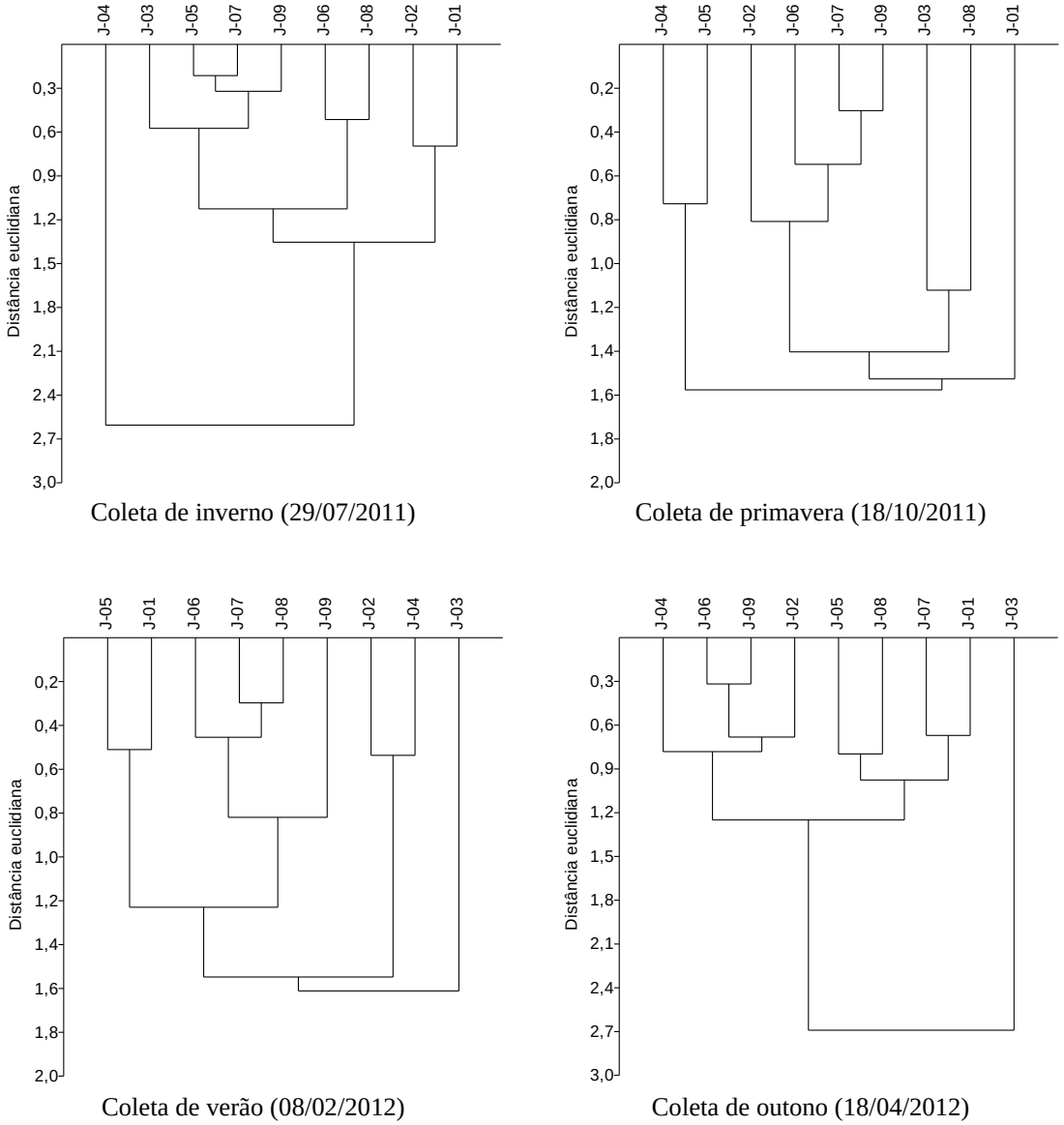

Figura 5.23 - Dendrogramas das diferentes coletas obtidos a partir da PCA feita com os dados das variáveis físicas e químicas da água do rio Sorocamirim

A coleta de primavera foi a que mostrou a maior formação de grupos, o que indica que, espacialmente, nesta coleta não foram verificadas boas correlações entre as diferentes variáveis. São observados cinco agrupamentos, sendo o primeiro formado pelos pontos J-04 e J-05, o segundo pelos pontos J-02, J-06, J-07 e J-09, o terceiro pelo ponto J-03, o quarto pelo ponto J-08 e o quinto pelo ponto J-01.

É importante ressaltar que somente na primavera o ponto J-01 ficou em grupo isolado. Isso provavelmente decorre do maior impacto sofrido por este ponto na coleta em questão, devido à ocorrência de chuvas intensas no período que antecedeu a mesma.

No verão, coleta composta por quatro agrupamentos, o primeiro grupo foi formado pelos pontos J-01 e J-05. O segundo grupo, formado pelos pontos J-06, J-07, J-08 e J-09, foi

caracterizado pelos menores valores de turbidez e pelas maiores concentrações de fósforo total dissolvido, ortofosfato, nitrato e carbono total. O terceiro grupo foi formado pelos pontos J-02 e J-04, enquanto o quarto grupo apenas pelo ponto J-03.

Na coleta de outono foi observada a formação de apenas três agrupamentos, sendo o primeiro grupo, caracterizado pelas elevadas concentrações de nutrientes, formado pelos pontos J-02, J-04, J-06 e J-09, o segundo pelos pontos J-01, J-05, J-07 e J-08, e o terceiro apenas pelo ponto J-03. O ponto J-03 foi o ponto que apresentou maiores valores de turbidez e sólidos totais nesta coleta.

5.1.4 Variáveis biológicas da água

A concentração de clorofila a é utilizada para expressar a biomassa fitoplanctônica, uma vez que está presente em todas as algas planctônicas e representa, aproximadamente, de 1 a 2 % do peso do material orgânico. Assim, a clorofila a é considerada a principal variável biológica indicadora de estado trófico dos ambientes aquáticos (CETESB, 2013).

A feofitina é um produto da degradação da clorofila a, que pode interferir grandemente nas medidas deste pigmento, por absorver luz na mesma região do espectro que a clorofila a. Assim o resultado de clorofila a aqui apresentado foi corrigido e não inclui a concentração de feofitina.

Nas Figuras 5.24 e 5.25 estão apresentadas as concentrações de clorofila e feofitina encontradas no rio Sorocamirim, durante as campanhas realizadas de julho de 2011 a abril de 2012.

De acordo com a Figura 5.24, em nenhuma campanha foram observados valores de clorofila a acima do limite de 30 $\mu g.L^{-1}$ estabelecido pelo CONAMA 357/2005 para rios de classe II, ainda que na campanha de inverno a máxima concentração determinada tenha resultado próxima deste limite (29,6 $\mu g.L^{-1}$ no ponto J-03).

Na coleta de inverno observa-se que ocorreram tanto as concentrações mais elevadas de clorofila a (pontos J-03 e J-06) quanto de feofitina (todos os pontos de amostragem), porém nos pontos nos quais ocorreram os picos de clorofila a também foram observadas as menores concentrações de feofitina na campanha em questão. De modo geral, este comportamento também foi observado nas demais campanhas, indicando que estas variáveis possuem tendências inversas, ou seja, quando uma aumenta a outra tende a diminuir.

Com relação às vazões do rio Sorocamirim nas campanhas de amostragem, o comportamento da clorofila a (Figura 5.21) indica que o fitoplâncton é a fração que mais contribui para as concentrações desta variável nas coletas de verão, outono e inverno. Já com

relação à primavera, pode-se dizer que as algas de fundo ou fitobentos são a fração que mais contribui para as concentrações de clorofila a, uma vez que grande parte do sedimento foi removida e revolvida pela passagem da onda de cheia no período dessa coleta.

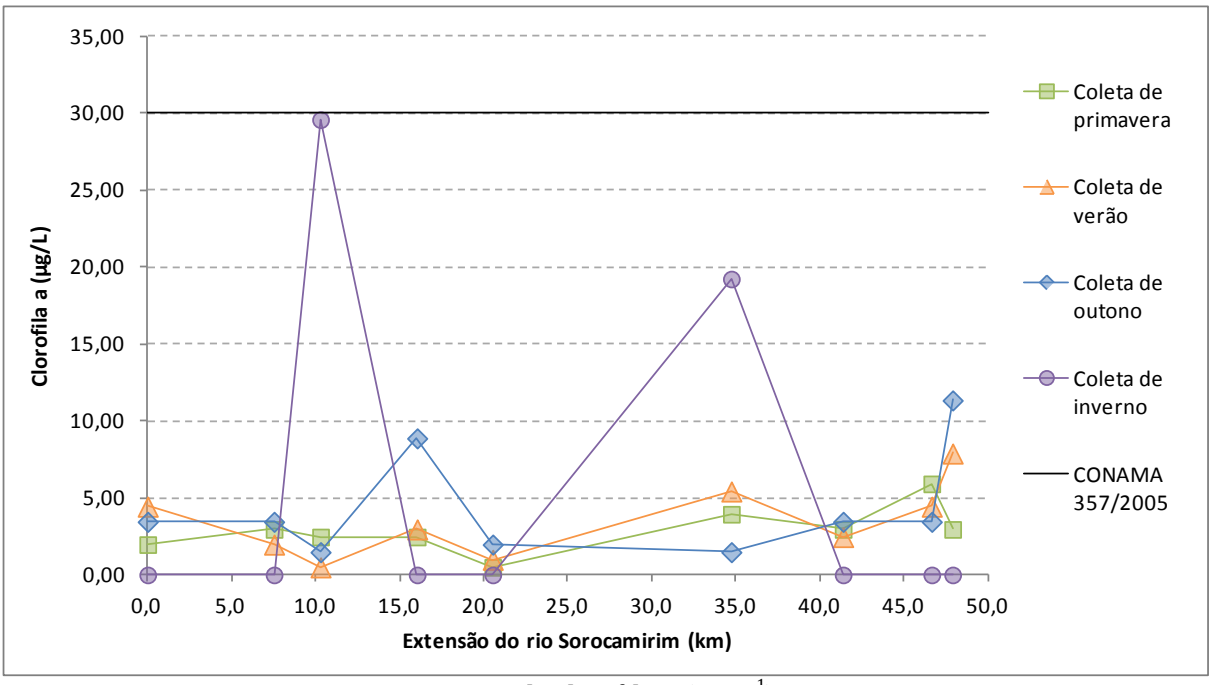

Figura 5.24 - Concentração de clorofila-a (µg.L^{-1}) no rio Sorocamirim

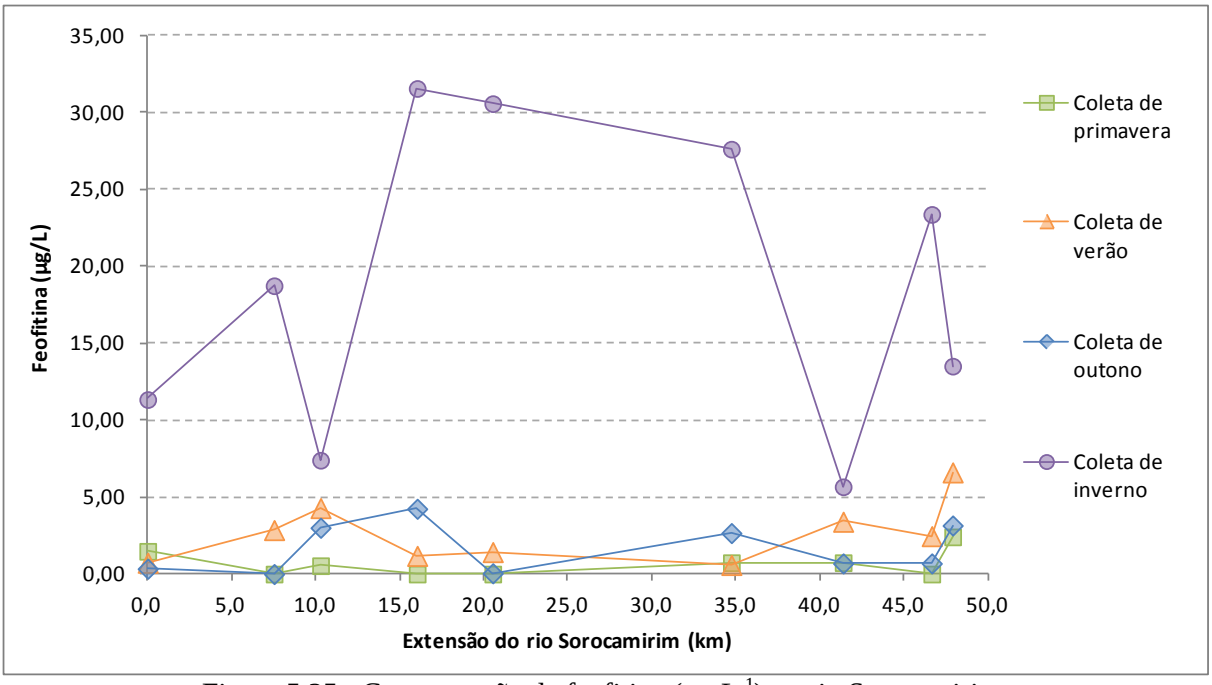

Figura 5.25 - Concentração de feofitina (µg.L^{-1}) no rio Sorocamirim

Observa-se na Figura 5.25, que no rio Sorocamirim, as concentrações de feofitina variaram de nulas até 31,6 µg.L^{-1} (ponto J-04 na coleta de inverno), sendo que na primavera,

coleta antecedida pela ocorrência de chuvas intensas, são observadas as menores concentrações desta variável.

No ribeirão Bonito (BENASSI, 2002), as concentrações de clorofila a variaram entre nulo (não detectado pelo método) e 4,01 $\mu g.L^{-1}$. Neste manancial, ao contrário do comportamento observado no rio Sorocamirim, as maiores concentrações de clorofila a e feofitina ocorreram no período chuvoso.

5.1.5 Variáveis físicas e químicas do sedimento

Em ecossistemas aquáticos, a análise físico-química do sedimento pode ser importante para o controle de poluição, pois este compartimento retém metais e pesticidas, abriga microrganismos indicadores de qualidade de água (comunidade bentônica) e interage com a coluna de água, adsorvendo ou liberando matéria orgânica e nutrientes.

Ressalta-se que o processo de liberação e adsorção de matéria orgânica e de nutrientes entre o sedimento e a coluna d'água é dinâmico e que, quando as concentrações destes componentes são suficientemente elevadas no sedimento, podem manter a produtividade aquática em níveis elevados, provocando eutrofização crônica dos corpos de água (ESPÍNDOLA; BRIGANTE, 2003).

5.1.5.1 Matéria orgânica

Segundo Esteves (1988), o sedimento pode ser classificado em orgânico e mineral, sendo que tal classificação depende da porcentagem de matéria orgânica presente no seu peso seco. Para que o sedimento seja considerado orgânico, mais de 10% de seu peso seco deve ser composto por matéria orgânica.

Na Figura 5.26 estão apresentados os resultados da porcentagem de matéria orgânica presente no sedimento do rio Sorocamirim, na qual se observa que em todas as campanhas o sedimento dos pontos J-01 a J-03 é considerado mineral. Este fato pode ser atribuído às velocidades de escoamento no trecho de cabeceira do rio, que não favorecem a sedimentação.

O sedimento do rio Monjolinho (NOVELLI, 2005) também foi caracterizado como mineral, uma vez que a porcentagem de matéria orgânica resultou abaixo de 10 %, exceto para um dos pontos amostrados. A autora atribuiu a ocorrência do ponto com sedimento orgânico à entrada de material alóctone, à baixa turbulência e à menor oxigenação na coluna de água.

Já no rio do Peixe (BUBEL, 1998), no rio Jacupiranguinha (MOCCELLIN, 2006) e no rio Pariquera-Açu (MOCCELLIN, 2010) não foram observadas porcentagens de matéria orgânica superiores a 10 %, caracterizando o sedimento destes mananciais como mineral.

As maiores porcentagens de matéria orgânica ocorreram na coleta de inverno, indicando que as menores vazões e velocidades de escoamento favorecem a troca de nutrientes do sedimento com a coluna de água e sedimentação de partículas orgânicas. Nesta coleta os sedimentos dos pontos J-05, J-06, J-08 e J-09 são classificados como orgânicos.

Observa-se que os pontos com contribuição de lançamento de efluentes, J-06 e J-09, apresentaram porcentagens maiores de matéria orgânica durante as diferentes coletas, com exceção da primavera, coleta antecedida pela ocorrência de chuvas intensas, cuja maior porcentagem foi observada no ponto J-04.

A ocorrência do pico de porcentagem em J-04 durante a coleta de primavera pode ser atribuída à presença de uma área alagada entre os pontos J-04 e J-05, que reduz a velocidade de escoamento, provocando a deposição dos sólidos arrastados no trecho de montante neste ponto de coleta.

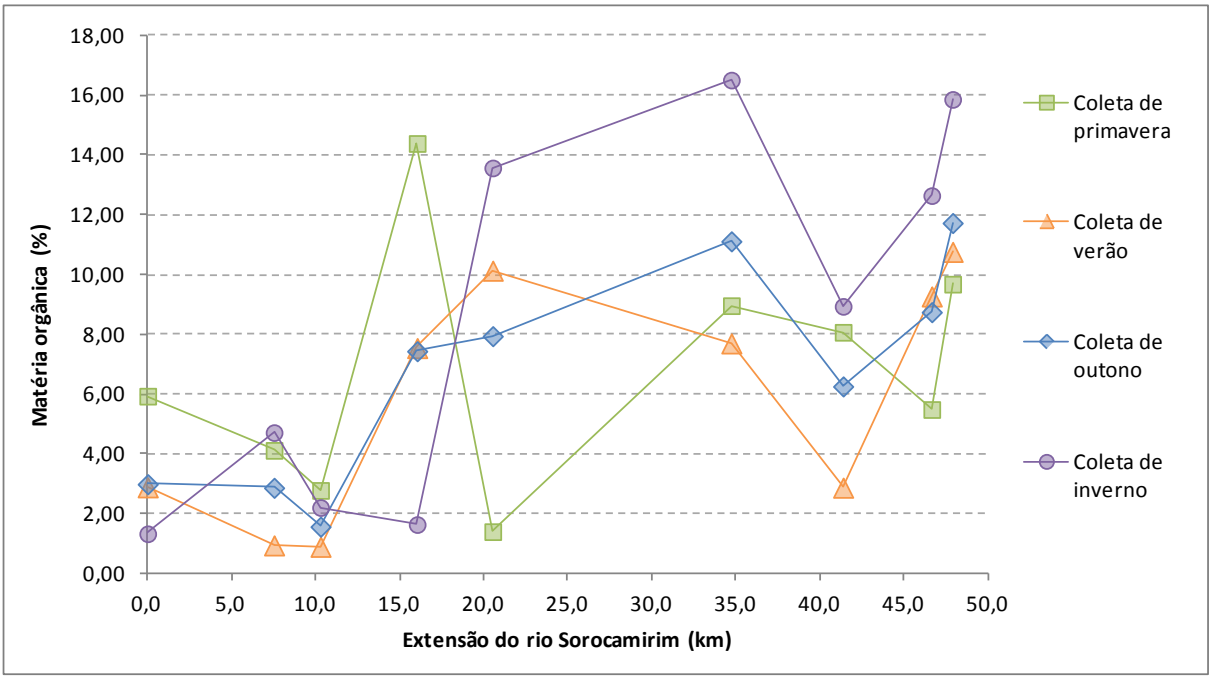

Figura 5.26 - Porcentagem de matéria orgânica no sedimento do rio Sorocamirim

5.1.5.2 Nitrogênio total

Na Figura 5.27 estão apresentadas as concentrações de nitrogênio no sedimento, na qual se observa que as concentrações variaram de nulas, em J-02 e J03, quando se verificou a formação de bancos de areia nestes pontos de coleta, a 12,24 $mg.g^{-1}$.

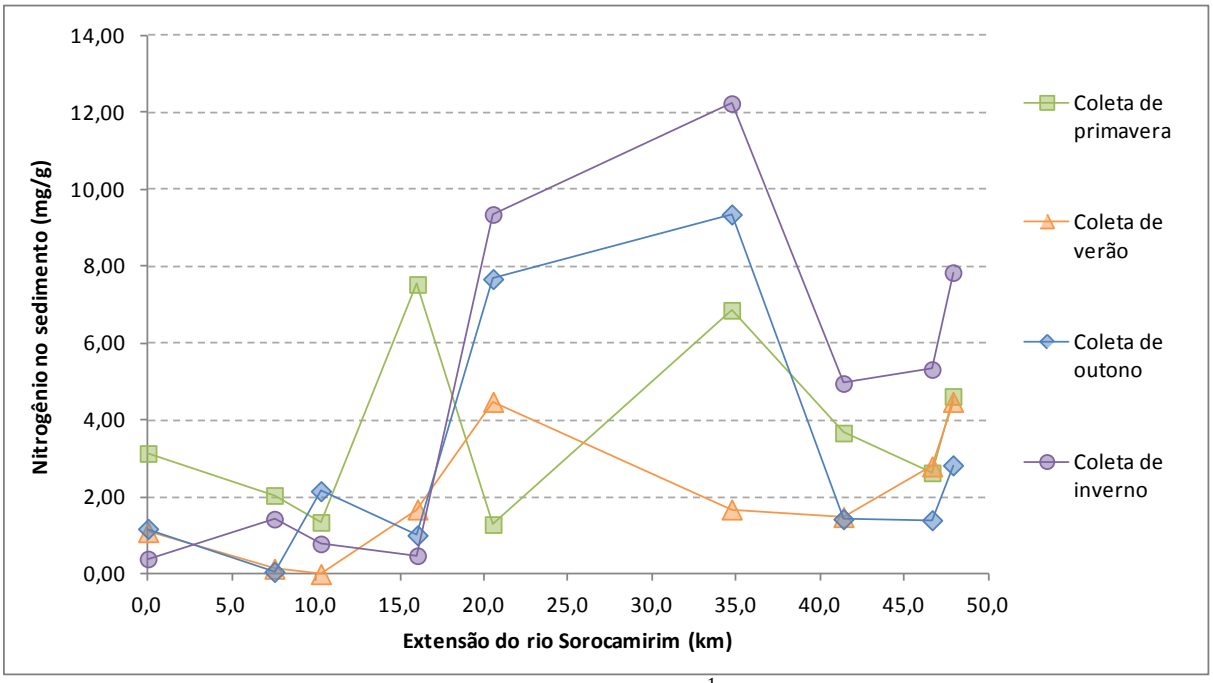

Figura 5.27 - Concentrações de nitrogênio total (µg.g^{-1}) no sedimento do rio Sorocamirim

Além disso, verifica-se que o comportamento deste nutriente resultou semelhante ao da matéria orgânica, apresentando as maiores concentrações em J-06 a J-09, na coleta de inverno, e baixas concentrações nos pontos J-01 a J-03, para todas as coletas realizadas.

Espacialmente, essa variável apresentou tendências de aumento do ponto J-08 para o ponto J-09, indicando que a entrada dos demais rios formadores do rio Sorocaba e/ou do efluente da Estação de Tratamento de Esgoto do município de Ibiúna influenciaram na concentração de nitrogênio total no sedimento.

No rio Jacupiranguinha (MOCCELIN, 2006), as concentrações de nitrogênio total no sedimento não ultrapassaram 1,41 mg.g^{-1}, semelhante ao que ocorreu nos pontos J-01 a J-03 nas coletas de verão outono e inverno, neste estudo. O comportamento sazonal foi contrário, a maioria das concentrações elevadas ocorreram no período de chuvas e não no de estiagem.

5.1.5.3 Fósforo total

Na Figura 5.28 estão apresentadas as concentrações de fósforo total no sedimento do rio Sorocamirim.

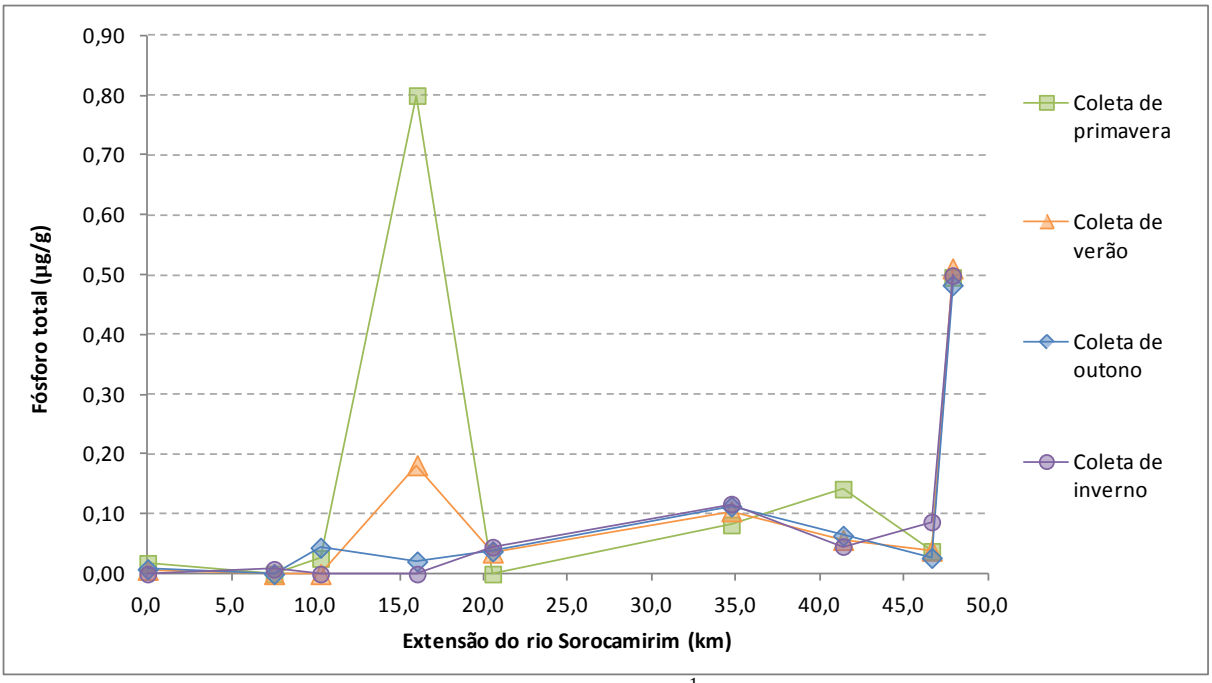

Figura 5.28 - Concentrações de fósforo total (µg.g^{-1}) no sedimento do rio Sorocamirim

Observa-se que as concentrações de fósforo total no sedimento variaram entre nulas e 0,80 µg.g^{-1}. As baixas concentrações deste nutriente no rio Sorocamirim decorrem, possivelmente, das características da sua sub-bacia e das características do uso e ocupação do solo na mesma. Conforme mencionado anteriormente, em diversos trechos do rio é verificada ausência de mata ciliar que, associada às atividades agrícolas, provoca a suscetibilidade desta sub-bacia à erosão, bem como ao assoreamento e à formação de bancos de areia neste manancial.

Assim como foi observado para o nitrogênio total, em todas as coletas efetuadas foi observada tendência de aumento da concentração de fósforo total no sedimento, do ponto J-08 para o J-09, indicando que a entrada dos demais rios formadores do rio Sorocaba e/ou do efluente da Estação de Tratamento de Esgoto do município de Ibiúna também influenciaram na concentração desta variável.

No rio do Peixe (BUBEL, 1998) foram observadas concentrações de fósforo total no sedimento entre 1,04 e 20, 26 µg.g^{-1}, sendo que as maiores concentrações ocorreram no período de estiagem. São, portanto, superiores às encontradas neste estudo.

No rio Monjolinho (NOVELLI, 2005) foram obtidas concentrações de fósforo total entre 58,78 e 998,7 µg.g^{-1}.

No rio Jacupiranguinha (MOCCELLIN, 2006) foram observadas concentrações de fósforo total superiores às do rio Monjolinho (NOVELLI, 2005), com concentrações entre 0,02 a 10,50 mg.g^{-1}. Além disso, as concentrações mais elevadas foram observadas no período

seco, principalmente, a partir do médio curso do rio. A autora atribuiu este comportamento à entrada dos efluentes da estação de tratamento de esgotos e da indústria de fertilizantes, e à presença de uma área alagada marginal.

5.1.6 Classificação do estado trófico da água do rio Sorocamirim

Na Tabela 5.7 estão apresentadas as categorias de classificação do estado trófico das águas de rios (CESTESB, 2013).

Tabela 5.7 - Classificação do estado trófico da água de rios (CETESB, 2013)

Categoria de estado trófico	**Ponderação**	**P-total ($mg.m^{-3}$)**	**Clorofila a ($mg.m^{-3}$)**
Ultraoligotrófico	$IET \leq 47$	$P \leq 13$	$CL \leq 0,74$
Oligotrófico	$47 < IET \leq 52$	$13 < P \leq 35$	$0,74 < CL \leq 1,31$
Mesotrófico	$52 < IET \leq 59$	$35 < P \leq 137$	$1,31 < CL \leq 2,96$
Eutrófico	$59 < IET \leq 63$	$137 < P \leq 296$	$2,96 < CL \leq 4,70$
Supereutrófico	$63 < IET \leq 67$	$296 < P \leq 640$	$4,70 < CL \leq 7,46$
Hipereutrófico	$IET > 67$	$640 < P$	$7,46 < CL$

Para o rio Sorocamirim, foi calculado o índice de estado trófico considerando tanto as concentrações de fósforo total quanto as de clorofila a, sendo que as concentrações de clorofila a foram consideradas em todos os pontos nos quais estas não foram nulas (alguns pontos da coleta de inverno). Na Tabela 5.8 estão apresentados os estados de trofia deste manancial, na qual se observa que no inverno este variou significativamente de um ponto para o outro, chegando a atingir estado supertrófico no J-06, ponto localizado após a entrada do ribeirão Vargem Grande.

Conforme mencionado anteriormente, o ribeirão Vargem Grande é o principal tributário do rio Sorocamirim e recebe o esgoto do município de Vargem Grande Paulista sem qualquer tratamento prévio.

De maneira geral, verifica-se que o rio Sorocamirim tem tendência de permanecer em estado mesotrófico na maior parte dos pontos estudados e na maior parte do tempo. Porém, com exceção da coleta de verão, em todas as outras foram observados pontos com características eutróficas.

Tabela5.8 - Classificação dos pontos de amostragem quanto ao nível de trofia

	Coleta de inverno 29/07/2011	Coleta de primavera 18/10/2011	Coleta de verão 08/02/2012	Coleta de inverno 18/04/2012
J-01	49	55	56	53
J-02	46	57	54	56
J-03	63	56	49	53
J-04	50	57	56	60
J-05	46	50	52	52
J-06	65	60	59	53
J-07	53	59	56	57
J-08	53	61	59	56
J-09	57	58	59	63

Legenda

Ultraoligotrófico
Oligotrófico
Mesotrófico
Eutrófico
Supereutrófico
Hipereutrófico

Ressalta-se que o controle da eutrofização no rio Sorocamirim através da redução do aporte de nitrogênio é comprometida pela multiplicidade de fontes, sendo que algumas são muito difíceis de serem controladas, como a poluição difusa por fertilizantes agrícolas e, eventualmente, pela fixação do nitrogênio atmosférico por parte de alguns gêneros de algas. Por isso, deve-se investir preferencialmente no controle das fontes de fósforo que, como observado no item 5.1.3.9, estão relacionadas às fontes pontuais de lançamento de efluentes, principalmente efluentes domésticos.

5.1.7 Estimativa da contribuição do rio Sorocamirim na carga de carbono orgânico total do reservatório de Itupararanga

Para a estimativa da contribuição do rio Sorocamirim na carga de carbono orgânico total do reservatório de Itupararanga, além dos dados referentes ao reservatório, é necessário o conhecimento da concentração desta variável e da vazão deste corpo de água na foz.

Conforme mencionado anteriormente, não foi possível fazer a medidas da vazão no ponto J-08, foz do rio Sorocamirim, devido ao fato deste ponto se localizar em uma planície de inundação. Sendo assim, optou-se por estimar a contribuição de todos os rios formadores do reservatório através do ponto J-09, que corresponde ao início do rio Sorocoba, e estimar, grosseiramente, a contribuição do rio Sorocamirim na carga do Sorocaba, assumindo-se que a vazão do ponto J-08 é igual à do ponto J-07.

Foram utilizados os dados de qualidade da água do reservatório de Itupararanga obtidos no monitoramento da qualidade da água do reservatório, efetuado por Casali (2014), e

o valor médio da vazão afluente ao reservatório fornecido pela Votorantim Energia, responsável pela UHE Itupararanga. Para melhor estimativa, foram adotados os dados referentes ao mês de julho de 2011, mês no qual coincide a realização de coletas no rio Sorocamirim e no reservatório de Itupararanga.

A concentração média de carbono no reservatório, referente ao período de monitoramento de 19 de julho a 28 de julho de 2011, foi de 3,75 ± 0,21 $mg.L^{-1}$ e a média dos valores de vazão afluente ao reservatório foi de 5,54 $m^3.s^{-1}$. Na Tabela 5.9 estão apresentadas as estimativas de contribuição.

Tabela 5.9 - Carga de carbono orgânico total (COT) no rio Sorocamirim, no rio Sorocaba e na represa de Itupararanga no período da coleta de inverno (29/07/2011)

	Carga COT (t/d)
Reservatório de Itupararanga	1,80
Rios Sorocaba (ponto J-09)	1,36
Rio Sorocamirim (ponto J-07)	0,65

Verifica-se na Tabela 5.9 que a carga de COT no rio Sorocaba corresponde a 75,6 % da carga do reservatório de Itupararanga neste período. A carga de COT estimada para o rio Sorocamirim corresponde a 47,8 % da carga estimada para o rio Sorocaba, ou seja, 36,1 % da carga estimada para o reservatório de Itupararanga.

5.2 Cenários ambientais para a sub-bacia do rio Sorocamirim

5.2.1 Calibração do modelo QUAL2K para simulação da qualidade da água do rio Sorocamirim

O modelo QUAL2K simula as variações espaciais das variáveis físicas, químicas e biológicas das águas do rio em função das vazões, nos elementos computacionais. Como este modelo considera a vazão constante em cada elemento computacional, e calcula a vazão de saída a partir do somatório das vazões pontuais e difusas que entram, para uma adequada simulação é fundamental que seja feita uma boa calibração das variáveis hidráulicas, considerando-se as fontes difusas e pontuais.

BOTTINO (2008) e MOCCELLIN (2010) também destacaram a importância das vazões difusas, sendo que a segunda autora verificou que, quando não eram consideradas as vazões difusas, a simulação no modelo QUAL2K subestimava as concentrações das variáveis de qualidade da água estudadas (OD, DBO, SSI, nitrato, fósforo orgânico e coliformes fecais), gerando erros de interpretação, ainda que o rio Jacupiranguinha seja um rio com maiores vazões e a contribuição difusa ocorra principalmente na época de chuvas.

No rio Sorocamirim não foi possível a determinação “in loco” das vazões difusas, desta forma, para a calibração do modelo estas foram estimadas. Nas Figuras 5.29 e 5.30 estão apresentados os resultados da calibração da vazão e velocidade de escoamento, respectivamente, nos dois períodos estudados: período de estiagem e período de chuvas.

Ressalta-se que se optou por calibrar e simular estes dois períodos por estes representarem as condições de extremos e porque, durante o período estudado, as campanhas sazonais não apresentaram comportamento típico, sendo que a campanha de primavera foi que representou o período de chuvas e não a de verão.

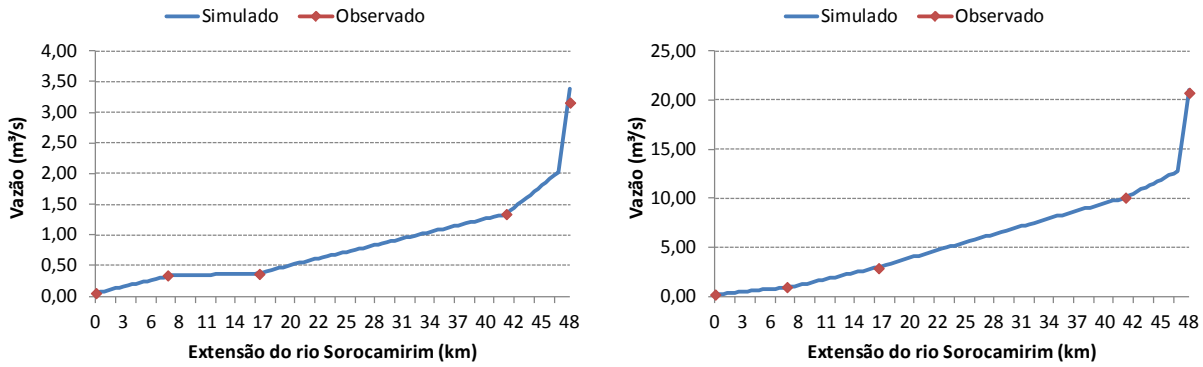

Figura 5.29 - Variação espacial das vazões medidas e simuladas nos períodos de estiagem e de chuvas

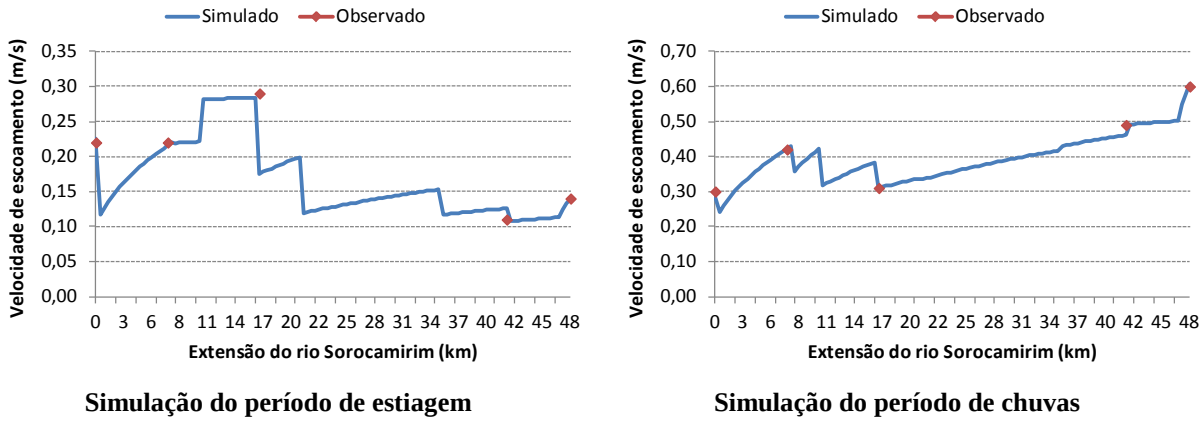

Figura 5.30 - Variação espacial das velocidades de escoamento medidas e simuladas nos períodos de estiagem e de chuvas

Nas Figuras 5.29 e 5.30 observa-se que a calibração hidráulica foi satisfatória, com valores de vazão simulados próximos aos observados e representam o comportamento espacial do rio Sorocamirim. As oscilações apresentadas em alguns trechos dos gráficos de velocidade de escoamento são decorrentes do fato de que as medidas de declividade e o

coeficiente de rugosidade (coeficiente de Manning) são iguais para os diferentes elementos de um mesmo trecho, não sendo representativo das diferenças morfológicas dentro dos mesmos.

A calibração da qualidade da água do rio Sorocamirim foi efetuada com relação as seguintes variáveis: oxigênio dissolvido, sólidos suspensos inorgânicos, nitrato, fósforo total, fósforo orgânico e fósforo inorgânico. Na Figura 5.31 e na Tabela 5.10 são apresentados os resultados da simulação no período de estiagem.

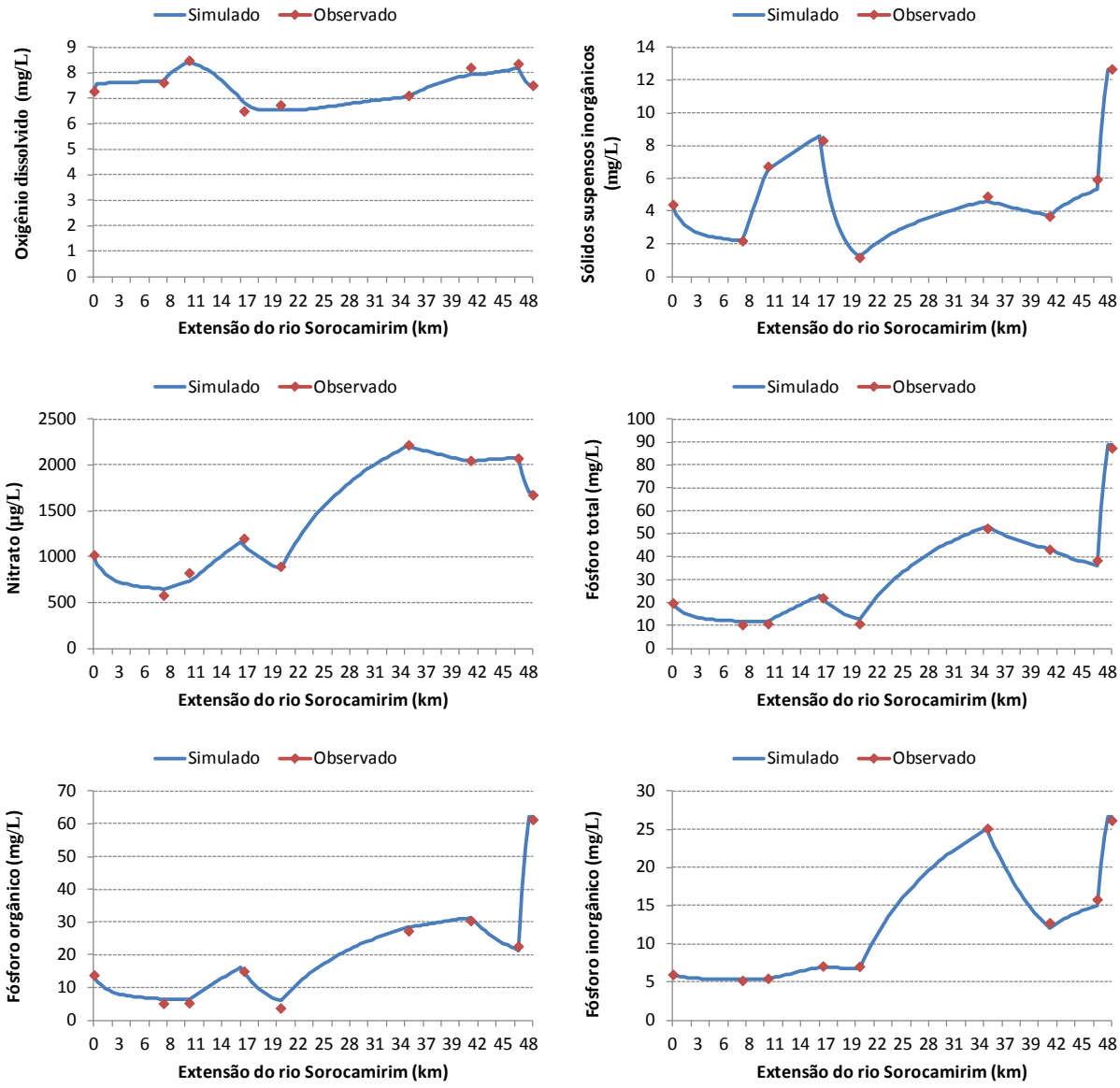

Figura 5.31 - Variação espacial medida e simulada de oxigênio dissolvido ($mg.L^{-1}$), sólidos suspensos inorgânicos ($mg.L^{-1}$), nitrato ($\mu g.L^{-1}$), fósforo total ($\mu g.L^{-1}$), fósforo orgânico ($\mu g.L^{-1}$) e fósforo inorgânico ($\mu g.L^{-1}$) no período de estiagem no rio Sorocamirim

Tabela 5.10 - Resultados das simulações para todas as variáveis analisadas no período de estiagem no rio Sorocamirim

Extensão do Rio Sorocamirim (Km)	Oxigênio Dissolvido			Sólidos suspensos inorgânicos			Nitrato		
	Sim. (mg/L)	Obs. (mg/L)	Resíduo (%)	Sim. (mg/L)	Obs. (mg/L)	Resíduo (%)	Sim. (µg/L)	Obs. (µg/L)	Resíduo (%)
0	7,28	7,28	0,0	4,40	4,40	0,0	1020	1020	0,0
1,24	7,66	7,62	0,5	2,18	2,18	0,1	646	580	11,4
6,52	8,40	8,49	1,1	6,56	6,73	2,6	726	825	12,0
13,17	6,83	6,50	5,1	6,98	8,32	16,1	1121	1200	6,6
27,36	6,55	6,74	2,8	1,23	1,17	5,3	868	895	3,0
31,86	7,06	7,11	0,7	4,61	4,90	5,8	2207	2220	0,6
37,61	7,94	8,21	3,3	3,72	3,68	1,0	2039	2050	0,5
40,37	8,19	8,36	2,0	5,31	5,93	10,5	2078	2075	0,1
47,89	7,54	7,51	0,4	12,68	12,68	0,0	1703	1675	1,7
Resíduo médio			1,8			4,6			4,0

Extensão do Rio Sorocamirim (Km)	Fósforo total			Fósforo orgânico			Fósforo inorgânico		
	Sim. (µg/L)	Obs. (µg/L)	Resíduo (%)	Sim. (µg/L)	Obs. (µg/L)	Resíduo (%)	Sim. (µg/L)	Obs. (µg/L)	Resíduo (%)
0	19,80	19,80	0,0	13,81	13,81	0,0	5,99	5,99	0,0
1,24	11,77	10,34	13,8	6,44	5,14	25,4	5,33	5,21	2,3
6,52	11,87	10,77	10,2	6,45	5,29	22,0	5,41	5,48	1,2
13,17	21,42	22,07	3,0	14,48	14,98	3,3	6,94	7,10	2,2
27,36	12,63	10,77	17,2	5,85	3,73	57,1	6,77	7,05	3,9
31,86	53,32	52,39	1,8	28,34	27,28	3,9	24,98	25,12	0,5
37,61	43,33	43,19	0,3	31,28	30,43	2,8	12,04	12,77	5,6
40,37	36,23	38,44	5,8	21,26	22,62	6,0	14,97	15,82	5,4
47,89	88,63	87,50	1,3	62,02	61,33	1,1	26,61	26,18	1,6
Resíduo médio			5,9			13,5			2,5

Verifica-se na Figura 5.31 e na Tabela 5.10, que no período de estiagem, a diferença entre os valores simulados no modelo QUAL2K e os observados apresentou baixos valores médios, que apresentaram, com exceção do fósforo orgânico, porcentagem média abaixo de 6 %. A maior porcentagem apresentada pelo fósforo orgânico decorre das elevadas diferenças apresentadas para os pontos com as três menores concentrações.

Neste período, todos os nutrientes simulados apresentaram resposta significativa à contribuição do ribeirão Vargem Grande, com elevado aumento da concentração do ponto J-05 para o J-06. Como o ribeirão Vargem Grande recebe o esgoto doméstico do município de Vargem Grande Paulista, sem qualquer tratamento prévio, isto indica sensibilidade do manancial à entrada de efluentes domésticos neste período.

Na Figura 5.32 e na Tabela 5.11 estão apresentados os dados da simulação da qualidade da água do rio Sorocamirim no período de chuvas.

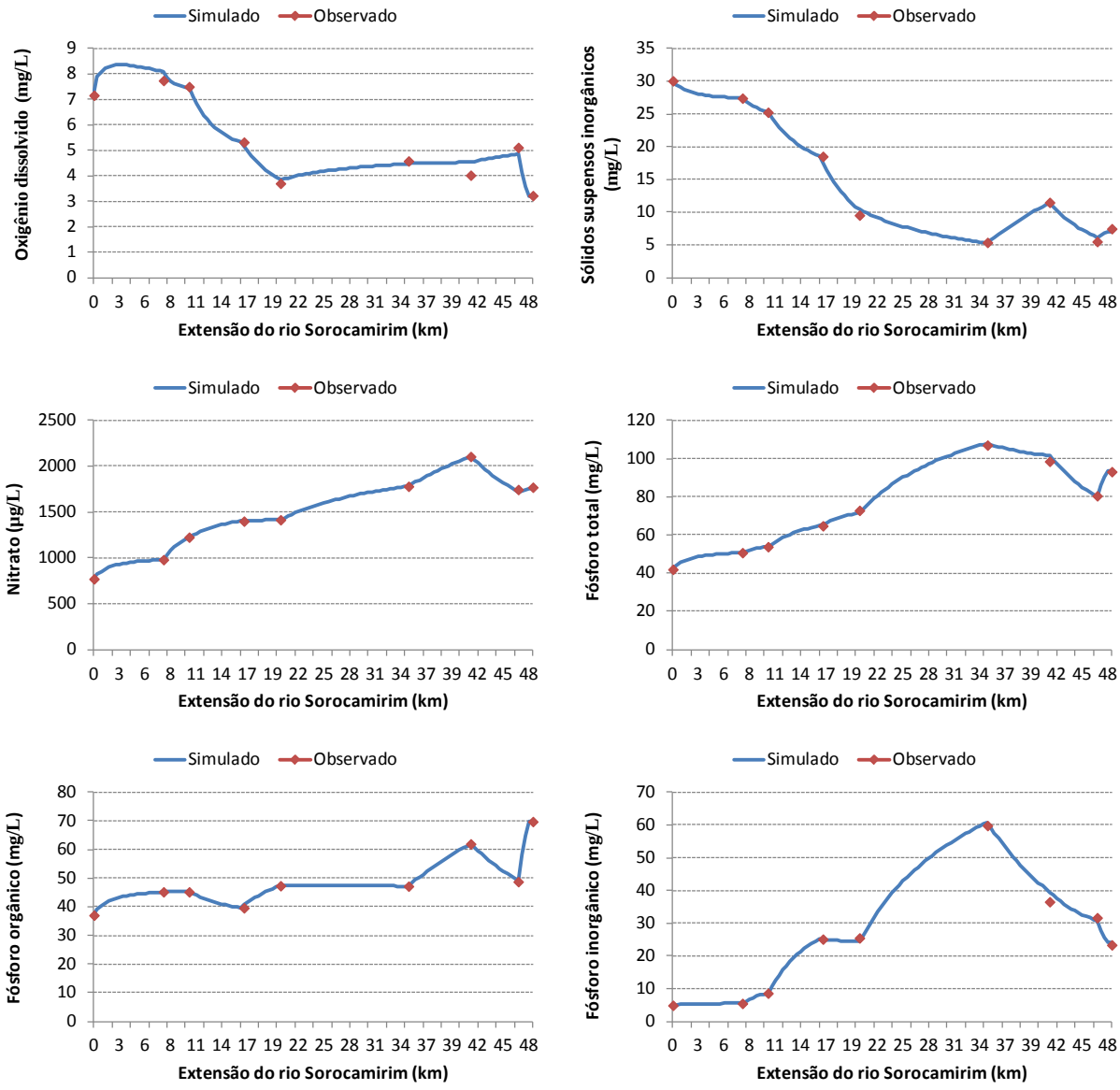

Figura 5.32 - Variação espacial medida e simulada de oxigênio dissolvido ($mg.L^{-1}$), sólidos suspensos inorgânicos ($mg.L^{-1}$), nitrato ($\mu g.L^{-1}$), fósforo total ($\mu g.L^{-1}$), fósforo orgânico ($\mu g.L^{-1}$) e fósforo inorgânico ($\mu g.L^{-1}$) no período de chuvas no rio Sorocamirim

Observa-se na Figura 5.31 e na Tabela 5.11 que a simulação do período de chuvas foi ainda mais precisa que a do período de estiagem, com diferenças médias inferiores à 3,8 %, sendo que as concentrações de nitrato e fósforo orgânico foram as que obtiveram as menores diferenças entre o valor observado e o simulado pelo modelo, apenas 0,3 %.

Ainda que neste período também seja observada a influência da contribuição do ribeirão Vargem Grande, verifica-se que por conta das chuvas e do efeito de diluição, como

observado para as concentrações de SSI e fósforo orgânico, o escoamento difuso influenciou mais fortemente as concentrações das variáveis analisadas e o modelo simulou satisfatoriamente esta situação.

Tabela 5.11 - Resultados das simulações para todas as variáveis analisadas no período de chuvas no rio Sorocamirim

Extensão do Rio Sorocamirim	Oxigênio Dissolvido			Sólidos suspensos inorgânicos			Nitrato		
	Sim. (mg/L)	Obs. (mg/L)	Resíduo (%)	Sim. (mg/L)	Obs. (mg/L)	Resíduo (%)	Sim. (µg/L)	Obs. (µg/L)	Resíduo (%)
0	7,16	7,16	0,0	30,05	30,05	0,0	770	770	0,0
1,24	8,08	7,74	4,4	27,41	27,40	0,0	980	980	0,0
6,52	7,44	7,50	0,7	25,26	25,25	0,0	1225	1225	0,0
13,17	5,13	5,32	3,6	17,40	18,52	6,0	1402	1400	0,1
27,36	3,84	3,70	3,8	10,38	9,53	8,8	1415	1415	0,0
31,86	4,47	4,58	2,4	5,26	5,37	2,0	1780	1780	0,0
37,61	4,53	4,02	12,7	11,40	11,48	0,8	2105	2105	0,0
40,37	4,85	5,11	5,0	6,08	5,50	10,5	1715	1745	1,7
47,89	3,20	3,22	0,6	7,01	7,47	6,1	1751	1770	1,0
Resíduo médio			3,7			3,8			0,3

Extensão do Rio Sorocamirim	Fósforo total			Fósforo orgânico			Fósforo inorgânico		
	Sim. (µg/L)	Obs. (µg/L)	Resíduo (%)	Sim. (µg/L)	Obs. (µg/L)	Resíduo (%)	Sim. (µg/L)	Obs. (µg/L)	Resíduo (%)
0	41,96	41,96	0,0	37,06	37,06	0,0	4,90	4,90	0,0
1,24	50,71	50,70	0,0	45,22	45,22	0,0	5,49	5,48	0,1
6,52	53,82	53,81	0,0	45,21	45,21	0,0	8,61	8,61	0,0
13,17	65,62	64,75	1,3	40,61	39,63	2,5	25,01	25,12	0,4
27,36	71,73	72,83	1,5	47,35	47,35	0,0	24,38	25,49	4,3
31,86	107,94	107,01	0,9	47,20	47,20	0,0	60,74	59,82	1,5
37,61	101,44	98,51	3,0	61,98	61,97	0,0	39,47	36,54	8,0
40,37	79,70	80,46	0,9	49,01	48,79	0,5	30,69	31,68	3,1
47,89	93,70	93,11	0,6	69,68	69,76	0,1	24,03	23,36	2,9
Resíduo médio			0,9			0,3			2,3

BOTTINO (2008) também utilizou o modelo QUAL2K na modelagem da qualidade da água do rio Canha/SP. A calibração do modelo foi efetuada utilizando as seguintes variáveis de qualidade: sólidos suspensos inorgânicos, nitrogênio orgânico, nitrogênio amoniacal, nitrato, fósforo inorgânico, alcalinidade e DBO. De modo geral, as simulações do modelo acompanharam razoavelmente bem as variáveis empregadas, como se observou neste estudo.

5.2.2 Simulação de cenários

Devido aos bons resultados apresentados na calibração do modelo para simulação da qualidade da água do rio Sorocamirim, os resultados do modelo para os períodos de estiagem e chuvas foram utilizados para a simulação de alguns cenários, considerando alguns fatores que influenciam a qualidade da água deste manancial, como o crescimento populacional e mudanças nos usos e ocupações do solo. Ressalta-se que foram avaliados cenários alternativos otimistas e pessimistas.

Na Tabela 5.12 estão apresentados alguns dados sobre o cenário atual de uso e ocupação do solo e tratamento de efluentes domésticos na sub-bacia do rio Sorocamirim (IBGE, 2012 e CETESB, 2012), os quais foram utilizados na elaboração dos cenários.

Tabela 5.12 - Dados sobre o cenário atual de uso e ocupação do solo e tratamento de efluentes domésticos na sub-bacia do rio Sorocamirim (IBGE, 2012 e CETESB, 2012)

Variáveis	**Municípios**		
	Cotia	**Vargem Grande Paulista**	**Ibiúna**
Número de habitantes	209.027 hab.	44.555 hab.	25.308 hab.
População urbana	209.027 hab.	44.555 hab.	25.308 hab.
Cobertura da rede sanitária	45 %	24 %	55 %
Porcentagem esgoto tratado	43 %	0 %	100 %
Eficiência do sistema de tratamento	86 %	-	90 %
Carga poluidora domiciliar potencial	11.287 kg.DBO.dia^{-1}	2.406 kg.DBO.dia^{-1}	1.367 kg.DBO.dia^{-1}
Carga polidora domiciliar remanescente	9.409 kg.DBO.dia^{-1}	2.406 kg.DBO.dia^{-1}	690 kg.DBO.dia^{-1}
Corpos receptores dos efluentes	rio Cotia	ribeirão Vargem Grande *	rio Sorocamirim, ribeirão Murundu e ribeirão Paruru

* principal tributário do rio Sorocamirim

A seguir, é apresentada uma breve descrição dos cenários elaborados:

Cenário atual (cenário utilizado na calibração do modelo QUAL2K - referente ao ano de 2012): Poluição difusa, eficiência de coleta e tratamento de esgotos de 49,5 % para a cidade de Ibiúna e de 0 % para cidade de Vargem Grande Paulista.

Cenário 1: Estimativa de aumento em 20 % da coleta do esgoto doméstico gerado nos bairros do município de Cotia localizados na sub-bacia do rio Sorocamirim;

Cenário 2: Estimativa de aumento em 40 % da coleta do esgoto doméstico gerado nos bairros do município de Cotia localizados na sub-bacia do rio Sorocamirim;

Cenário 3: Estimativa de aumento em 60 % da coleta do esgoto doméstico gerado nos bairros do município de Cotia localizados na sub-bacia do rio Sorocamirim;
Cenário 4: Tratamento de todo o esgoto coletado do município de Vargem Grande Paulista com eficiência de 90 % (eficiência de coleta e tratamento de esgotos de 24,3 %);
Cenário 5: Aumento em 20 % da coleta de esgoto do município de Vargem Grande Paulista e tratamento do mesmo com eficiência de 90 % (eficiência de coleta e tratamento de esgotos de 42,3 %);
Cenário 6: Aumento em 40 % da coleta de esgoto do município de Vargem Grande Paulista e tratamento do mesmo com eficiência de 90 % (eficiência de coleta e tratamento de esgotos de 60,3 %);
Cenário 7: Aumento em 60 % da coleta de esgoto do município de Vargem Grande Paulista e tratamento do mesmo com eficiência de 90 % (eficiência de coleta e tratamento de esgotos de 78,3 %);
Cenário 8: Aumento em 20 % da coleta de esgoto do município de Ibiúna (eficiência de coleta e tratamento de esgotos de 67,5 %);
Cenário 9: Aumento em 40 % da coleta de esgoto do município de Ibiúna (eficiência de coleta e tratamento de esgotos de 85,5 %);
Cenário 10: Aumento em 60 % da coleta de esgoto do município de Vargem Grande Paulista e tratamento do mesmo com eficiência de 90 % (eficiência de coleta e tratamento de esgotos de 78,3 %), aumento em 40 % da coleta de esgoto do município de Ibiúna (eficiência de coleta e tratamento de esgotos de 85,5 %) e aumento 60 % da coleta do esgoto doméstico gerado nos bairros do município de Cotia localizados na sub-bacia do rio Sorocamirim;
Cenário 11: Estimativa de aumento da população dos municípios de Vargem Grande Paulista e Ibiúna para 2025, sem alteração na eficiência de coleta e tratamento de esgotos;
Cenário 12: Estimativa de aumento da população dos municípios de Vargem Grande Paulista e Ibiúna para 2035, sem alteração na eficiência de coleta e tratamento de esgotos;
Cenário 13: Estimativa de aumento da população dos municípios de Vargem Grande Paulista e Ibiúna para 2045, sem alteração na eficiência de coleta e tratamento de esgotos.

Ressalta-se que, como no rio Sorocamirim o lançamento de efluentes domésticos é decorrente da falta de coleta, nos cenários nos quais foi considerado o aumento da coleta de esgoto, no modelo QUAL2K, foi prevista a redução proporcional da poluição difusa nos pontos localizados neste município. Além disso, o crescimento populacional foi estimado com base nas taxas de crescimento destes municípios apresentadas no IBGE (2012).

A seguir são apresentados os resultados destes cenários com as variações longitudinais nos períodos de estiagem e de chuvas das variáveis analisadas (OD, SSI, nitrato, fósforo total, fósforo orgânico e fósforo inorgânico).

5.2.2.1 Período de estiagem

Devido ao menor efeito de diluição, os efeitos do aporte de esgoto doméstico no rio Sorocamirim podem ser observados com mais clareza no período de estiagem. Nas Figuras 5.33 a 5.38 estão apresentados os resultados da simulação dos cenários para este período, nos quais se verifica que, caso o crescimento populacional nos municípios de Cotia, Vargem Grande Paulista e Ibiúna não sejam acompanhados de investimentos para melhora do saneamento, ocorrerá deterioração significativa da qualidade da água deste manancial.

Essa deterioração pode ser vista com mais clareza na depleção das concentrações de OD, pois apesar do aumento das concentrações de SSI e nutrientes, essas não ultrapassaram os limites estabelecidos pela resolução CONAMA 357/2005, com exceção da concentração de fósforo total, estimada após a junção do rio Sorocamirim com os rios Una e Sorocabuçu (ponto J-09).

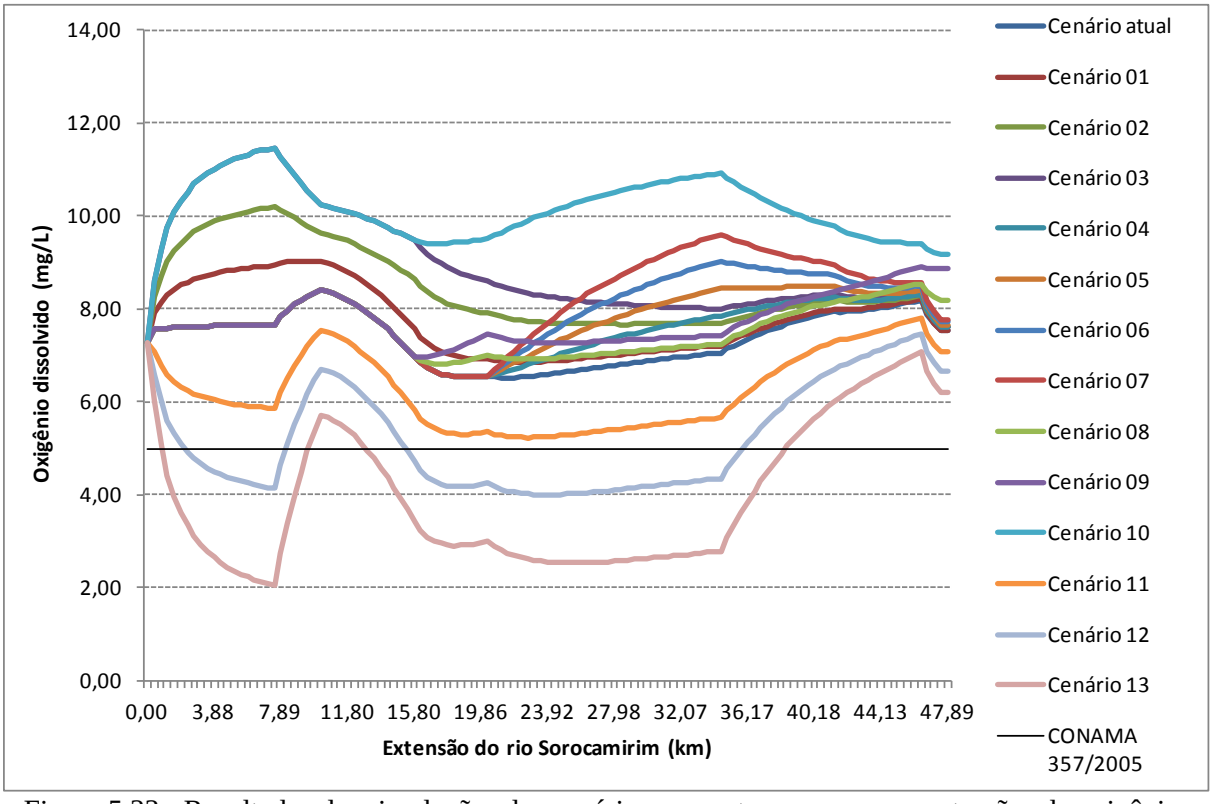

Figura 5.33 - Resultados das simulações dos cenários propostos para as concentrações de oxigênio dissolvido ($mg.L^{-1}$) no período de estiagem do rio Sorocamirim

De acordo com a Figura 5.33, o aumento na concentração de oxigênio dissolvido no alto curso do Rio Sorocamirim promoveu melhora desta variável no restante do curso deste recurso hídrico, mesmo nos cenários nos quais não foram previstas ações mitigadoras nos demais pontos (Cenários 01, 02 e 03), indicando que o impacto sofrido na região de cabeceira é o mais significativo para esta variável, ainda que a maior depleção seja observada após a contribuição do ribeirão Vargem Grande.

Verifica-se que a redução da poluição do rio Sorocamirim por efluentes domésticos, tanto provenientes de fontes pontuais quanto difusas (Cenário 10), proporcionaria, em média, melhora de 14,7 % nas concentrações de OD em relação às condições atuais. Com o crescimento populacional, devido a alta taxa de crescimento dos municípios de Cotia e Vargem Grande Paulista, se não houverem investimentos na melhoria do saneamento, as concentrações de OD diminuirão em média 38,2 % até 2025 (Cenário 11) e 47,0 % até 2035 (Cenário 12), sendo que no cenário deste ano já são observadas concentrações bem abaixo do limite mínimo estabelecido pela resolução CONAMA 357/2005, de 5,0 $mg.L^{-1}$ para rios de classe 2.

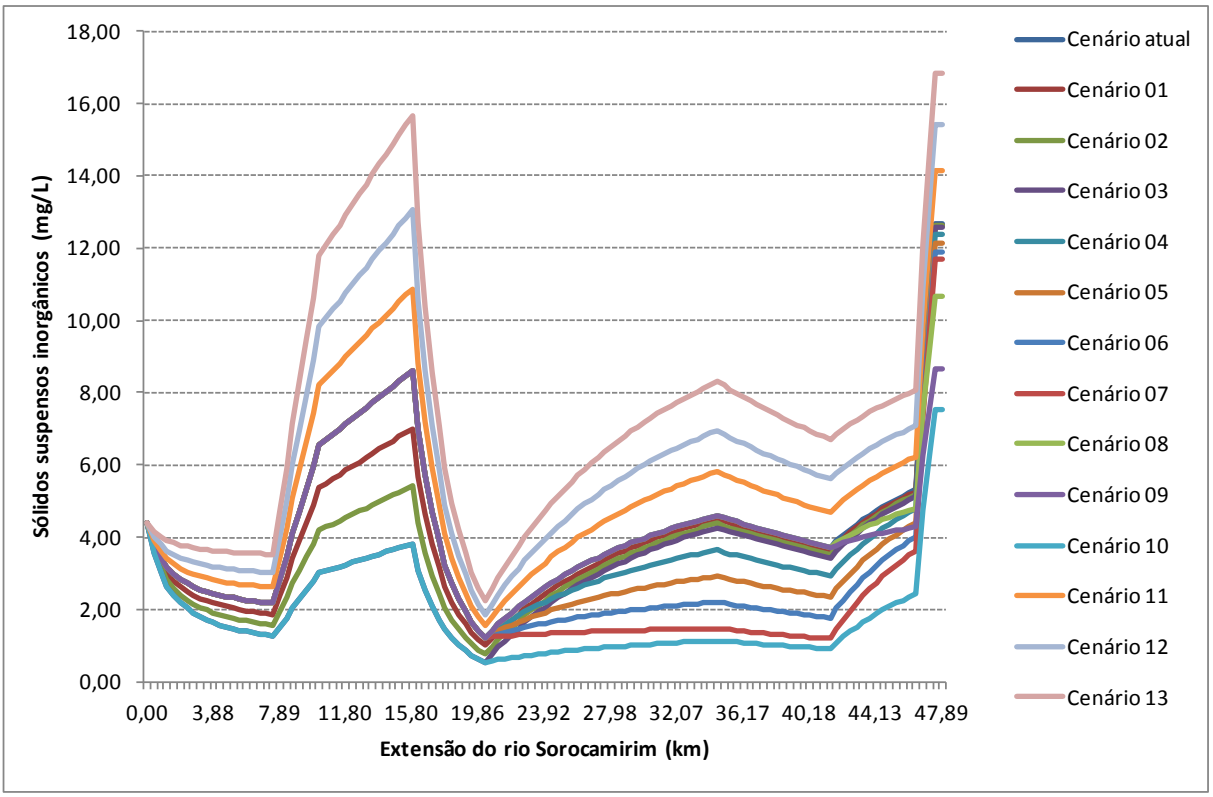

Figura 5.34 - Resultados das simulações dos cenários propostos para as concentrações de sólidos suspensos inorgânicos ($mg.L^{-1}$) no período de estiagem do rio Sorocamirim

Na Figura 5.34 observa-se que as concentrações de SSI na água do rio Sorocamirim são influenciadas, principalmente, pela poluição difusa no município de Cotia e pela entrada do ribeirão Vargem Grande, não sendo observada nos Cenários 08 e 09 (somente do município de Ibiúna) variação significativa com relação ao cenário atual.

Além disso, destaca-se que, apesar do aumento das concentrações SSI nos cenários de crescimento populacional (Cenários 11, 12 e 13), que chegaram a atingir 70,4 % no ano de 2045, as concentrações resultantes são consideradas muito baixas para recursos hídricos superficiais. Esse comportamento indica que esta variável não é o principal problema do rio Sorocamirim no período de estiagem e que intervenções nesta sub-bacia para a redução de sólidos, em fontes pontuais e difusas, apresentariam pouca influência em sua qualidade.

Conforme se observa na Figura 5.35 as concentrações de nitrato são influenciadas principalmente pela entrada do ribeirão Vargem Grande e pela poluição difusa no município de Cotia (região de alto curso). Para esta variável, o cenário com melhoria no saneamento nos três municípios com pontos de amostragem (Cenário 10) atingiu redução média de 56,4 % em relação ao cenário atual.

Quando considerando o crescimento populacional sem melhorias nas condições de saneamento existentes, as concentrações de nitrato apresentaram aumento significativo, alcançando cerca de 4.000 $\mu g.L^{-1}$ no ano de 2035.

Apesar das concentrações de nitrato terem resultado abaixo do limite estabelecido pela resolução CONAMA 357/2005 de 10 $mg.L^{-1}$ (10.000 $\mu g.L^{-1}$), ressalta-se que o tratamento em ciclo completo não remove este nutriente da água, responsável pela metahemoglobinemia e diretamente relacionado com o risco de câncer de estômago e bexiga (MANASSARAM et al, 2006).

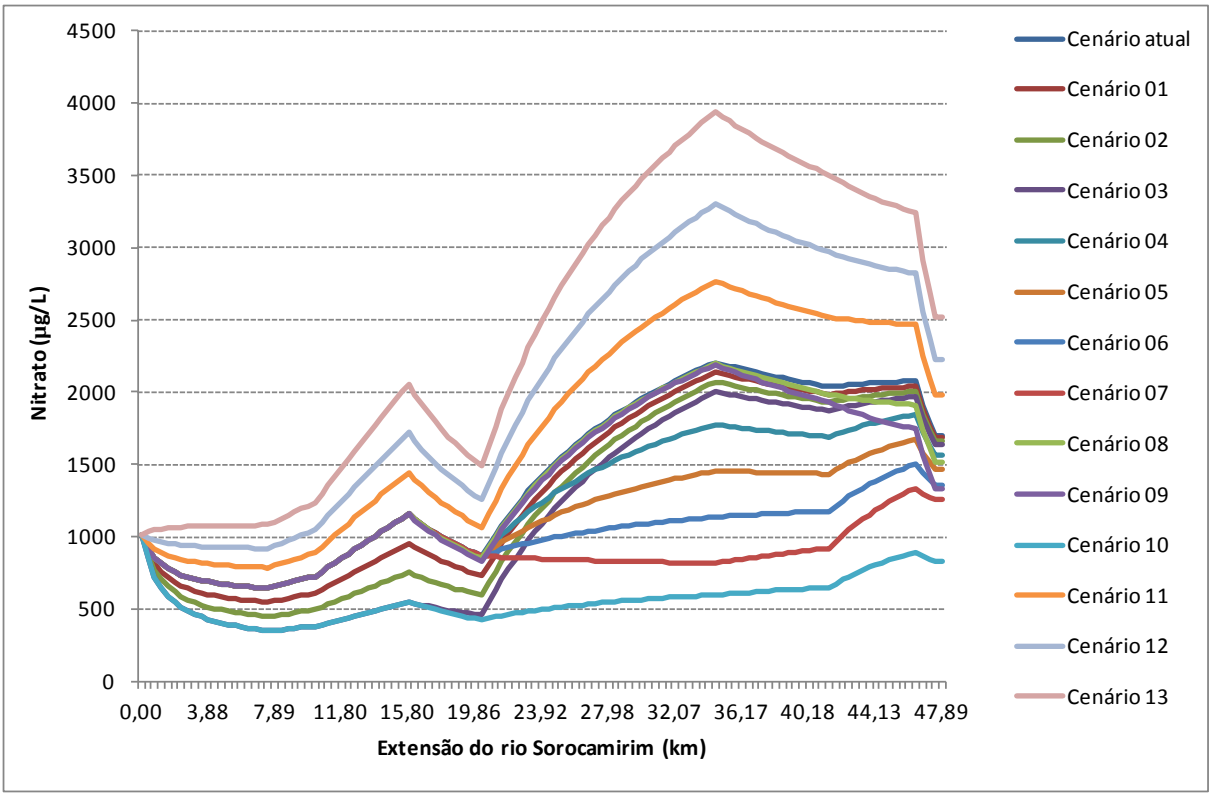

Figura 5.35 - Resultados das simulações dos cenários propostos para as concentrações de nitrato ($\mu g.L^{-1}$) no período de estiagem do rio Sorocamirim

Em relação às concentrações de fósforo (Figura 5.36), no período de estiagem verifica-se que a redução da poluição difusa no município de Cotia (região de alto curso) acarreta diminuição na concentração desta variável ao longo de toda a extensão deste corpo de água. Porém, a redução da carga de nutrientes do ribeirão Vargem Grande é a que promove, de modo geral, maior redução desta variável (Cenários 04 a 07).

Para a condição de redução dos impactos do rio Sorocamirim ao longo de toda sua extensão (Cenário 10), verifica-se na Figura 5.36 uma redução média de 56,2 % na concentração de fósforo total, enquanto que para a condição de crescimento populacional verifica-se um aumento médio de 66,4 % no ano de 2035 (Cenário 13).

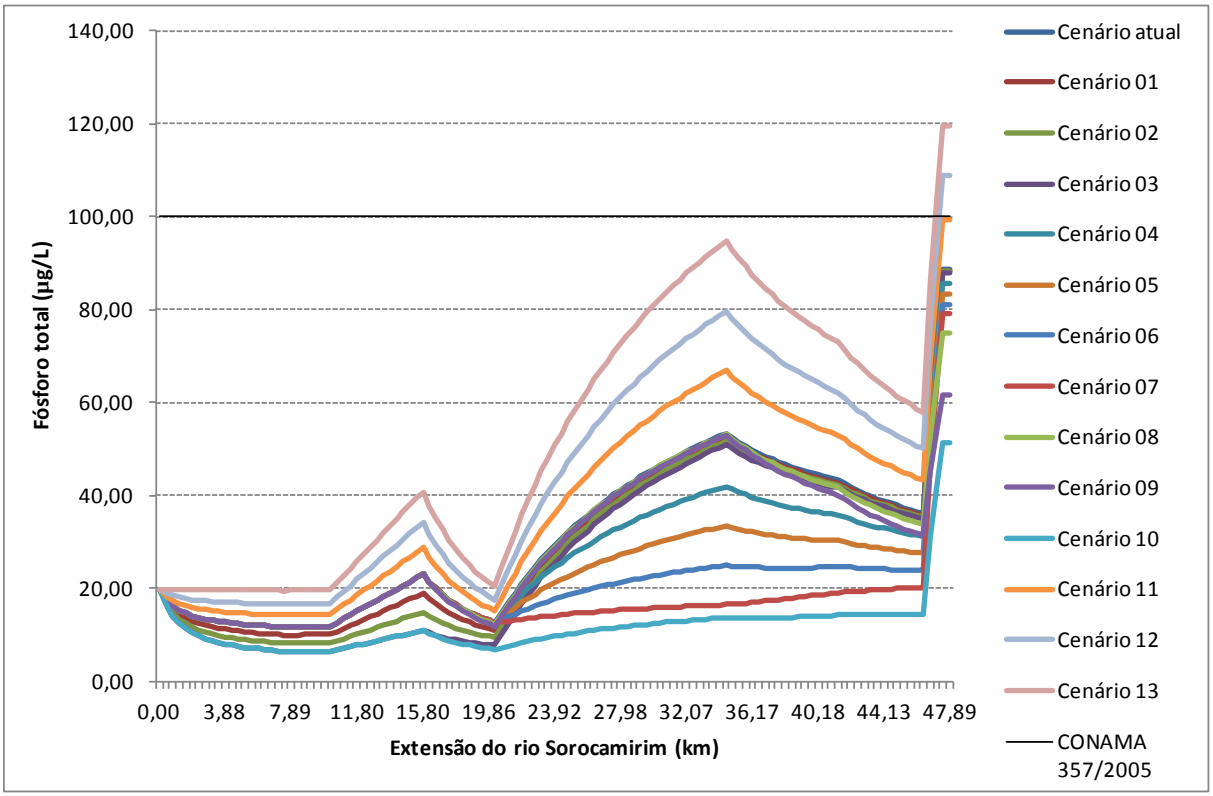

Figura 5.36 - Resultados das simulações dos cenários propostos para as concentrações de fósforo total ($\mu g.L^{-1}$) no período de estiagem do rio Sorocamirim

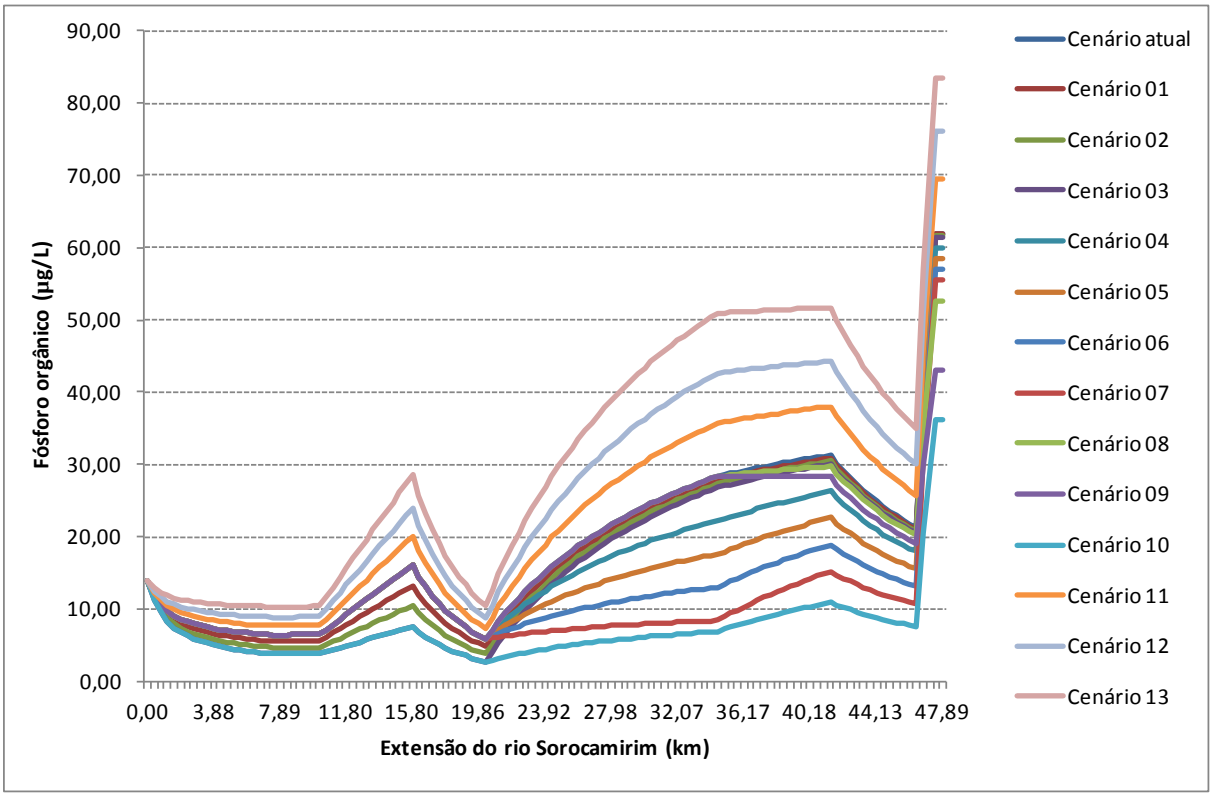

Figura 5.37 - Resultados das simulações dos cenários propostos para as concentrações de fósforo orgânico ($\mu g.L^{-1}$) no período de estiagem do rio Sorocamirim

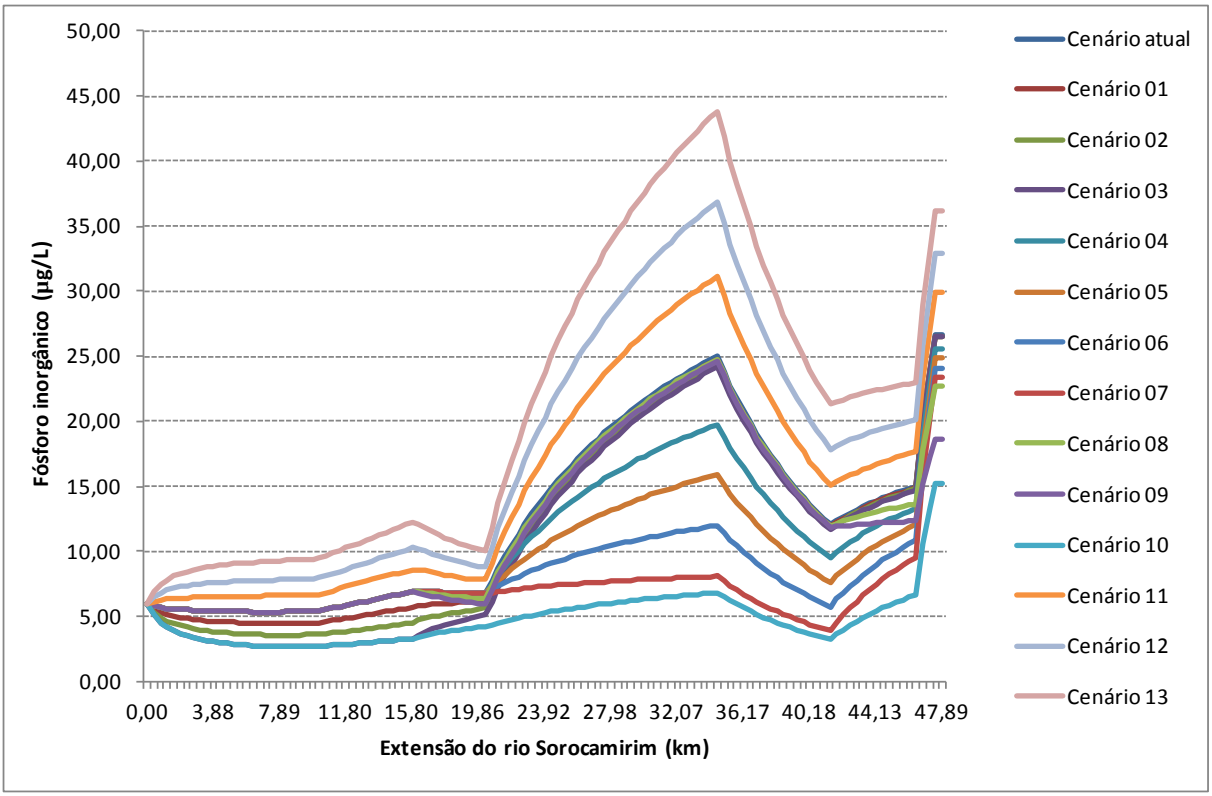

Figura 5.38 - Resultados das simulações dos cenários propostos para as concentrações de fósforo inorgânico ($\mu g.L^{-1}$) no período de estiagem do rio Sorocamirim

Nas Figuras 5.36 a 5.38 observa-se que o comportamento das concentrações de fósforo orgânico no alto curso se assemelhou mais ao do fósforo total que ao do fósforo inorgânico, fato que corrobora que o principal impacto deste trecho do corpo de água se deve aos despejos dos efluentes domésticos provenientes dos aglomerados urbanos desta região.

5.2.2.2 Período de chuvas

No período de chuvas, a faixa de variação das concentrações de OD (Figura 5.39) resultou menor do que no período de estiagem, com aumento de 14,7 % no cenário mais otimista e redução de 29,9 % no cenário mais pessimista, indicando que a principal influência deste período não se deve à diluição promovida pelo aumento da vazão, mas sim ao arraste de materiais para o rio Sorocamirim, durante a ocorrência de precipitações.

Além disso, verifica-se que a condição de aumento da eficiência do sistema de coleta e tratamento de esgoto, entre 40 e 60 % (Cenário 10), não é suficiente para que a concentração de OD resulte em conformidade com a resolução CONAMA 357/2005 para rios de classe 2, sendo necessárias ações de recuperação da mata ciliar e de melhor gerenciamento do uso e ocupação do solo em áreas suscetíveis à erosão, para a redução da poluição difusa neste período.

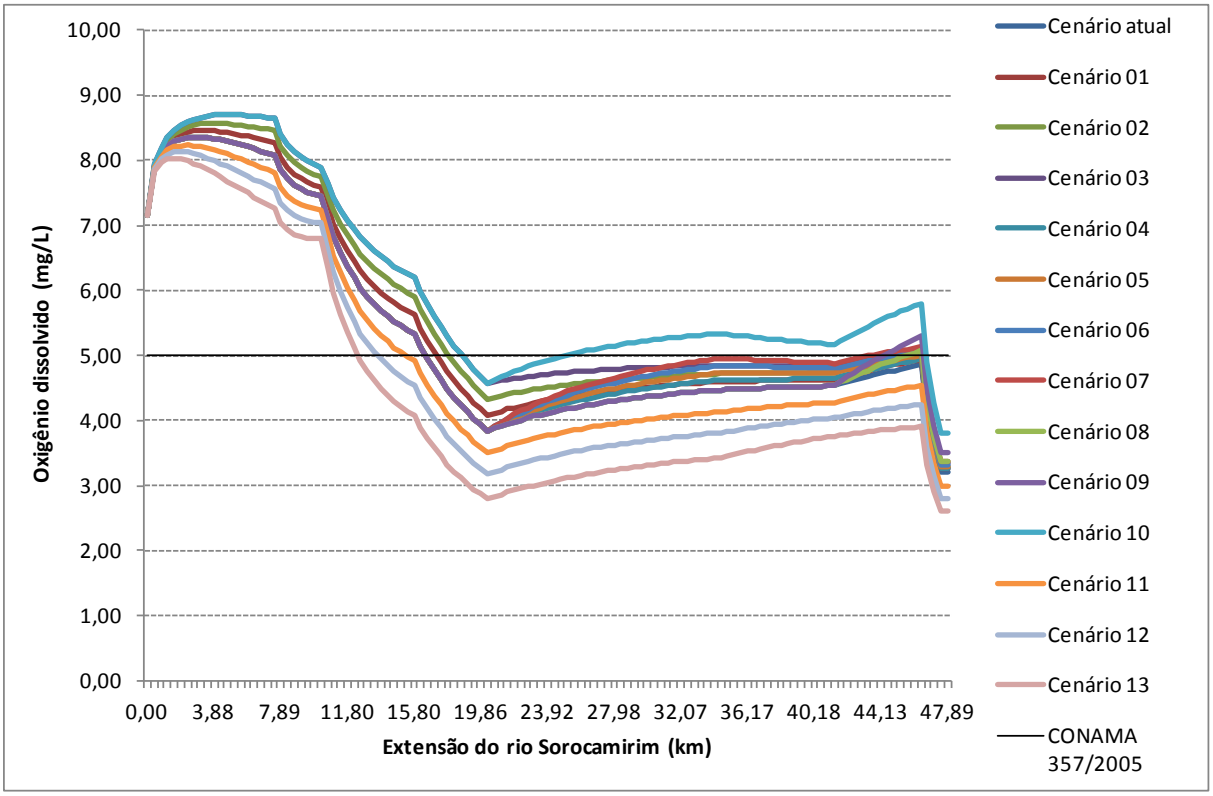

Figura 5.39 - Resultados das simulações dos cenários propostos para as concentrações de oxigênio dissolvido (mg.L^{-1}) no período de chuvas do rio Sorocamirim

Na Figura 5.40 observa-se que a poluição difusa no alto curso do rio Sorocamirim é a principal influência nas concentrações de SSI, sendo que o Cenário 03, com redução de 60 % da poluição difusa neste trecho, resultou na maior redução das concentrações desta variável até o ponto J-06. Isto corrobora que o alto curso do rio Sorocamirim é o trecho sujeito ao maior impacto devido a desmatamentos e ao uso e ocupação inadequados no solo.

Quando considerado o crescimento populacional, sem melhorias com relação à condição atual, foi observado aumento médio de 66,6 % nas concentrações de SSI até o ano de 2035; enquanto foi observada uma redução média de 47,9% quando consideradas ações imediatas de redução da poluição entre 40 e 60 % (Cenário 10).

Ainda que as concentrações de SSI tenham resultado baixas para todos os cenários, MOCCELLIN (2010) destaca que, mesmo com suas concentrações dentro dos padrões estabelecidos pela legislação, pelo fato destes poderem se sedimentar no leito dos rios, destruindo organismos bentônicos, danificando os leitos de desova dos peixes e retendo bactérias e resíduos orgânicos no fundo dos rios, promovendo a decomposição anaeróbia, representam ameaça à vida aquática.

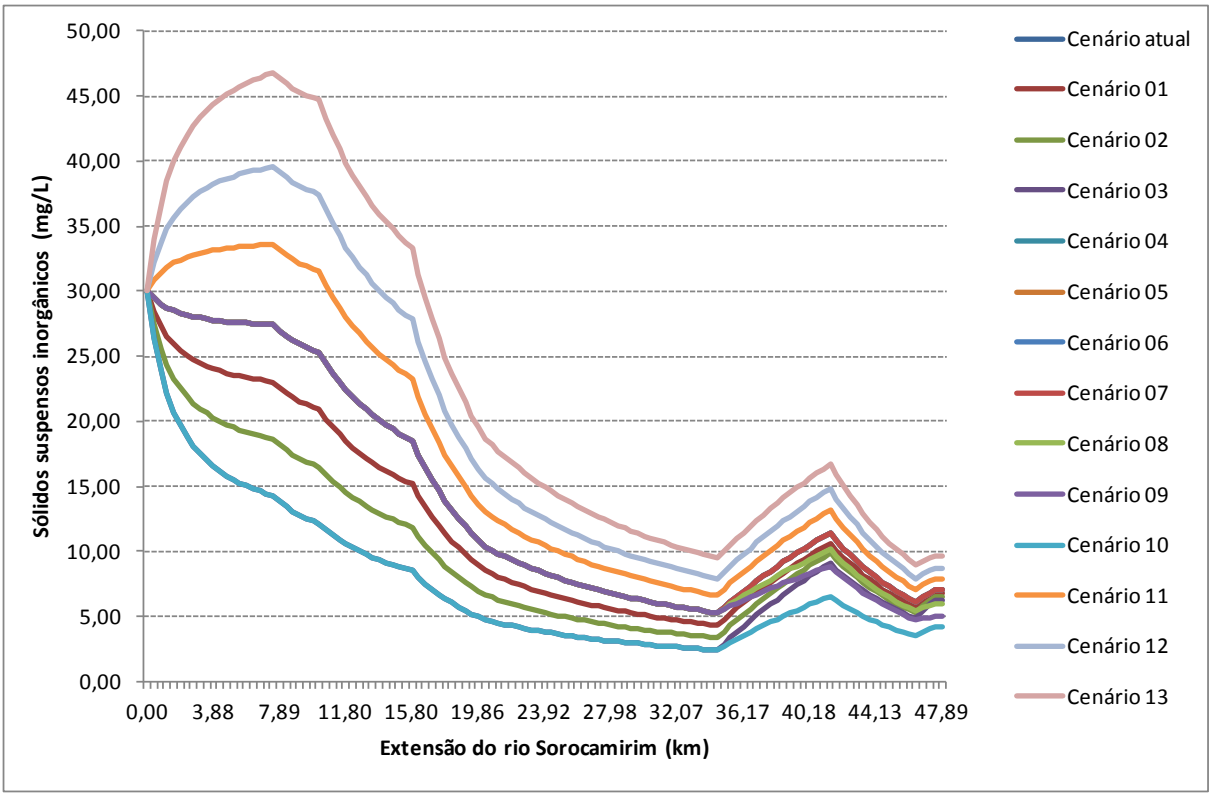

Figura 5.40 - Resultados das simulações dos cenários propostos para as concentrações de sólidos suspensos inorgânicos ($mg.L^{-1}$) no período de chuvas do rio Sorocamirim

Conforme mencionado anteriormente, o nitrato é um indicador de poluição remota, pois é o último estágio do processo de nitrificação. Desta forma, a redução desta variável esta associada ao controle das fontes de poluição que, de acordo com a Figura 5.41, são, principalmente, a carga referente ao lançamento do esgoto doméstico do município Vargem Grande Paulista, sem qualquer tratamento prévio, no ribeirão Vargem Grande e o uso e ocupação inadequado do solo da região de alto curso, bem como o desmatamento da mata ciliar.

Dos cenários estudados, verifica-se no cenário mais pessimista (Cenário 13) um aumento médio de 68,9 % nas concentrações de nitrato e redução de 55,5 % no cenário mais otimista.

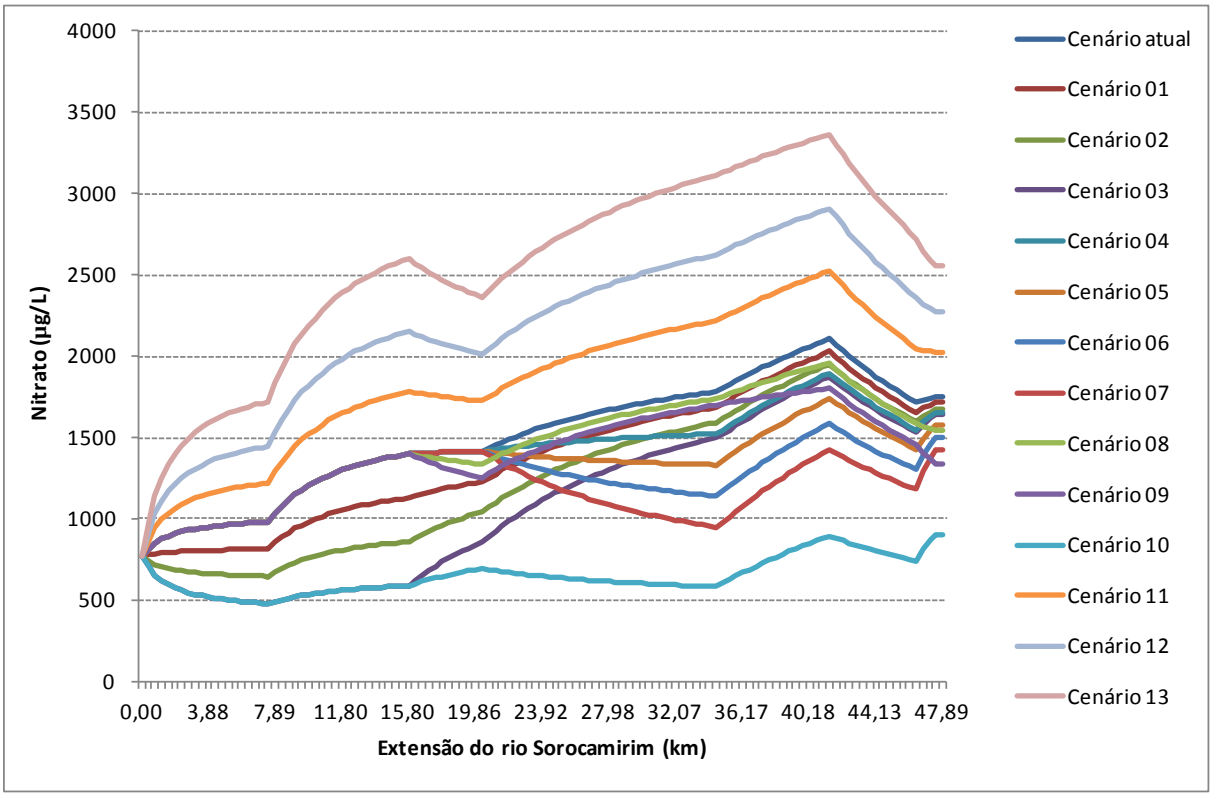

Figura 5.41 - Resultados das simulações dos cenários propostos para as concentrações de nitrato ($\mu g.L^{-1}$) no período de chuvas do rio Sorocamirim

As concentrações de fósforo total simuladas nos diferentes cenários indicam que, no período de chuvas, a redução imediata das fontes de poluição deste manancial entre 40 e 60 % (Cenário 10) promoveriam uma redução média de fósforo total de 52,3 % no rio Sorocamirim (Figura 5.42).

Para os cenários que consideraram o crescimento populacional sem qualquer aumento no controle das fontes de poluição, verificam-se valores muito acima do limite estabelecido pela resolução CONAMA 357/2005 para rios de classe 2. Com relação ao cenário atual, estes apresentaram um aumento médio nas concentrações de fósforo total de até 67,4% (ano de 2035).

Nas Figuras 5.43 e 5.44 verifica-se que as concentrações de fósforo orgânico no alto curso do rio Sorocamirim foram maiores que as apresentadas pelo fósforo inorgânico, fato que corrobora que o principal impacto deste corpo de água se deve aos despejos de efluentes.

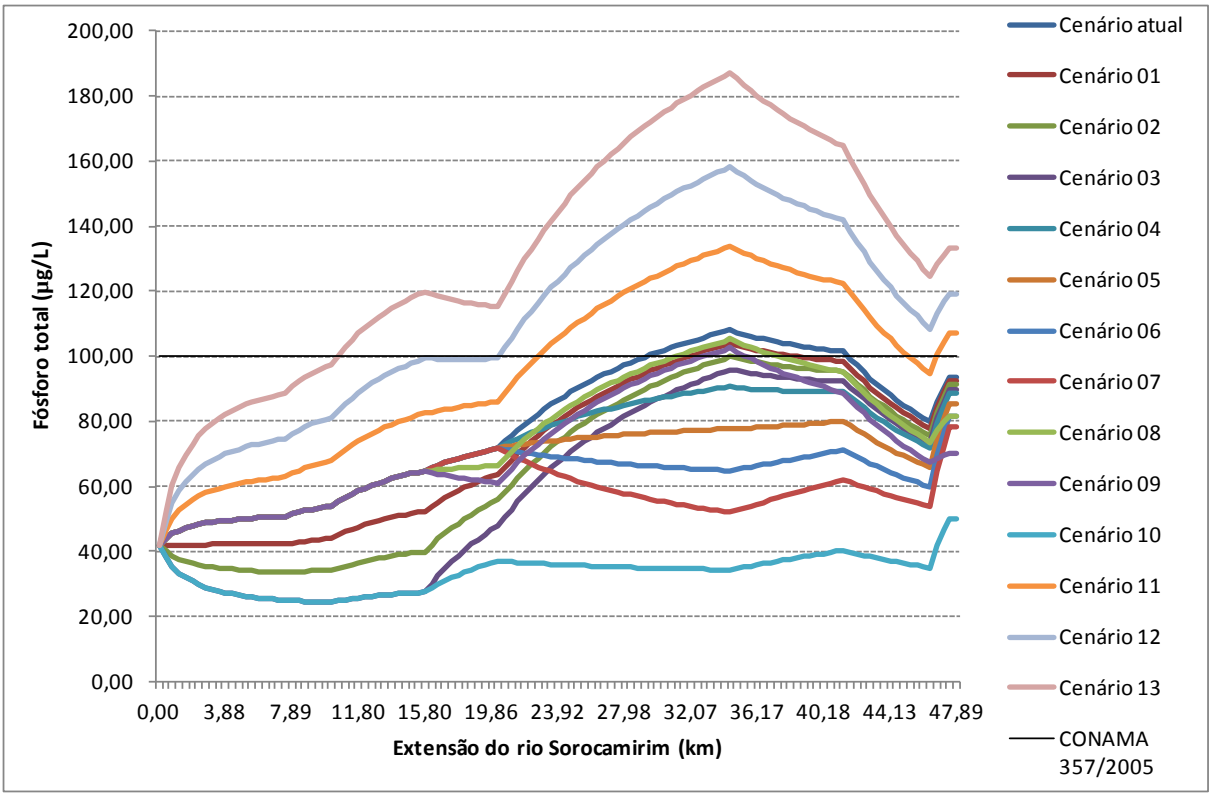

Figura 5.42 - Resultados das simulações dos cenários propostos para as concentrações de fósforo total ($\mu g.L^{-1}$) no período de chuvas do rio Sorocamirim

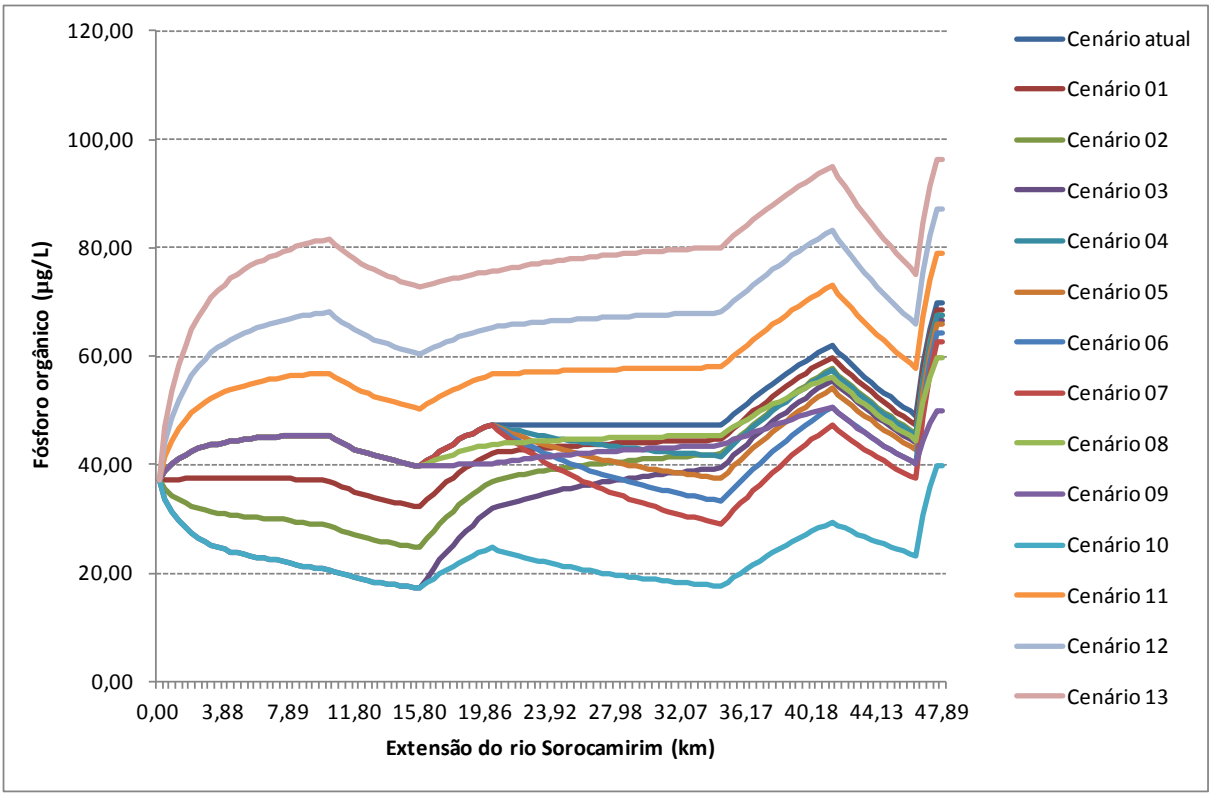

Figura 5.43 - Resultados das simulações dos cenários propostos para as concentrações de fósforo orgânico ($\mu g.L^{-1}$) no período de chuvas do rio Sorocamirim

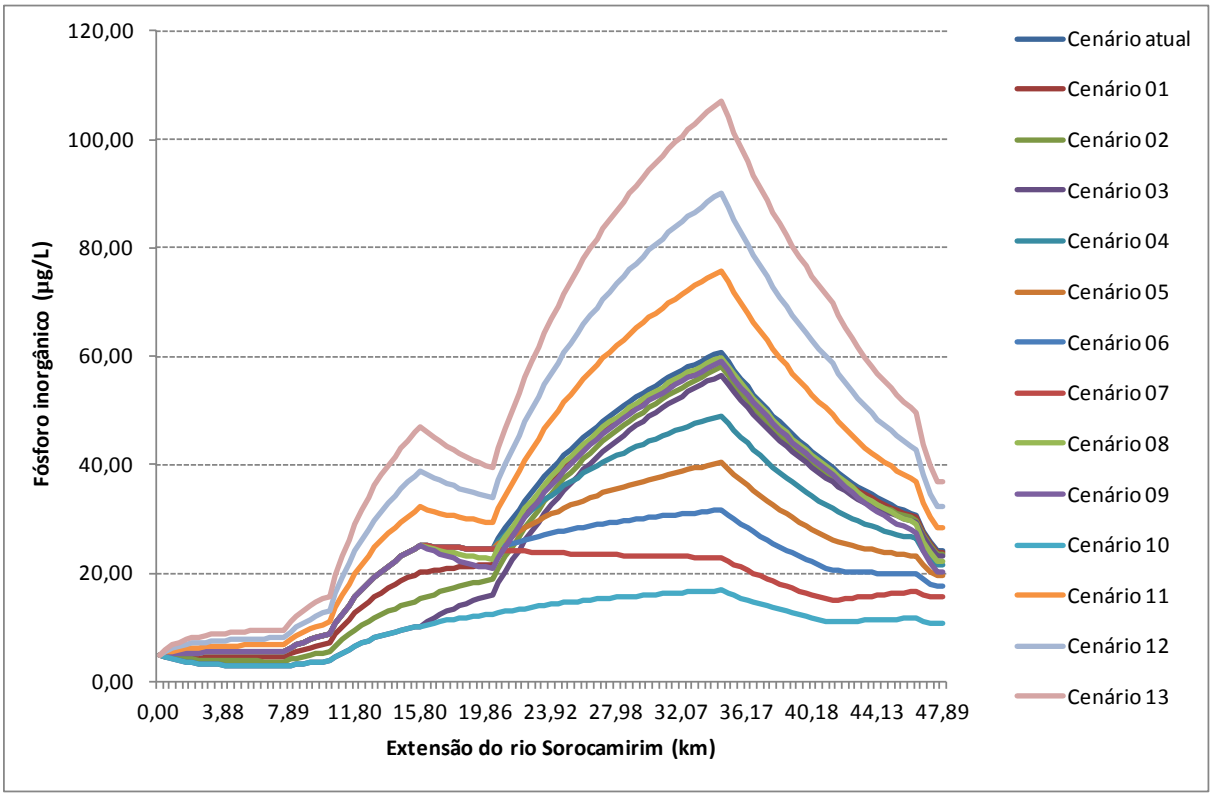

Figura 5.44 - Resultados das simulações dos cenários propostos para as concentrações de fósforo inorgânico (µg.L^{-1}) no período de chuvas do rio Sorocamirim

SILVINO (2008) calibrou o modelo QUAL2K para as variáveis DBO, oxigênio dissolvido e *Escherichia Coli*. Foram simulados diversos cenários hipotéticos relacionados às políticas de gestão dos recursos hídricos na bacia do rio Coxipó/MT. As simulações indicaram que para a melhoria da qualidade da água deste corpo de água também seria necessária forte intervenção em saneamento.

Também, FANG e colaboradores (2008) utilizaram o modelo QUAL2K para avaliar a distribuição espacial de DBO no rio Qiantang, China. O modelo foi calibrado e validado com dados ambientais do período de 2000 a 2004 e considerando a condição de baixo fluxo. Os resultados das simulações efetuadas (cenário com redução de 25% das águas residuárias e cenário com nível de DBO abaixo de 30 mg/L) mostraram que um controle da carga de DBO total diária deve ser efetuado para controlar a poluição neste rio, indicando a necessidade do tratamento das águas residuárias.

MOCCELLIN (2010) utilizou o modelo QUAL2K na modelagem da qualidade da água do rio Jacupiranquinha/SP em função das variáveis oxigênio dissolvido, DBO, sólidos suspensos inorgânicos, nitrato, fósforo orgânico e coliformes fecais. As simulações do modelo apresentaram boa concordância com os dados observados e, através dos cenários simulados, o

modelo indicou que o tratamento do esgoto doméstico e industrial se apresenta como um elemento chave para a manutenção da qualidade deste corpo de água.

SARDINHA e colaboradores (2008) utilizaram o modelo QUAL2K para modelar a autodepuração do Ribeirão do Leme/SP. Dentre as variáveis disponíveis para simulação foi utilizado apenas o oxigênio dissolvido. A modelagem conseguiu identificar as varias zonas de autodepuração e permitiu concluir que a implantação, na cidade de Leme/SP, de um sistema de tratamento secundário com eficiência de 76 % garantirá conformidade com a resolução CONAMA 357 para a variável avaliada, ou seja, a concentração de oxigênio dissolvido neste corpo de água permanecerá acima de 5,0 mg/L (valor recomendado para rios de classe 2).

5.2.2.3 Classificação do estado trófico da água do rio Sorocamirim nos cenários

A partir das concentrações de fósforo total simuladas nos cenários propostos, foi estimado o estado de trofia do rio Sorocamirim, nos diferentes pontos de amostragem e para os dois períodos estudados.

Nas Tabelas 5.13 e 5.14 são apresentados os valores do IET para os períodos de estiagem e de chuvas, respectivamente. Conforme esperado, para ambos os períodos, os menores índices ocorreram para o cenário mais otimista (Cenário 10) e os piores, para o cenário mais pessimista (Cenário 13), sendo que no período de chuvas o aumento do IET nos cenários pessimistas é mais significativo que no de estiagem.

Além disso, no período de estiagem, nota-se que os cenários com coleta e tratamento do efluente doméstico do município de Vargem Grande Paulista são os que apresentaram maior melhora do índice de trofia, corroborando que o impacto causado no rio Sorocamirim por este efluente é significativo, mesmo não sendo feito o lançamento diretamente neste manancial, e sim no seu principal tributário, o ribeirão Vargem Grande.

Tabela 5.13 - Classificação dos pontos de amostragem quanto ao nível de trofia para os diferentes cenários simulados - Período de estiagem

	Cenário Atual	Cenário 01	Cenário 02	Cenário 03	Cenário 04	Cenário 05	Cenário 06	Cenário 07	Cenário 08	Cenário 09	Cenário 10	Cenário 11	Cenário 12	Cenário 13
J-01	49,45	49,45	49,45	49,45	49,45	49,45	49,45	49,45	49,45	49,45	49,45	49,45	49,45	49,45
J-02	46,74	45,90	44,90	43,65	46,74	46,74	46,74	46,74	46,74	46,74	43,65	47,74	48,55	49,38
J-03	46,79	45,94	44,92	43,65	46,79	46,79	46,79	46,79	46,79	46,79	43,65	47,80	48,61	49,45
J-04	49,86	48,88	47,68	46,11	49,86	49,86	49,86	49,86	49,84	49,82	46,04	50,99	51,89	52,80
J-05	47,11	46,41	45,60	44,65	47,11	47,11	47,11	47,11	46,95	46,78	44,03	48,04	48,80	49,60
J-06	54,59	54,51	54,44	54,36	53,34	52,17	50,65	48,50	54,57	54,55	47,53	55,76	56,67	57,58
J-07	53,51	53,45	53,38	53,31	52,53	51,65	50,59	49,27	53,32	53,11	47,73	54,57	55,39	56,23
J-08	52,59	52,53	52,48	52,43	51,82	51,16	50,42	49,55	52,23	51,84	47,73	53,53	54,27	55,02
J-09	57,23	57,22	57,21	57,19	57,05	56,92	56,78	56,64	56,37	55,34	54,40	57,83	58,30	58,79

Tabela 5.14 - Classificação dos pontos de amostragem quanto ao nível de trofia para os diferentes cenários simulados – Período de chuvas

	Cenário Atual	Cenário 01	Cenário 02	Cenário 03	Cenário 04	Cenário 05	Cenário 06	Cenário 07	Cenário 08	Cenário 09	Cenário 10	Cenário 11	Cenário 12	Cenário 13
J-01	0,00	53,35	53,35	53,35	53,35	53,35	53,35	53,35	53,35	53,35	53,35	53,35	53,35	53,35
J-02	7,49	54,33	53,37	52,18	50,64	54,33	54,33	54,33	54,33	54,33	54,33	50,64	55,45	56,34
J-03	10,23	54,64	53,59	52,28	50,51	54,64	54,64	54,64	54,64	54,64	54,64	50,51	55,84	56,77
J-04	16,21	55,67	54,63	53,34	51,61	55,67	55,67	55,67	55,67	55,61	55,56	51,36	56,88	57,82
J-05	20,27	56,13	55,52	54,83	54,03	56,13	56,13	56,13	56,13	55,73	55,29	52,70	57,07	57,82
J-06	34,53	58,26	58,06	57,85	57,64	57,34	56,55	55,60	54,45	58,12	57,99	52,30	59,37	60,24
J-07	41,36	57,93	57,77	57,61	57,44	57,27	56,71	56,09	55,38	57,60	57,24	53,13	58,91	59,67
J-08	46,51	56,68	56,54	56,40	56,25	56,13	55,68	55,19	54,65	56,26	55,81	52,40	57,57	58,28
J-09	47,89	57,52	57,45	57,38	57,30	57,24	57,03	56,81	56,57	56,81	56,00	54,28	58,22	58,78

Legenda

Ultraoligotrófico | Oligotrófico | Mesotrófico | Eutrófico | Supereutrófico | Hipereutrófico

6 CONCLUSÕES

Em relação às variáveis limnológicas, água e sedimento do rio Sorocamirim, conclui-se que:

- De acordo com os resultados obtidos nesta pesquisa, pode-se dizer que o rio Sorocamirim segue os preceitos do Conceito de Descontinuidade de Ligação (RICE et al. 2001), com grande influência do pulso de inundação anual, segundo o conceito The Flood Pulse Concept proposto por JUNK, BAYLEY & SPARKS (1989).
- As alterações da qualidade da água do rio Sorocamirim, em relação à concentração de nutrientes, indicam que este manancial sofre impactos decorrentes da urbanização. Tais impactos podem ser atribuídos ao escoamento superficial urbano de águas pluviais, ao lançamento do efluente da ETE de Ibiúna e, principalmente, ao lançamento clandestino de esgoto "in natura" pois, segundo o Relatório da CETESB (CETESB, 2012), grande parte dos municípios da sub-bacia não apresentam sistema de coleta e tratamento de esgotos domésticos eficientes.
- Os estudos estatísticos efetuados com as variáveis físicas e químicas da água indicaram que o rio Sorocamirim pode ser dividido em duas regiões de características distintas, uma à montante da entrada do ribeirão Vargem Grande (pontos J-01 a J-05), principal tributário do rio Sorocamirim, e outra à jusante desta (pontos J-06 a J-09), evidenciando que, dentre os impactos decorrentes da urbanização, o mais significativo é o lançamento, sem qualquer tratamento prévio, do esgoto doméstico do município de Vargem Grande Paulista no ribeirão Vargem Grande. Este estudo também evidenciou que o comportamento do rio apresenta as seguintes variações sazonais: período de estiagem (coleta de inverno), período de chuvas (coleta de primavera) e períodos intermediários (coletas de verão e outono).
- A campanha de inverno, durante o período de estiagem, foi fortemente influenciada pela menor vazão do rio Sorocamirim e, consequentemente, pela menor capacidade de diluição, e pelas menores temperaturas, sendo caracterizada por menores valores de turbidez, predominância de valores de pH acima de 6,0, menores concentrações de SST e maiores concentrações de oxigênio dissolvido, com todos os valores em conformidade com a resolução CONAMA 357/2005. Nesta campanha, as concentrações dos nutrientes fósforo e nitrogênio apresentaram comportamentos opostos, tendo sido observadas baixas concentrações de fósforo total dissolvido e

elevadas concentrações de nitrato, com valores próximos aos observados na coleta de primavera.

- A campanha de primavera foi fortemente influenciada pela ocorrência de chuvas intensas nos dias antecedentes à coleta, sendo caracterizada por maiores valores de turbidez, predominância de valores de pH abaixo de 6,0, concentrações mais elevadas de SST, com predominância de sólidos suspensos inorgânicos, e as menores concentrações de oxigênio dissolvido, com quatro pontos que apresentaram com concentrações abaixo do limite 5,0 $mg.L^{-1}$ estabelecido pela resolução CONAMA 357/2005, e as maiores concentrações de nutrientes.
- Um fator que influencia a concentração de nutrientes neste corpo de água é a mudança na dinâmica do escoamento, pois nas regiões dos pontos J-05 e J-8, que têm comportamento lêntico devido às áreas alagadas, é favorecida a deposição de sólidos e o processo de depuração, responsável pelo decréscimo nas concentrações de oxigênio e de nutrientes na água, e acréscimo da concentração de nutrientes no sedimento.
- As elevadas concentrações de sólidos suspensos e nitrato observadas no período de chuvas (coleta de primavera) pode ser reflexo da contribuição do escoamento superficial na qualidade da água do rio Sorocamirim, indicando que, além de intervenções em saneamento, são necessárias intervenções no uso e ocupação do solo, com reconstituição da mata ciliar, controle da aplicação de fertilizantes para evitar perdas de nitrogênio e/ou fósforo por escoamento superficial, implantação de contenções em áreas suscetíveis a erosão, etc.
- De maneira geral, verifica-se que a qualidade da água do rio Sorocamirim tende a permanecer em estado mesotrófico na maior parte dos pontos estudados e na maior parte tempo.
- O sedimento foi classificado predominantemente como mineral, apresentando características orgânicas somente em alguns pontos, especialmente no inverno (pontos J-05, J-06, J-08 e J-09), mostrando que as menores vazões e velocidades de escoamento favorecem a troca de nutrientes do sedimento com a coluna de água e a sedimentação de partículas orgânicas.
- As baixas concentrações de fósforo total no sedimento do rio Sorocamirim decorrem das características da sua sub-bacia e do uso e ocupação do solo na mesma, pois em diversos trechos deste manancial é verificada a ausência de mata ciliar que, associada

às atividades agrícolas, provoca a suscetibilidade desta sub-bacia à erosão e deste manancial ao assoreamento e à formação de bancos de areia.

- No rio Sorocamirim, as variáveis biológicas clorofila a e feofitina apresentaram tendências inversas, ou seja, quando uma aumenta a outra tende a diminuir. As concentrações mais elevadas de ambas as variáveis foram observadas no período de estiagem (coleta de inverno).
- A carga de COT estimada para o rio Sorocamirim no período de estiagem corresponde a 47,8 % da carga estimada para o rio Sorocaba, ou seja, 36,1 % da carga estimada para o reservatório de Itupararanga.

Em relação à calibração e validação do modelo QUAL2K e a simulação de cenários como ferramenta para gestão deste recurso hídrico, conclui-se que:

- O modelo QUAL2K foi utilizado para simulação da qualidade da água do rio Sorocamirim e, uma vez que a calibração do modelo com os dados reais resultou representativa, este pode ser utilizado como ferramenta para gerenciamento deste recurso hídrico e tomada de decisão.
- Os cenários 1 a 10, os quais simularam melhorias nos sistemas de coleta e tratamentos dos esgotos domésticos, mostram que a adoção de políticas públicas preocupadas com a degradação dos recursos hídricos podem ter grande efeito na manutenção do ecossistema aquático, podendo produzir redução dos impactos e melhora significativa da qualidade da água.
- Os cenários 11, 12 e 13 mostraram que o crescimento populacional, acompanhado pela despreocupação dos tomadores de decisões, com relação a investimentos em saneamento, resultam em graves impactos sobre a qualidade do rio Sorocamirim ao longo de toda sua extensão, de forma que estes superam a capacidade de autodepuração deste manancial, levando a um elevado estado de degradação, muitas vezes irreversível.

7 RECOMENDAÇÕES

No desenvolvimento de trabalhos similares recomendam-se:

- análise da concentração de coliformes, principalmente em regiões com economia baseada em atividades agrícolas, pois, quando em elevadas concentrações, estas podem comprometer o uso da água para irrigação;
- a análise das concentrações de metais na água e no sedimento, devido ao impacto destes compostos na vida aquática;
- maiores números de campanhas de coleta (ao menos 8 coletas anuais, duas em cada estação), coleta em dias consecutivos em uma mesma campanha (para evitar influência de ocorrências pontuais) ou implantação de uma rede de monitoramento, visando a uma avaliação efetiva a longo prazo;
- o levantamento do maior número de informações hidráulicas possíveis para uso do modelo QUAL2K, uma vez que as calibrações mostram-se fortemente dependentes da calibração dos dados hidráulicos;
- implantação de uma rede de monitoramento da qualidade da água e de fontes de poluição pontuais e difusas; e
- quantificação das fontes de poluição difusa para a entrada de dados mais precisos no modelo.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMARAL, K. J. Estuário do rio Macaé: Modelagem computacional como ferramenta para o gerenciamento integrado de recursos hídricos. Tese (Doutorado) Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ. 2003.

American Public Health Association, American Water Works Association and Water Environmental Federation. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21st edition, Washington, USA. APHA, 2005.

ANDERSEN, J. M. An ignition method for determination of total phosphorus in lake sediments. Water Research. 1976, v. 10, n. 4, p. 329-331.

ASSAD, E. D. & SANO, E. E. (1993) Sistemas de informações geográficas: aplicações na agricultura. Planaltina: Embrapa – CPA, 274 p.

BATALHA, B. L. & ROCHA, A. A. Autodepuração nos cursos d'água. Revista DAE. 1986, v. 46, n. 144, p. 27-32.

BENASSI S. F. Estudo das variáveis limnológicas e do processo de autodepuração na "descontinuidade serial" do Ribeirão Bonito (SP). Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo (USP). 2002.

BITTENCORT, A. G. *et al*. Desenvolvimento de modelo matemático de qualidade da água para implantação da agência de bacia do Rio das Velhas. In: 19º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. 1997.

BONETO, R. M. C. G. B. (2007) Aspectos limnológico-sanitários das águas do rio Caulim na Região Metropolitana de São Paulo. Dissertação (Mestrado) Universidade de São Paulo, Faculdade de Saúde Pública. 2007.

BORDALO, A.A.; NILSUMRANCHIT, W. CHARLERMVAT, K. Water quality and uses of Bangpakong River (Eastern Thailand) Water Research. 2001, v.35, n15, p. 3635-42.

BOTTINO, F. (2008) Estudo experimental matemático de qualidade de água com base na ecohidrologia fluvial de pequenas bacias: Estudo de caso do rio Canha, Baixo Ribeira do Iguape, SP. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo (USP). 2008.

BRASIL. Código de Água de 1934. Código de Águas: e legislação correlata. Brasília: Presidência da República, Casa Civil, Subchefia para Assuntos Jurídicos. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/d24643.htm> Acesso em: 20/12/2012.

BRASIL. Lei Federal nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Brasília: Presidência da República, Casa Civil, Subchefia para Assuntos Jurídicos. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L6938.htm> Acesso em: 20/12/2012.

BRASIL. Constituição de 1988. Constituição da República Federativa do Brasil: Texto constitucional promulgado em 5 de outubro de 1988. Brasília: Presidência da República, Casa Civil, Subchefia para Assuntos Jurídicos. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicaocompilado.htm> Acesso em: 20/12/2012.

BRASIL. Lei Federal nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Brasília: Presidência da República, Casa Civil, Subchefia para Assuntos Jurídicos. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9433.htm> Acesso em: 20 de dezembro de 2012.

BROWN, L, C. & BARNWELL, T. O. Jr. “The Enhanced Stream Water Quality Model QUAL2E and QUAL2EUNCAS: Computer Program Documentation and User Manual.” Athens: United States Environmental Protection Agency, 1987, 189 p.

BUBEL, A. P. M. Caracterização limnológica do Rio do Peixe (microrregião geográfica de Botucatu-SP), em duas épocas do ano (períodos e seca e chuva). Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo (USP). 1998.

CALIJURI, M. C. ; DEBERDT, G. L. B. ; MINOTI, R. T. A produtividade primária pelo fitoplâncton na Represa de Salto Grande (Americana - SP). In: Raoul Henry. (Org.). Ecologia de Reservatórios: Estrutura, Função e Aspectos Sociais. Botucatu: FUNDIBIO FAPESP, 1999, v. , p. 109-148

CALIJURI, M.C. & BUBEL, A.P.M. Conceituação de Microbacias. In: LIMA, W. P. & ZAKIA, M. J. B. As florestas plantadas e a água: Implementando o conceito da microbacia hidrográfica como unidade de planejamento. São Carlos: Ed. RiMA, 2006, 226 p.

CÂMARA, C. D.; LIMA, W. P. & ZAKIA, M. J. B. Critérios e indicadores hidrológios de monitoramento em microbacias. In: Lima, W. P. & ZAKIA, M. J. B. (eds) As florestas plantadas e a água: Implementando o conceito de microbacia hidrográfica como unidade de planejamento. São Carlos: Ed. Rima, 2006. 226 p.

CASALI, S. P. A comunidade fitoplanctônica no reservatório de Itupararanga (bacia do rio Sorocaba, SP). Tese (Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo (USP). 2014.

CETESB. Relatório de qualidade das águas interiores do estado de São Paulo 2002. São Paulo, 2003. Disponível em: < http://www.cetesb.sp.gov.br/publicacoes/publicacoes.asp >. Acesso em: 17/10/2012.

_____. Relatório de qualidade das águas interiores do estado de São Paulo 2003. São Paulo, 2004. Disponível em: < http://www.cetesb.sp.gov.br/publicacoes/publicacoes.asp >. Acesso em: 17/10/2012.

_____. Relatório de qualidade das águas interiores do estado de São Paulo 2004. São Paulo, 2005. Disponível em: < http://www.cetesb.sp.gov.br/publicacoes/publicacoes.asp >. Acesso em: 17/10/2012.

_____. Relatório de qualidade das águas interiores do estado de São Paulo 2005. São Paulo, 2006. Disponível em: < http://www.cetesb.sp.gov.br/publicacoes/publicacoes.asp >. Acesso em: 17/10/2012.

_____. Relatório de qualidade das águas interiores do estado de São Paulo 2006. São Paulo, 2007. Disponível em: < http://www.cetesb.sp.gov.br/publicacoes/publicacoes.asp >. Acesso em: 17 out. 2012.

_____. Relatório de qualidade das águas interiores do estado de São Paulo 2007. São Paulo, 2008. Disponível em: < http://www.cetesb.sp.gov.br/publicacoes/publicacoes.asp >. Acesso em: 17/10/2012.

_____. Relatório de qualidade das águas interiores do estado de São Paulo 2008. São Paulo, 2009. Disponível em: < http://www.cetesb.sp.gov.br/publicacoes/publicacoes.asp >. Acesso em: 17/10/2012.

_____. Relatório de qualidade das águas superficiais no estado de São Paulo 2009. São Paulo, 2010. Disponível em: < http://www.cetesb.sp.gov.br/publicacoes/publicacoes.asp >. Acesso em: 17/10/2012.

_____. Relatório de qualidade das águas superficiais no estado de São Paulo 2010. São Paulo, 2011. Disponível em: < http://www.cetesb.sp.gov.br/publicacoes/publicacoes.asp >. Acesso em: 17/10/2012.

_____. Relatório de qualidade das águas superficiais no estado de São Paulo 2011. São Paulo, 2012. Disponível em: < http://www.cetesb.sp.gov.br/publicacoes/publicacoes.asp >. Acesso em: 17/10/2012.

_____. Relatório de qualidade das águas superficiais no estado de São Paulo 2012. São Paulo, 2013. Disponível em: < http://www.cetesb.sp.gov.br/publicacoes/publicacoes.asp >. Acesso em: 10/05/2013.

CHAPRA, S. C. Surface water-quality modeling. McGraw-Hill Series in Water Resources and Environmental Engineering. 1997, 844 p.

CHAPRA, S. C.; PELLETIER, G. & TAO, H. QUAL2K: A modeling framework for simulating river and stream water quality. Version 2.11: Documentation and Users Manual. Civil and Environmental Engineering Dept., Tufts University, Medford, MA, 2008, 109 p.

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA 357 de 17 de março de 2005: Diário Oficial da União 2005.

COX, B. A. A review of currently available in-stream water-quality models and their applicability of simulation dissolved oxygen in low-land rivers. The Science of the Total Environment. 2003, v. 314-316, p. 335-377.

DI BERNARDO, L., DANTAS, A. D. B., VOLTAN, P. E. N. V. Tratabilidade de água e dos resíduos gerados em estações de tratamento de água. São Carlos, Ed. LDiBe, 2011, 454p.

DOMINGOS, M.D. Limnologia do rio Betari (Iporanga,SP) e a relação com o estado de conservação de sua bacia hidrográfica – subsídios para o desenvolvimento sustentável. Tese (Doutorado) apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2002, 272p.

ELWOOD, et al. Resource spiraling: an operation paradigm for analyzing lotic ecosystems. In: The dynamics of lotic ecosystems. Ann Arbor Publishers, Ann, Arbor, MI, 3. 1983.

ESPÍNDOLA, E. L. G.; BRIGANTE, J. Limnologia fluvial: um estudo no rio Mogi-Guaçu. São Carlos: RiMa, 2003.

FANG, X. *et al*. Qual2k model used in the water quality assessment of Qiantang river, China. Water Environment Research. 2008, v. 80, n. 11, p. 2125-2133.

GONÇALVES, J. C. S. I. Desenvolvimento de modelo numérico para simulação da qualidade da água de rios utilizando o software Vensin PLE. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo (USP). 2009.

ESTEVES, F. D. A. Fundamentos de limnologia. Interciência: FINEP, 1988.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, (2012). Tabela das estimativas das populações residentes. Disponível em www.ibge.gov.br. Acesso em 11/06/2012.

JONNALAGADDA, SB.; MHERE, G. Water quality of the Odzi River in the eastern highlands of Zimbabwe. Water Research. 2001, v. 35, n.10, p.2371-76.

JUNK, W. J.; BAYLEY, P. B. & SPARKS, R. E. The Flood River Concept in river-floodplain systems. In: D. P. Dodge [ed.] Proceedings of the International Large River Symposium. Can. Spec. Pubi. Fish. Aquat. Sci. 1989, v. 106. p. 110-127.

KNAPIK, H. G.; FERNANDES, C. V. S. & BASSANESI, K. Qualidade da água da bacia do rio Iguaçu: diferenças conceituais entre os modelos QUAL2E e QUAL2K. Revista Brasileira de Recursos Hídricos – RBRH. 2011, v. 16, n. 2, p. 75-88.

LIMA, C. A. A. O uso do modelo QUAL2E na simulação da qualidade do rio Jacaré-Guaçu. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo (USP). 1997.

LIMA, W. P & ZAKIA, M. J. B As florestas plantadas e a água: Implementando o conceito de microbacia hidrográfica como unidade de planejamento. 1ª edição. São Carlos: Editora Rima, 2006, 226 p.

MANASSARAM, D. M., BACKER, L. C., MOLL, D. M. A Review of Nitrates in Drinking Water: Maternal Exposure and Adverse Reproductive and Developmental Outcomes. Environmental Health Perpectives. 2006, v. 114, n. 3, p. 320-327.

MATSUBARA, K. G. Análises limnológicas e utilização da comunidade de peixes para avaliação dos impactos ambientais na bacia hidrográfica da represa do Lobo, Itirapina/Brotas (São Paulo, Brasil). Trabalho de Graduação - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2013. 87 f.

MILLER, J. N.; MILLER, J. C. Statistics and chemometrics for analytical chemistry.

Prentice Hall, 2005.

MOCCELLIN, J. A microbacia do rio Jacupiranguinha como unidade de estudo para a sustentabilidade dos recursos hídricos no Baixo Ribeira de Iguape-SP. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo (USP). 2006.

MOCCELLIN, J. Estudo da dinâmica fluvial em duas sub-bacias e proposição de cenários para a sustentabilidade dos recursos hídricos no baixo Ribeira do Iguape, SP. Tese (Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo (USP). 2010.

MONTGOMERY, D.R. Process Domains and the River Continuum. Journal of the American Water Resources Asociation. 1999, v. 35, n.2, p.397-410.

MVUNGI, A; HRANOVA, R.K.; LOVE, D. Impact of home industries on water quality in a tributary of the Marimba River, Harare: implications for urban water management. Physics and Chemistry of the Earth. 2003, v. 28, p. 1131-1137.

NEN (1981). Nederlandse Norm NEN 6520. Norma holandesa sobre determinação de clorofila a pelo método do etanol.

NOVELLI, A. Estudo limnológico e ecotoxicológico da água e do sedimento do rio Monjolinho – São Carlos, SP, com ênfase nas substâncias de referência cádmio e cobre. Dissertação (Mestrado), Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. 2005.

NUSCH, E. A. Comparison of different methods for chlorophyll and phaeopigment determination. Arch. Hydrobiologia. 1980, v. 14, p. 14-36.

OSBORNE, L. L., WILEY, M. J. Empirical relationships between land-use cover and stream water-quality in a agricultural watershed. Journal of Environmental Management. 1988, v. 26, n.1, p. 9-27.

ORLOB, G. T. Mathematical modeling of water quality: streams, lakes and reservoirs. International series on applied systems analysis. 1983, v. 12. John Wiley & Sons.

_____ Water-quality modeling for decision making. Journal of Water Resources Planning and Management. 1992, v. 118, n. 3, p. 295 - 307.

PARK, S. S. & LEE, Y. S. A water quality modeling study of the Nakdong, Korea. Ecological Modeling. 2002, v. 152, p. 65-75.

POMPEU, P. S. ALVES, C. B. M., CALLISTO, M. The effects of urbanization on biodiversity and water quality in the Rio das Velhas Basin, Brazil. American Fisheries Society Symposium. 2005, v. 47, p. 11-22.

POFF, N. L. *et al*. The Natural Flow Regime: A paradigm for river conservation e restoration. BioScience. 1197, v. 47, n. 11, p. 769 - 784.

RAUCH, W. *et al*. River water quality modeling: I. State of the art. Water Science and Technology. 1998, V.38, n. 11, p. 237-244.

REBOUÇAS, A. C.; BRAGA, B. & TUNDISI, J. G. Águas doces no Brasil: Capital ecológico, uso e conservação. 3ª edição revisada e ampliada. São Paulo: Escrituras Editora, 2006, 748 p.

RICE, S. P.; GREENWOOD, M. T. & JOYCE, C. B. Tributaries, sediment sources and the longitudinal organization of macroinvertebrate fauna along river systems. Canadian Jounal of Fisheries and Aquatic Sciences. 2001, v. 58, p. 824-840.

RIOS, L. Estudo limnológico e fatores ecológicos em ribeirões e córregos da Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Feijão (Estado de São Paulo). Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo (USP). 1993.

RODRÍGUEZ, M. P. Avaliação da qualidade da água da bacia do Alto Jacaré-Guaçu/SP (Ribeirão do Feijão e Rio do Monjolinho) através de variáveis físicas, químicas e biológicas. Tese (Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo (USP). 2001.

SABANÉS, L. Manejo sócio-ambiental de recursos naturais e políticas públicas: um estudo comparativo dos projetos “Paraná Rural” e “Microbacias”. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Ciências Econômicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), 2002.

SABATER, F.; ARMENGOL, J. & SABATER,S. Measuring discontinuities in the Ter river. Regulated Rivers: Research & Management. 1989, v. 3, p. 133-142.

SALLES, M. H. D. *et al*. Avaliação simplificada de impactos ambientais na bacia do Alto Sorocaba (SP). Revista de Estudos Ambientais – REA. 2008, V. 10, n. 1, p. 6-20.

SANTOS, E.T. Caracterização ambiental da alta bacia do Rio Aquidauana/MS e identificação dos impactos do uso e ocupação do solo na qualidade dos recursos hídricos. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 2000, 132p.

SÃO PAULO (Estado). Lei nº 7.663, de 30 de dezembro de 1991. Estabelece normas de orientação à Política Estadual de Recursos Hídricos bem como ao Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Diário Oficial Estado de São Paulo, 31 de dezembro de 1991. Seção I. Disponível em: <http://www.al.sp.gov.br/legislacao/norma.do?id=18836> Acessado em: 09/12/2012.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria de Estado do Meio Ambiente, Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB. Variáveis de qualidade das águas. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/agua/aguas-superficiais/variaveis.pdf>. Acesso em: 01 mai. 2013.

SARDINHA, *et al*. Avaliação da qualidade da água e autodepuração do Ribeirão do Meio, Leme-SP. Engenharia Sanitária e Ambiental. 2008, v. 13, n. 3, p. 329-338.

SECCHIN, L. F. Caracterização ambiental e estimativa da produção de cargas difusas da área de drenagem da represa de Itupararanga, SP. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo (USP). 2012.

SILVA, A.M.M.; SACOMANI, L.B. Using chemical and physical parameters to define the quality of Pardo River water (Botucatu – SP – Brazil). Water Research. 2000, v.35, n.6; p.1609-16.

SILVA, L. C.; FERNANDES, A. L. V. & OLIVEIRA, W. Análise do uso de ocupação do solo na microbacia Dom Tomaz no município de Três Lagoas-MG. Anais I Semínário de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Paraíba do Sul: o Eucalípito e o ciclo hidrológico, Taubaté, Brasil, IPABHi, 2007, p. 325-330.

SILVINO, A. N. O. Avaliação e modelagem da qualidade da água da bacia do rio Coxipó, no município de Cuiabá-MT. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Mato Grosso – UFMG. Instituto de Física. 2008.

SOUZA, A.D.G.; TUNDISI, J.G. Water quality in watershed of the Jaboatão River (Pernambuco – Brasil): A case study. Brazilian Archieves of Biolgy and Tecnology. 2003, v. 46, n.4, p.711-221.

THOMANN, R. V. The future “Golden Age” of predictive models for surface waterquality and ecosystem management. Journal of Environmental Engineering. 1998, v. 124, n. 2, p. 94-103.

TRINDADE, M. Nutrientes em sedimento da represa Lobo (Brotas-Itirapina/SP) Dissertação (Mestrado). Departamento de Ciências Biológicas, Universidade Federal de São Carlos (UFSCAR). 1980.

TSAKIRIS, G.& ALEXAKIS, D. Water quality models: An overview. European Water. 2012, v. 37, p. 33-46.

TUNDISI, J. G. Água no século XXI: Enfrentando a escassez. 2ª edição. São Carlos. Rima. 2005, 247 p.

TUNDISI, J. G.; MATSUMURA-TUNDISI, T. Limnologia. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

VALENTIN, J. L. Agrupamento e ordenação. In: PERES NETO, P. R.; VALENTIN, J. L.; FERNANDEZ, F. A. S. Tópicos em tratamento de dados biológicos. Oecologia Brasiliensis. 1995, v. 2. p. 27-55.

VANNOTE, J. L. et al. The continuum river concept. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. 1980, v. 37, n.1, p. 732-742.

VON SPERLING, M. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. Volume 1. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 3ª edição. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), 2005, 452 p.

WARD, J. V. & STANFORD, J. A. The Serial Discontinuity Concept in lotic ecosystems. In: FONTAINE, T. D.& BARTHELL, S. M. (1983) Dynamics of lotic ecosystems. Ann Arbor Science Publishers, Ann Arbor, Michigan. 1983, p. 347-356.

WARD, J. V. & STANFORD, J. A. The Serial Discontinuity Concept: Extending the model to floodplain rivers. Regulated Rivers: Research & Management. 1995, Vol. 11, p. 1-10.

ANEXOS

Tabela A.1 - Valores de vazão

Pontos de amostragem	**Coleta de inverno (29/07/2011)**	**Coleta de primavera (18/10/2011)**	**Coleta de verão (08/02/2012)**	**Coleta de outono (18/04/2012)**
J-01	0,051	0,172	0,055	0,043
J-02	0,34	0,935	0,497	0,357
J-03				
J-04	0,365	2,864		
J-05				0,398
J-06				
J-07	1,341	10,059	2,862	2,705
J-08				
J-09	3,155	20,749	5,93	5,094

Tabela A.2 - Valores de velocidade

Pontos de amostragem	Coleta de inverno (29/07/2011)	Coleta de primavera (18/10/2011)	Coleta de verão (08/02/2012)	Coleta de outono (18/04/2012)
J-01	0,22	0,30	0,34	0,36
J-02	0,22	0,42	0,28	0,29
J-03				
J-04	0,08	0,31		
J-05				0,08
J-06				
J-07	0,11	0,49	0,19	0,18
J-08				
J-09	0,14	0,60	0,25	0,2

Tabela A.3 - Valores de turbidez

Pontos de amostragem	**Coleta de inverno (29/07/2011)**	**Coleta de primavera (18/10/2011)**	**Coleta de verão (08/02/2012)**	**Coleta de outono (18/04/2012)**
J-01	15,8	85,8	21,3	17,3
J-02	15,0	71,5	45,6	35,6
J-03	20,0	71,9	44,3	51,7
J-04	23,1	66,6	30,5	35,4
J-05	6,77	53,8	29,8	9,1
J-06	13,4	24,5	15,2	13,2
J-07	11,3	31,8	14,8	14,9
J-08	13,8	28,2	15,3	15,5
J-09	20,5	33,1	17,2	14,3

Tabela A.4 - Valores de sonda

Campanhas de amostragem	Pontos de amostragem	Temperatura ºC	pH	Condutividade (µS/cm)	Oxigênio dissolvido (mg/L)	Oxigênio dissolvido (% saturação)	Potencial redox (mV)
Coleta de inverno (29/07/2011)	J-01	14,49	5,64	44	7,28	71,2	110
	J-02	14,32	6,08	31	7,62	74,3	102
	J-03	14,20	5,94	92	8,49	82,9	109
	J-04	13,50	6,19	38	6,50	62,4	132
	J-05	14,15	6,30	171	6,74	63,2	175
	J-06	14,92	6,11	69	7,11	70,8	177
	J-07	15,31	6,20	75	8,21	82,0	135
	J-08	16,17	6,27	67	8,36	85,0	121
	J-09	15,78	6,08	86	7,51	75,8	178
Coleta de primavera (18/10/2011)	J-01	16,45	6,50	38	7,16	74,5	58
	J-02	16,63	6,07	161	7,74	80,2	29
	J-03	16,84	5,99	45	7,50	77,0	-25
	J-04	16,68	5,80	43	5,32	54,3	-57
	J-05	17,10	5,78	62	3,70	38,5	35
	J-06	17,36	5,63	73	4,58	47,5	146
	J-07	17,45	5,63	104	4,02	41,7	155
	J-08	19,25	5,65	80	5,11	55,4	244
	J-09	18,05	5,81	53	3,22	34,1	5
Coleta de verão (08/02/2012)	J-01	21,79	5,87	304	6,39	71,3	130
	J-02	21,89	6,10	73	6,78	80,8	272
	J-03	21,04	6,09	99	6,74	75,8	183
	J-04	21,08	6,17	64	5,76	64,5	253
	J-05	20,69	6,40	84	1,11	12,3	221
	J-06	22,20	6,36	192	5,55	63,7	279
	J-07	23,03	6,15	67	5,50	63,7	266
	J-08	23,67	6,13	67	5,83	68,3	222
	J-09	23,58	6,25	147	4,47	51,8	219
Coleta de outono (18/04/2012)	J-01	21,50	5,70	30	5,48	69,4	223
	J-02	20,00	5,91	42	7,78	84,8	290
	J-03	20,00	5,72	70	6,92	75,2	303
	J-04	22,00	5,83	53	5,73	61,8	311
	J-05	22,00	5,67	197	1,50	16,4	288
	J-06	22,00	6,09	96	5,90	64,6	312
	J-07	19,44	5,99	70	5,85	64,9	329
	J-08	21,94	5,99	69	6,17	70,1	340
	J-09	21,55	5,42	157	4,84	55,1	278

Tabela A.5 - Valores de alcalinidade

Campanhas de amostragem	Pontos de amostragem	Leitura 1	Leitura 2	Média
Coleta de inverno (29/07/2011)	J-01	16,1	15,9	16,0
	J-02	22,7	22,6	22,6
	J-03	23,8	24,0	23,9
	J-04	30,6	30,8	30,7
	J-05	31,4	31,0	31,2
	J-06	46,6	46,8	46,7
	J-07	43,9	46,6	45,3
	J-08	43,9	44,3	44,1
	J-09	36,7	36,5	36,6
Coleta de primavera (18/10/2011)	J-01	33,35	30,94	32,1
	J-02	37,38	35,28	36,3
	J-03	37,38	38,02	37,7
	J-04	34,40	35,29	34,8
	J-05	35,13	34,80	35,0
	J-06	35,69	38,27	37,0
	J-07	38,43	38,11	38,3
	J-08	33,27	36,09	34,7
	J-09	36,50	37,14	36,8
Coleta de verão (08/02/2012)	J-01	26,75	26,66	26,7
	J-02	36,73	36,33	36,5
	J-03	36,25	36,17	36,2
	J-04	46,89	47,13	47,0
	J-05	58,97	59,46	59,2
	J-06	75,56	74,92	75,2
	J-07	72,74	73,31	73,0
	J-08	71,13	70,81	71,0
	J-09	58,65	58,25	58,4
Coleta de outono (18/04/2012)	J-01	61,39	60,98	61,2
	J-02	69,51	69,11	69,3
	J-03	73,30	73,94	73,6
	J-04	83,69	83,45	83,6
	J-05	91,52	92,08	91,8
	J-06	102,21	101,89	102,0
	J-07	53,41	59,21	56,3
	J-08	59,29	58,81	59,0
	J-09	49,71	49,63	49,7

Tabela A.6 - Valores de carbono total (CT)

Pontos de amostragem	Coleta de inverno (29/07/2011)	Coleta de primavera (18/10/2011)	Coleta de verão (08/02/2012)	Coleta de outono (18/04/2012)
J-01	10,748	4,985	8,396	6,356
J-02	6,655	8,757	10,402	8,635
J-03	6,009	6,182	10,161	8,827
J-04	6,972	8,505	12,398	10,54
J-05	9,613	9,345	14,388	12,58
J-06	11,771	8,752	17,699	12,63
J-07	11,713	10,282	18,086	12,89
J-08	12,819	12,071	17,761	13,68
J-09	11,063	13,096	14,533	12,21

Tabela A.7 - Valores de carbono orgânico total (COT)

Pontos de amostragem	Coleta de inverno (29/07/2011)	Coleta de primavera (18/10/2011)	Coleta de verão (08/02/2012)	Coleta de outono (18/04/2012)
J-01	5,664	4,610	3,781	2,279
J-02	3,852	8,377	4,446	3,175
J-03	2,260	5,698	4,085	2,966
J-04	2,958	5,642	4,658	3,400
J-05	4,425	6,508	4,278	3,429
J-06	4,055	8,360	5,689	2,794
J-07	11,400	7,193	6,256	3,513
J-08	5,596	8,626	6,041	4,527
J-09	4,993	9,289	4,933	4,355

Tabela A.8 - Valores de carbono inorgânico (CI)

Pontos de amostragem	Coleta de inverno (29/07/2011)	Coleta de primavera (18/10/2011)	Coleta de verão (08/02/2012)	Coleta de outono (18/04/2012)
J-01	5,084	0,376	4,615	4,077
J-02	2,803	0,381	5,956	5,46
J-03	3,749	0,484	6,076	5,861
J-04	4,014	2,862	7,740	7,135
J-05	5,188	2,837	10,110	9,147
J-06	7,716	0,392	12,010	9,849
J-07	0,313	3,089	11,830	9,377
J-08	7,223	3,445	11,720	9,148
J-09	6,070	3,807	9,600	7,855

Tabela A.9 - Valores de fósforo total

Pontos de amostragem	Coleta de inverno (29/07/2011)	Coleta de primavera (18/10/2011)	Coleta de verão (08/02/2012)	Coleta de outono (18/04/2012)
J-01	19,80	41,96	16,49	8,65
J-02	10,34	50,70	38,13	27,04
J-03	10,77	53,81	40,82	40,44
J-04	22,07	64,75	33,04	29,34
J-05	10,77	72,83	41,59	15,60
J-06	52,39	107,01	46,91	34,75
J-07	43,19	98,51	56,29	38,72
J-08	38,44	80,46	47,81	28,95
J-09	87,50	93,11	23,61	49,64

Tabela A.10 - Valores de NTK

Pontos de amostragem	Coleta de inverno (29/07/2011)	Coleta de primavera (18/10/2011)	Coleta de verão (08/02/2012)	Coleta de outono (18/04/2012)
J-01	0,0112	0,1652	0,1064	0,1036
J-02	0,0336	0,1036	0,0896	0,0504
J-03	0,028	0,1148	0,0364	0,1148
J-04	0,0868	0,0532	0,0392	0,0224
J-05	0,0672	0,1064	0,056	0,014
J-06	0,1064	0,1148	0,1148	0,014
J-07	0,0448	0,1316	0,0336	0,0196
J-08	0,042	0,112	0	0,028
J-09	0,126	0,1148	0,0868	0,1008

Tabela A.11 - Valores de fósforo total dissolvido

Campanhas de amostragem	Pontos de amostragem	Amostra	Réplica	Média
Coleta de inverno (29/07/2011)	J-01	17,74	17,54	17,64
	J-02	10,77	11,86	11,32
	J-03	12,53	12,07	12,30
	J-04	17,44	12,43	14,94
	J-05	13,59		13,59
	J-06	39,07	46,54	42,81
	J-07	39,03	39,35	39,19
	J-08	34,71	38,65	36,68
	J-09	38,68	37,97	38,33
Coleta de primavera (18/10/2011)	J-01	17,62	15,76	16,69
	J-02	19,42	20,84	20,13
	J-03	31,01	28,77	29,89
	J-04	46,07	48,83	47,45
	J-05	54,27	53,73	54,00
	J-06	77,61	79,67	78,64
	J-07	73,95	65,15	69,55
	J-08	54,59	54,09	54,34
	J-09	61,85	62,96	62,41
Coleta de verão (08/02/2012)	J-01	13,58	12,20	12,89
	J-02	14,79	17,58	16,19
	J-03	20,42	19,36	19,89
	J-04	22,18	26,67	24,43
	J-05	19,22	18,31	18,77
	J-06	45,89	44,54	45,22
	J-07	64,56	60,20	62,38
	J-08	50,20	51,05	50,63
	J-09	72,12	72,57	72,35
Coleta de outono (18/04/2012)	J-01	8,65	8,77	8,71
	J-02	9,96	11,62	10,79
	J-03	16,13	18,47	17,30
	J-04	30,65	32,12	31,39
	J-05	27,32	29,10	28,21
	J-06	38,70	40,11	39,41
	J-07	42,17	42,77	42,47
	J-08	42,91	40,90	41,91
	J-09	47,51	46,62	47,07

Tabela A.12 - Valores de ortofosfato

Campanhas de amostragem	Pontos de amostragem	Amostra	Réplica	Média
Coleta de inverno (29/07/2011)	J-01	6,09	5,89	5,99
	J-02	4,78	5,63	5,21
	J-03	5,07	5,89	5,48
	J-04	6,94	7,25	7,10
	J-05	7,15	6,94	7,05
	J-06	24,55	25,68	25,12
	J-07	12,88	12,65	12,77
	J-08	15,75	15,89	15,82
	J-09	25,55	26,80	26,18
Coleta de primavera (18/10/2011)	J-01	5,14	4,66	4,90
	J-02	5,27	5,69	5,48
	J-03	8,77	8,44	8,61
	J-04	26,57	23,67	25,12
	J-05	25,56	25,41	25,49
	J-06	62,42	57,21	59,82
	J-07	36,30	36,78	36,54
	J-08	37,40	25,95	31,68
	J-09	22,22	24,49	23,36
Coleta de verão (08/02/2012)	J-01	1,64	1,74	1,69
	J-02	7,19	6,17	6,68
	J-03	7,59	7,22	7,41
	J-04	9,86	10,64	10,25
	J-05	5,47	4,77	5,12
	J-06	27,12	27,97	27,55
	J-07	25,56	22,09	23,83
	J-08	18,92	17,94	18,43
	J-09	15,15	20,69	17,92
Coleta de outono (18/04/2012)	J-01	6,25	6,95	6,60
	J-02	4,94	5,77	5,36
	J-03	7,30	6,48	6,89
	J-04	7,72	8,43	8,08
	J-05	4,61	4,20	4,41
	J-06	16,41	14,32	15,37
	J-07	15,81	14,80	15,31
	J-08	13,20	13,25	13,23
	J-09	16,28	15,05	15,67

Tabela A.13 - Valores de sólidos suspensos totais

Campanhas de amostragem	Pontos de amostragem	Amostra	Réplica	Média
Coleta de inverno (29/07/2011)	J-01	6,60	6,70	6,65
	J-02	4,83	4,37	4,60
	J-03	10,10	10,80	10,45
	J-04	10,87	11,97	11,42
	J-05	3,33	3,50	3,42
	J-06	6,70	8,57	7,63
	J-07	6,30	6,03	6,17
	J-08	8,60	8,40	8,50
	J-09	18,60	19,50	19,05
Coleta de primavera (18/10/2011)	J-01	29,80	38,73	34,27
	J-02	33,00	35,57	34,28
	J-03	31,57	32,27	31,92
	J-04	21,07	22,37	21,72
	J-05	14,20	10,47	12,33
	J-06	8,53	7,53	8,03
	J-07	14,47	17,53	16,00
	J-08	8,93	8,73	8,83
	J-09	12,30	10,87	11,58
Coleta de verão (08/02/2012)	J-01	9,23	9,70	9,47
	J-02	30,83	32,93	31,88
	J-03	34,17	33,73	33,95
	J-04	17,57	18,13	17,85
	J-05	22,93	21,53	22,23
	J-06	10,57	11,00	10,78
	J-07	12,20	11,67	11,93
	J-08	11,47	12,13	11,80
	J-09	25,50	26,87	26,18
Coleta de outono (18/04/2012)	J-01	7,20	6,87	7,03
	J-02	16,93	16,53	16,73
	J-03	40,53	41,40	40,97
	J-04	25,20	31,17	28,18
	J-05	10,67	9,67	10,17
	J-06	10,10	9,93	10,02
	J-07	8,83	8,93	8,88
	J-08	8,00	8,67	8,33
	J-09	7,77	7,40	7,58

Tabela A.14 - Valores de sólidos suspensos orgânicos

Campanhas de amostragem	Pontos de amostragem	Amostra	Réplica	Média
Coleta de inverno (29/07/2011)	J-01	2,87	1,63	2,25
	J-02	2,77	2,07	2,42
	J-03	3,80	3,63	3,72
	J-04	2,27	3,93	3,10
	J-05	2,33	2,17	2,25
	J-06	1,53	3,93	2,73
	J-07	2,87	2,10	2,48
	J-08	4,03	1,10	2,57
	J-09	6,33	6,40	6,37
Coleta de primavera (18/10/2011)	J-01	3,67	3,83	3,75
	J-02	7,13	7,40	6,88
	J-03	5,03	18,23	6,67
	J-04	5,10	5,33	3,20
	J-05	8,90	8,20	2,80
	J-06	3,83	3,70	2,67
	J-07	4,60	4,17	4,52
	J-08	5,13	5,00	3,33
	J-09	7,40	7,73	4,12
Coleta de verão (08/02/2012)	J-01	3,67	3,83	3,75
	J-02	7,13	7,40	7,27
	J-03	5,03	18,23	11,63
	J-04	5,10	5,33	5,22
	J-05	8,90	8,20	8,55
	J-06	3,83	3,70	3,77
	J-07	4,60	4,17	4,38
	J-08	5,13	5,00	5,07
	J-09	7,40	7,73	7,57
Coleta de outono (18/04/2012)	J-01	4,00	3,03	3,52
	J-02	4,67	4,47	4,57
	J-03	9,03	9,60	9,32
	J-04	6,73	7,57	7,15
	J-05	4,07	4,10	4,08
	J-06	3,93	3,80	3,87
	J-07	3,37	3,57	3,47
	J-08	3,00	3,60	3,30
	J-09	4,00	3,57	3,78

Tabela A.15 - Valores de sólidos suspensos inorgânicos

Campanhas de amostragem	Pontos de amostragem	Amostra	Réplica	Média
Coleta de inverno (29/07/2011)	J-01	3,73	5,07	4,40
	J-02	2,07	2,30	2,18
	J-03	6,30	7,17	6,73
	J-04	8,60	8,03	8,32
	J-05	1,00	1,33	1,17
	J-06	5,17	4,63	4,90
	J-07	3,43	3,93	3,68
	J-08	4,57	7,30	5,93
	J-09	12,27	13,10	12,68
Coleta de primavera (18/10/2011)	J-01	29,07	31,03	30,05
	J-02	26,10	28,70	27,40
	J-03	25,30	25,20	25,25
	J-04	19,53	17,50	18,52
	J-05	12,27	6,80	9,53
	J-06	5,23	5,50	5,37
	J-07	10,83	12,13	11,48
	J-08	5,50	5,50	5,50
	J-09	8,13	6,80	7,47
Coleta de verão (08/02/2012)	J-01	5,57	5,87	5,72
	J-02	23,70	25,53	24,62
	J-03	29,13	15,50	22,32
	J-04	12,47	12,80	12,63
	J-05	14,03	13,33	13,68
	J-06	6,73	7,30	7,02
	J-07	7,60	7,50	7,55
	J-08	6,33	7,13	6,73
	J-09	18,10	19,13	18,62
Coleta de outono (18/04/2012)	J-01	3,20	3,83	3,52
	J-02	12,27	12,07	12,17
	J-03	31,50	31,80	31,65
	J-04	18,47	23,60	21,03
	J-05	6,60	5,57	6,08
	J-06	6,17	6,13	6,15
	J-07	5,47	5,37	5,42
	J-08	5,00	5,07	5,03
	J-09	3,77	3,83	3,80

Tabela A.16 - Valores de nitrito

Campanhas de amostragem	Pontos de amostragem	Leitura 1	Leitura 2	Média
Coleta de inverno (29/07/2011)	J-01	4,00	3,77	3,89
	J-02	3,72	3,76	3,74
	J-03	4,11	4,57	4,34
	J-04	4,98	5,22	5,10
	J-05	2,22	2,24	2,23
	J-06	79,20		79,20
	J-07	27,20		27,20
	J-08	25,00		25,00
	J-09	37,80		37,80
Coleta de primavera (18/10/2011)	J-01	4,42	4,44	4,43
	J-02	4,60	4,53	4,57
	J-03	7,22	7,06	7,14
	J-04	4,21	4,00	4,11
	J-05	2,83	2,95	2,89
	J-06	3,98	4,16	4,07
	J-07	6,48	6,66	6,57
	J-08	7,12	7,08	7,10
	J-09	6,92	6,80	6,86
Coleta de verão (08/02/2012)	J-01	0,20	0,21	0,21
	J-02	4,19	4,04	4,12
	J-03	4,98	4,90	4,94
	J-04	4,34	4,19	4,27
	J-05	1,72	1,56	1,64
	J-06	13,53	12,54	13,04
	J-07	4,63	4,60	4,62
	J-08	3,64	3,84	3,74
	J-09	6,92	5,55	6,24
Coleta de outono (18/04/2012)	J-01	2,18	2,27	2,23
	J-02	3,78	3,80	3,79
	J-03	5,00	4,97	4,99
	J-04	3,73	3,90	3,82
	J-05	1,11	1,11	1,11
	J-06	17,33	16,98	17,16
	J-07	3,52	3,63	3,58
	J-08	3,08	2,99	3,04
	J-09	6,29	5,79	6,04

Tabela A.17 - Valores de nitrato

Campanhas de amostragem	Pontos de amostragem	Leitura 1	Leitura 2	Média
Coleta de inverno (29/07/2011)	J-01	1,02	1,02	1,02
	J-02	0,58	0,58	0,58
	J-03	0,82	0,83	0,83
	J-04	1,18	1,22	1,20
	J-05	0,88	0,91	0,90
	J-06	2,22	2,22	2,22
	J-07	2,07	2,03	2,05
	J-08	2,09	2,06	2,08
	J-09	1,68	1,67	1,68
Coleta de primavera (18/10/2011)	J-01	0,79	0,75	0,77
	J-02	0,98	0,98	0,98
	J-03	1,23	1,22	1,23
	J-04	1,41	1,39	1,40
	J-05	1,41	1,42	1,42
	J-06	1,78	1,78	1,78
	J-07	2,11	2,10	2,11
	J-08	1,74	1,75	1,75
	J-09	1,76	1,78	1,77
Coleta de verão (08/02/2012)	J-01	0,44	0,44	0,44
	J-02	0,83	0,83	0,83
	J-03	1,05	1,05	1,05
	J-04	1,06	1,06	1,06
	J-05	0,77	0,77	0,77
	J-06	1,23	1,23	1,23
	J-07	1,22	1,23	1,23
	J-08	1,22	1,22	1,22
	J-09	1,15	1,13	1,14
Coleta de outono (18/04/2012)	J-01	0,49	0,51	0,50
	J-02	0,85	0,85	0,85
	J-03	1,11	1,11	1,11
	J-04	1,03	1,03	1,03
	J-05	0,72	0,72	0,72
	J-06	1,21	1,22	1,22
	J-07	1,13	1,15	1,14
	J-08	1,12	1,12	1,12
	J-09	1,05	1,06	1,06

Tabela A.18 - Valores de clorofila

Campanhas de amostragem	Pontos de amostragem	Leitura 1	Leitura 2	Média
Coleta de inverno (29/07/2011)	J-01	0,00	0,00	0,0
	J-02	0,00	0,00	0,0
	J-03	0,00	59,20	29,6
	J-04	0,00	0,00	0,0
	J-05	0,00	0,00	0,0
	J-06	38,48	0,00	19,2
	J-07	0,00	0,00	0,0
	J-08	0,00	0,00	0,0
	J-09	0,00	0,00	0,0
Coleta de primavera (18/10/2011)	J-01	0,99	2,96	2,0
	J-02	2,96	2,96	3,0
	J-03	3,95	0,99	2,5
	J-04	2,96	1,97	2,5
	J-05	0,99	0,00	0,5
	J-06	1,97	5,92	3,9
	J-07	3,95	1,97	3,0
	J-08	5,92	5,92	5,9
	J-09	0,00	5,92	3,0
Coleta de verão (08/02/2012)	J-01	4,93	3,95	4,4
	J-02	1,97	1,97	2,0
	J-03	0,99	0,00	0,5
	J-04	2,96	2,96	3,0
	J-05	0,99	0,99	1,0
	J-06	2,96	7,89	5,4
	J-07	1,97	2,96	2,5
	J-08	2,96	5,92	4,4
	J-09	8,88	6,91	7,9
Coleta de outono (18/04/2012)	J-01	3,95	2,96	3,5
	J-02	2,96	3,95	3,5
	J-03	0,00	2,96	1,5
	J-04	9,87	7,89	8,9
	J-05	1,97	1,97	2,0
	J-06	0,99	1,97	1,5
	J-07	2,96	3,95	3,5
	J-08	3,95	2,96	3,5
	J-09	11,84	10,85	11,3

Tabela A.19 - Valores de feoftina

Campanhas de amostragem	Pontos de amostragem	Leitura 1	Leitura 2	Média
Coleta de inverno (29/07/2011)	J-01	9,87	12,83	11,3
	J-02	16,77	20,72	18,7
	J-03	14,80	0,00	7,4
	J-04	46,37	16,77	31,6
	J-05	50,32	10,85	30,6
	J-06	0,00	55,25	27,6
	J-07	11,35	0,00	5,7
	J-08	38,87	7,89	23,4
	J-09	9,47	17,56	13,5
Coleta de primavera (18/10/2011)	J-01	2,47	0,49	1,5
	J-02	0,00	0,00	0,0
	J-03	0,00	1,09	0,5
	J-04	0,00	0,00	0,0
	J-05	0,00	0,00	0,0
	J-06	1,48	0,00	0,7
	J-07	0,00	1,48	0,7
	J-08	0,00	0,00	0,0
	J-09	4,83	0,00	2,4
Coleta de verão (08/02/2012)	J-01	0,59	0,89	0,7
	J-02	4,24	1,48	2,9
	J-03	2,47	6,12	4,3
	J-04	1,18	1,18	1,2
	J-05	1,78	1,09	1,4
	J-06	1,18	0,00	0,6
	J-07	3,55	3,26	3,4
	J-08	3,26	1,68	2,5
	J-09	4,93	8,29	6,6
Coleta de outono (18/04/2012)	J-01	0,20	0,49	0,3
	J-02	0,00	0,00	0,0
	J-03	5,53	0,49	3,0
	J-04	3,95	4,54	4,2
	J-05	0,00	0,10	0,0
	J-06	3,85	1,48	2,7
	J-07	1,18	0,20	0,7
	J-08	0,89	0,49	0,7
	J-09	2,66	3,65	3,2

Tabela A.20 - Valores de fósforo no sedimento

Pontos de amostragem	Coleta de inverno (29/07/2011)	Coleta de primavera (18/10/2011)	Coleta de verão (08/02/2012)	Coleta de outono (18/04/2012)
J-01	n.d.	0,018	0,007	0,008
J-02	0,008	n.d.	n.d.	n.d.
J-03	n.d.	0,026	n.d.	0,044
J-04	n.d.	0,800	0,182	0,021
J-05	0,045	n.d.	0,036	0,038
J-06	0,117	0,082	0,105	0,113
J-07	0,046	0,142	0,057	0,064
J-08	0,087	0,038	0,039	0,027
J-09	0,499	0,496	0,511	0,483

n.d.: não detectado

Tabela A.21 - Valores de MO no sedimento

Pontos de amostragem	Coleta de inverno (29/07/2011)	Coleta de primavera (18/10/2011)	Coleta de verão (08/02/2012)	Coleta de outono (18/04/2012)
J-01	1,34	5,94	2,90	3,00
J-02	4,72	4,13	0,95	2,88
J-03	2,22	2,79	0,91	1,58
J-04	1,65	14,39	7,55	7,45
J-05	13,57	1,41	10,14	7,95
J-06	16,51	8,97	7,71	11,12
J-07	8,95	8,08	2,88	6,27
J-08	12,65	5,50	9,28	8,75
J-09	15,87	9,69	10,77	11,73

Tabela A.22 - Valores de NTK no sedimento

Pontos de amostragem	Coleta de inverno (29/07/2011)	Coleta de primavera (18/10/2011)	Coleta de verão (08/02/2012)	Coleta de outono (18/04/2012)
J-01	0,392	3,136	1,092	1,176
J-02	1,428	2,044	0,14	0,056
J-03	0,784	1,344	0	2,156
J-04	0,476	7,532	1,68	1,008
J-05	9,352	1,288	4,48	7,672
J-06	12,236	6,86	1,68	9,352
J-07	4,956	3,668	1,484	1,428
J-08	5,320	2,632	2,8	1,400
J-09	7,840	4,62	4,48	2,828