



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"  
Câmpus de Sorocaba

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO em

**Ciências Ambientais**

---

**PEDRO PAULO DOS SANTOS TERSARIOL**

**DIAGNÓSTICO AMBIENTAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO  
CÓRREGO DO BUGRE EM ALUMÍNIO – SP.**

**2015**



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"  
Câmpus de Sorocaba

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO em

**Ciências Ambientais**

---

**PEDRO PAULO DOS SANTOS TERSARIOL**

**DIAGNÓSTICO AMBIENTAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO  
CÓRREGO DO BUGRE EM ALUMÍNIO – SP.**

Dissertação de mestrado apresentada como requisito para a obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais pela Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" / Campus Sorocaba na Área de Concentração Diagnóstico, Tratamento e Recuperação Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. André Henrique Rosa

SOROCABA

2015

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca da Unesp  
Câmpus Experimental de Sorocaba

Tersariol, Pedro Paulo dos Santos.

Diagnóstico ambiental da bacia hidrográfica do córrego do Bugre em Alumínio - SP / Pedro Paulo dos Santos Tersariol, 2015.

78 f.: il.

Orientador: André Henrique Rosa.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista. Câmpus Experimental de Sorocaba, Sorocaba, 2015.

1. Bacias hidrográficas. 2. Água - Qualidade. 3. Alumínio (SP).  
I. Universidade Estadual Paulista. Câmpus Experimental de Sorocaba. II. Título.

**CERTIFICADO DE APROVAÇÃO**

**TÍTULO:** DIAGNÓSTICO AMBIENTAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO DO BUGRE-  
ALUMÍNIO/SP.

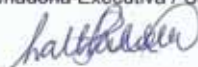
**AUTOR:** PEDRO PAULO DOS SANTOS TERSARIOL

**ORIENTADOR:** Prof. Dr. ANDRE HENRIQUE ROSA

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Ciências Ambientais,  
Área: DIAGNÓSTICO, TRATAMENTO E RECUPERAÇÃO AMBIENTAL, pela Comissão  
Examinadora:



Prof. Dr. ANDRE HENRIQUE ROSA  
Coordenadoria-Executiva Unidade de Sorocaba



Profa. Dra. NATHALIE FERREIRA SILVA DE MELO  
Departamento de Biologia- SLMANDIC



Profa. Dra. ANDREA APARECIDA ZACHARIAS  
Departamento de Geografia- UNESP/Ourinhos

Data da realização: 27 de fevereiro de 2015.

## DEDEDICATÓRIA

*A família que me anima, em especial aos meus pais Ivarne Tersariol e Ilde Santos Tersariol, minha esposa Narally Venturelli Gonfiantini Tersariol e filho Luiz Henrique Gonfiantini Tersariol.*

*A toda sociedade que ocupe um espaço de modo sustentável e o entenda como um sistema orgânico, respeitando ao longo de seu processo de uso e ocupação do solo, as demais formas de vida.*

## AGRADECIMENTOS

*Inicialmente agradeço a Deus, que durante toda minha jornada pessoal e profissional me acompanha, ilumina e dá forças para vencer todos os meus desafios.*

*Ao meu orientador, Prof. Dr. André Henrique Rosa, pela atenção e dedicação dispendidas ao longo destes dois anos de curso.*

*Às técnicas de laboratório, em especial a Letícia Boschini Fraga Gonçalves e Suzan da Silva Lessa por todo suporte técnico e pelos ensinamentos práticos sobre análises químicas.*

*A todos os meus professores e amigos de curso do Programa de Pós Graduação em Ciências Ambientais, principalmente a Claudia Hitomi Watanabe por toda ajuda e atenção. Tive o prazer de conhecer pessoas incríveis que contribuíram muito para minha vida.*

*À minha família, que sempre acreditou em mim e nas possibilidades e maravilhas que a educação proporciona para um indivíduo e uma sociedade de modo geral.*

*Aos meus colegas de trabalho que sempre me incentivaram durante fases difíceis.*

*A cidade de Alumínio, que foi palco deste trabalho.*

*“Temos de nos dar conta (...) que não há outro planeta ao qual recorrer, ou para o qual possamos exportar nossos problemas. Em vez disso, temos de aprender (...) a viver com nossos meios.” Jared Diamond*

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>09</b>
<b>LISTA DE QUADROS E TABELAS.....</b>	<b>11</b>
<b>LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS.....</b>	<b>12</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>13</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>14</b>
<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>15</b>
1.1 Caracterização da área de estudo.....	17
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>19</b>
2.1 Levantamento em campo.....	21
2.2 IVA, IPMCA, IET e IQA.....	22
2.2.1 Variáveis do IVA.....	22
2.2.2 Variáveis do IPMCA.....	23
2.2.3 Variáveis do IET.....	25
2.2.4 Variáveis do IQA.....	26
2.3 Uso do ICP-OES para a determinação de metais.....	26
2.4 Geoprocessamento e diagnóstico ambiental .....	27
2.5 Vazão como um indicador hidrológico.....	28
2.6 Parâmetros da água analisados.....	29
<b>3 OBJETIVO.....</b>	<b>34</b>
3.1 Objetivos específicos.....	34
<b>4 MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>35</b>
4.1 Pontos amostrais e geração de mapas.....	35
4.2 Determinação da vazão da área de estudo.....	36
4.3 Equipamentos, reagentes e métodos utilizados.....	37
4.3.1 Preparação das amostras de metais totais e dissolvidos.	40
4.3.2 Cálculo do IPMCA.....	41
4.3.3 Cálculo do IET.....	41
4.3.4 Cálculo do IVA.....	42
4.3.5 Cálculo do IQA.....	42
4.4 Tratamento estatístico dos dados.....	43
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>44</b>

<b>5.1</b>	<b>Geração de mapas da área de estudo.....</b>	<b>44</b>
<b>5.2</b>	<b>Determinação da vazão.....</b>	<b>46</b>
<b>5.3</b>	<b>Parâmetros in situ.....</b>	<b>48</b>
<b>5.4</b>	<b>Metais.....</b>	<b>50</b>
a.	Cádmio.....	52
b.	Chumbo.....	52
c.	Cobre.....	53
d.	Cromo.....	53
e.	Mercúrio.....	54
f.	Níquel.....	54
g.	Zinco.....	55
<b>5.5</b>	<b>Fenóis e surfactantes.....</b>	<b>56</b>
<b>5.6</b>	<b>Parâmetros físico-químicos e biológicos.....</b>	<b>58</b>
<b>5.7</b>	<b>Determinação do IET, IPMCA, IQA e IVA.....</b>	<b>60</b>
<b>5.8</b>	<b>Análise estatística dos resultados.....</b>	<b>64</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>69</b>
<b>7</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>70</b>

**LISTA DE FIGURAS**

Figura 1 – Localização do Córrego do Bugre na sub-bacia do rio Sorocaba.....	18
Figura 2 – Fluxograma das etapas da pesquisa.....	35
Figura 3 – Localização dos pontos amostrais.....	36
Figura 4 – Molinete Global Water FP 211.....	37
Figura 5 – Espectrofotômetro ICP OES Agilent Séries 700.....	40
Figura 6 – Mapeamento do uso do solo da área de estudo.....	45
Figura 7 – Mapeamento das curvas de nível da bacia hidrográfica do córrego do Bugre.....	45
Figura 8 – Médias pluviométricas de Alumínio.....	46
Figura 9 a) Representação das medidas determinantes da vazão no período de inverno. b) Representação das medidas determinantes da vazão no período de verão.....	47
Figura 10 – Determinação sazonal de condutividade.....	48
Figura 11 – Determinação sazonal de OD.....	48
Figura 12 – Determinação sazonal de pH.....	49
Figura 13 – Determinação sazonal da temperatura.....	49
Figura 14 – Resultados sazonais de Pb total.....	52
Figura 15 – Resultados sazonais de Pb dissolvido.....	52
Figura 16 – Resultados sazonais de Cu total.....	53
Figura 17 – Resultados sazonais de Cu dissolvido.....	53
Figura 18 – Resultados sazonais de Cr total.....	53

Figura 19 – Resultados sazonais de Cr dissolvido.....	54
Figura 20 – Resultados sazonais de Ni total.....	54
Figura 21 – Resultados sazonais de Ni dissolvido.....	54
Figura 22 – Resultados sazonais de Zn total.....	55
Figura 23 – Resultados sazonais de Zn dissolvido.....	55
Figura 24 – Determinação sazonal de fenóis.....	56
Figura 25 – Determinação sazonal de surfactantes.....	57
Figura 26 – Determinação sazonal de clorofila-a.....	58
Figura 27 – Determinação sazonal de DBO.....	58
Figura 28 – Determinação sazonal de fósforo total.....	59
Figura 29 – Determinação sazonal de nitrogênio total.....	59
Figura 30 – Determinação sazonal de sólidos totais.....	59
Figura 31 – Determinação sazonal de turbidez.....	59
Figura 32 – Médias sazonais do IET.....	61
Figura 33 – Médias sazonais do IPMCA.....	61
Figura 34 – Médias sazonais do IQA.....	61
Figura 35 – Médias sazonais do IVA.....	62
Figura 36 – Resultados sazonais da ACP para as componentes do IET.....	64
Figura 37 – Resultados sazonais da ACP para as componentes do IQA.....	64
Figura 38 – Resultados sazonais da ACP para as componentes do IPMCA.....	65
Figura 39 – Resultados sazonais da ACP para as componentes dos parâmetros físico-químicos.....	65
Figura 40 – Mapeamento da qualidade da água do córrego do Bugre.....	67

**LISTA DE QUADROS E TABELAS**

Quadro 1 – Variáveis componentes do IPMCA .....	24
Quadro 2 – Equipamentos e reagentes utilizados.....	39
Tabela 1 – Graus de ponderação do IVA .....	22
Tabela 2 – Graus de ponderação do IPMCA.....	24
Tabela 3 – Classificação do nível de trofia segundo o cálculo de Carlson (1977) modificado por Lamparelli (2004).....	25
Tabela 4 – Pesos dos parâmetros analisados pelo IQA.....	26
Tabela 5 – Graus de ponderação do IQA .....	26
Tabela 6 – Resultados sazonais da vazão do córrego do Bugre .....	46
Tabela 7 – Valores sazonais de R <sup>2</sup> para os metais obtidos .....	51
Tabela 8 – Resultados sazonais dos limites de detecção (LD) e quantificação (LQ) para metais dissolvidos .....	51
Tabela 9 – Resultados sazonais dos limites de detecção (LD) e quantificação (LQ) para metais totais.....	51
Tabela 10 – Resultados sazonais de coliformes fecais.....	57
Tabela 11 – Valores sazonais da relação N:P.....	62

## LISTA DE ABREVIATURA E SIGLAS

ACP = Análise dos componentes principais

ANA = Agência Nacional de Água

CBA = Companhia Brasileira de Alumínio

CETESB = Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental

CONAMA = Conselho Nacional do Meio Ambiente

DBO = Demanda bioquímica de oxigênio

EPA = Environmental Protection Agency

IBGE = Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

ICP OES = Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry

IET = Índice de Estado Trófico

IPT = Instituto de Pesquisas Tecnológicas

IPMCA = Índice de variáveis mínimas para a proteção da vida aquática

IQA = Índice de Qualidade das Águas

IVA = Índice de Qualidade das Águas para Proteção da Vida Aquática e das Comunidades Aquáticas

LD = Limite de detecção

LQ = Limite de quantificação

MMA = Ministério do Meio Ambiente

OD = Oxigênio dissolvido

pH = Potencial hidrogeniônico

SAD = South America Datum

SIG = Sistema de informação geográfica

UGRHI = Unidade de gerenciamento de recursos hídricos

UNT = Unidade nefelométrica de turbidez

TERSARIOL, P.; P. dos; S. Diagnóstico ambiental da bacia hidrográfica do córrego do Bugre em Alumínio – SP [dissertação]. Sorocaba (SP). PGCA - Programa de Pós Graduação em Ciências Ambientais. UNESP – Universidade Estadual Paulista; 2015.

## RESUMO

O crescimento humano que vem ocorrendo após a Revolução Industrial e ao período do pós-guerra vem pressionando drasticamente os recursos naturais. Em Alumínio – SP, a grande concentração urbana deste município está adensada na sub-bacia do córrego do Bugre, comprometendo bastante a qualidade de suas águas, principalmente em perímetro urbano. Neste sentido, o diagnóstico ambiental é fundamental para o acompanhamento e compreensão do estado e da qualidade dos recursos naturais explorados e no auxílio da tomada de decisões. Este trabalho realizou, ao longo de um ano sazonal, o diagnóstico da qualidade da água em três pontos do córrego do Bugre através de parâmetros contemplados no IVA (Índice de Qualidade das Águas para Proteção da Vida Aquática e das Comunidades Aquáticas) e IQA (Índice de Qualidade as Águas) da CETESB. O primeiro ponto localiza-se na nascente (área com vegetação nativa) o segundo e terceiro estão situados em perímetro urbano. Os dados dos parâmetros foram analisados estatisticamente de acordo com a Análise dos Componentes Principais (ACP). Segundo as avaliações dos pontos, foram notáveis as variações da qualidade da água entre os três pontos analisados, as quais ocorreram devido as suas diferentes posições geográficas e também a influência da sazonalidade na concentração das substâncias poluentes. O segundo e terceiro ponto apresentaram níveis muito elevados de vários contaminantes, destacando-se o fósforo e nitrogênio totais, surfactantes, coliformes fecais e clorofila-a, além de alguns tipos de metais, como o cobre e chumbo. A ACP indicou que o IET (Índice de Estado Trófico) se relacionou principalmente com o fósforo, o IQA (Índice de Qualidade da Água) com o OD e IPMCA (Índice de Variáveis Mínimas para a Proteção da Vida Aquática) com a presença de surfactantes. Os resultados evidenciam a necessidade de recuperação de suas características físico-químicas e microbiológicas em perímetro urbano. Soluções como o tratamento de esgoto são indispensáveis para esta recuperação. O planejamento ambiental (amparado pelo zoneamento ambiental) no âmbito da tomada de decisões por parte do poder público torna-se crucial para que as medidas que visem a recuperação deste córrego sejam implantadas.

**Palavras-chave:** diagnóstico, índices, qualidade e água.

TERSARIOL, P.; P. dos; S. Monitoramento e diagnóstico ambiental da bacia hidrográfica do córrego do Bugre em Alumínio – SP [dissertação]. Sorocaba (SP). PGCA - Programa de Pós Graduação em Ciências Ambientais. UNESP – Universidade Estadual Paulista; 2015.

## ABSTRACT

The human growth that has occurred after the Industrial Revolution and the postwar period has been drastically pressing natural resources. Alumínio - SP, the major urban area of this municipality is condensed in the sub-basin of the Bugre stream, rather compromising the quality of its waters, especially in the urban area. In this sense, the environmental assessment is key to monitoring and understanding of the status and quality of exploited natural resources and aid decision making. This work conducted over a seasonal year, the diagnosis of water quality in three Bugre Stream points via parameters contemplated in IVA (the Water Quality Index for the Aquatic Life Protection and Water Communities) and IQA (Index Quality of the Waters) CETESB. The first point is located at the source (the area with native vegetation) the second and third are situated in urban area. Parameter data were statistically analyzed according to the Principal Component Analysis (PCA). According to the evaluations of points were notable variations in water quality between the three points analyzed, which occurred due to their geographical locations as well as the influence of seasonality in the concentration of pollutants. The second and third point showed very high levels of various contaminants, highlighting the phosphorus and total nitrogen, surfactants, fecal coliforms and chlorophyll-a as well as certain types of metals such as copper and lead. The ACP indicated that the IET (Trophic State Index) was related mainly with phosphorus, IQA (Water Quality Index) with the OD and IPMCA (Minimum Variable Index for the Protection of Aquatic Life) with the presence of surfactants. The results highlight the need for recovery of their physicochemical and microbiological characteristics in urban area. Solutions such as sewage treatment are essential for this recovery. Environmental planning (supported by environmental zoning) within the decision-making by the government becomes crucial for the measures for the recovery of this stream are implemented.

**Keywords:** Diagnosis, indexes, quality and water.

## 1. INTRODUÇÃO

O crescimento da população humana que ocorreu após a Segunda Guerra Mundial, exigiu uma maior demanda de consumo e, conseqüentemente, uma exploração mais acentuada dos recursos naturais, indispensáveis à garantia e manutenção da vida na Terra; como os recursos hídricos.

O córrego do Bugre, que é um importante manancial para a bacia do rio Sorocaba, vem sofrendo há pelo menos duas décadas com a poluição de suas águas, resultantes do intenso crescimento populacional somado a falta de um planejamento ambiental consistente. O impacto antrópico é caracterizado pelo lançamento (clandestino ou não) de esgoto doméstico sem nenhum tratamento neste curso hídrico, principalmente em perímetro urbano.

De acordo com o diretor do Departamento Municipal de Planejamento e Obras de Alumínio apenas o esgoto industrial é tratado, o esgoto doméstico é despejado diretamente em dois cursos hídricos: o córrego do Bugre e o ribeirão Varjão (CRUZEIRO DO SUL, 2014).

Os ecossistemas aquáticos acabam de uma forma ou de outra, servindo como reservatórios temporários ou finais de grande variedade e quantidade de poluentes descartados no ar, no solo ou diretamente nos corpos de água. Desta forma, a poluição do ambiente aquático, provocada pelo homem de forma direta ou indireta, mediante a introdução de substâncias inorgânicas ou orgânicas, produz efeitos deletérios tais como: prejuízo aos seres vivos; perigo à saúde humana; efeitos negativos às atividades aquáticas (pesca, lazer, entre outras) e prejuízo da qualidade da água com respeito ao uso na agricultura, indústria e outras atividades socioeconômicas (JUNIOR et al 2008). Segundo Refosco (1996), parte dos efeitos da poluição é neutralizada ou estabilizada pelo corpo receptor, dependendo da proporção da mistura (diluição) e do potencial de estabilização natural das águas. Mas tudo que ultrapassar essa capacidade deverá ser eliminada através de tratamento adequado.

Julio et. al (2008) afirmam que os esgotos domésticos contêm aproximadamente 99,9% de água, e apenas 0,1% de sólidos, os quais provocam a contaminação ou poluição das águas, gerando a necessidade de tratar esses esgotos. Embora o esgoto provoque tantos problemas como poluição, contaminação

bacteriana, o aparecimento de doenças, entre outros, seu tratamento inexistente na maior parte dos municípios brasileiros. O custo de instalação e manutenção é o maior empecilho à sua viabilização, alegam seus administradores, mesmo a rede coletora sendo uma solicitação frequente da comunidade, em virtude desta retirar o esgoto das portas das casas (AISSE, 2000).

Os componentes tecnológicos atuais sugerem uma nova concepção de saneamento envolvendo o tripé formado pelo homem, a natureza e as obras físicas, sem que um dos aspectos predomine sobre os outros, fundamental para se atingir um patamar de dignidade social. Assim, dois aspectos são fundamentais para uma nova abordagem: a educação ambiental e a sustentabilidade do desenvolvimento humano (JULIO et. al. 2008).

Nesta perspectiva, como ferramentas o monitoramento e diagnóstico ambiental auxiliam no sentido de acompanhar a qualidade e propor soluções mais precisas a determinados recursos. Com isso, é possível propor uma conscientização e mobilização da população em torno de seu meio ambiente, de modo a garantir a conservação dos recursos naturais sob diferentes tipos de uso e manejo.

O principal objetivo deste trabalho foi realizar o monitoramento e diagnóstico ambiental do córrego do Bugre por meio do IVA (Índice de Qualidade das Águas para Proteção da Vida Aquática e das Comunidades Aquáticas) e IQA (Índice de Qualidade das Águas), visando apontar os níveis e parâmetros do estado de qualidade deste córrego através das variáveis apresentadas por estes índices. Como objetivos específicos, destacaram-se: o mapeamento temático de uso do solo e das curvas de nível da bacia hidrográfica do córrego do Bugre; as coletas de água em três pontos deste córrego; a medição da vazão do referente córrego no 3º ponto de coleta, próximo a sua foz; a determinação e elaboração de índices diagnósticos de qualidade (IET, IPMCA, IQA e IVA) relacionados à vida aquática e ao abastecimento público e a comparação dos resultados obtidos com os limites da Resolução CONAMA 357/05 para cursos hídricos de classe 3.

## 1.1 Caracterização da área de estudo.

A formação administrativa de Alumínio teve início em 1942, quando assumiu a condição de distrito policial. Posteriormente, em 1980, foi transformado em distrito do município de Mairinque. O município foi criado em 1993. Sua origem e desenvolvimento econômico estão associados à Estrada de Ferro Sorocabana e à imigração japonesa (FUNDAÇÃO FLORESTAL, 2012).

Faz fronteira com os municípios de Mairinque a leste e ao norte; Ibiúna ao sul; Votorantim a sudoeste e Sorocaba a oeste. O município de Alumínio possui 16.839 habitantes e uma área territorial de 84 km<sup>2</sup>, o que corresponde a uma densidade demográfica de 200,92 hab./km<sup>2</sup> (IBGE, 2010). Alumínio situa-se a 75 km da capital paulista, no eixo da Rodovia Raposo Tavares (SP - 270), e possui as seguintes coordenadas geográficas: latitude 23°32'6" S; longitude 47°15'40" W. Apresenta uma altitude média de 800 metros. De acordo com a classificação climática de Köppen, o tipo climático de Alumínio é o Cwa, que abrange toda a parte central do Estado e é caracterizado pelo clima tropical de altitude, com chuvas no verão e seca no inverno, com a temperatura média do mês mais quente superior a 22°C (CEPAGRI, 2013). A bacia hidrográfica do córrego do Bugre localiza-se praticamente em todo o perímetro urbano de Alumínio - SP, que está inserido na UGRHI 10 – Médio Tietê e Sorocaba, no Sudeste do Estado de São Paulo, especificamente compondo as sub-bacias do Alto e Médio Sorocaba (IPT, 2006).

O município de Alumínio está inserido no Planalto Atlântico. O Planalto Atlântico é caracterizado geomorfologicamente como uma região de terras altas, em torno de 700 a 800 metros de altitude em média, correspondendo a um escudo de constituição geológica onde predominam rochas cristalinas de idades pré-cambrianas a cambro-ordovicianas, sendo a Unidade recortada por rochas intrusivas básicas e alcalinas de idade mesozoica a terciária (IPT, 1981). A unidade é recoberta por rochas sedimentares das bacias de São Paulo e Taubaté e limitada à Leste pela Província Geomorfológica Depressão Periférica composta pelas rochas sedimentares paleozoicas da Bacia do Paraná. Ressalte-se que a passagem entre as duas unidades (escudo/bacia) frequentemente encontra-se mascarada, não sendo prontamente perceptíveis seus limites. O Planalto Atlântico possui 13 Zonas Geomorfológicas, a saber, Planalto Atlântico, Planalto do Juqueriquerê, Planalto do

Paraitinga, Planalto da Bocaina, Médio Vale do Paraíba, Serra da Mantiqueira, Planalto do Alto Rio Grande, Serrania de São Roque, Planalto de Jundiá, Serrania de Lindóia, Planalto de Ibiúna, Planalto de Guapira e Planalto do Alto Rio Turvo. Alumínio situa-se geologicamente na sub-bacia do Pirajibu, compondo a bacia hidrográfica do rio Sorocaba (figura 1) (IPT, 1981).

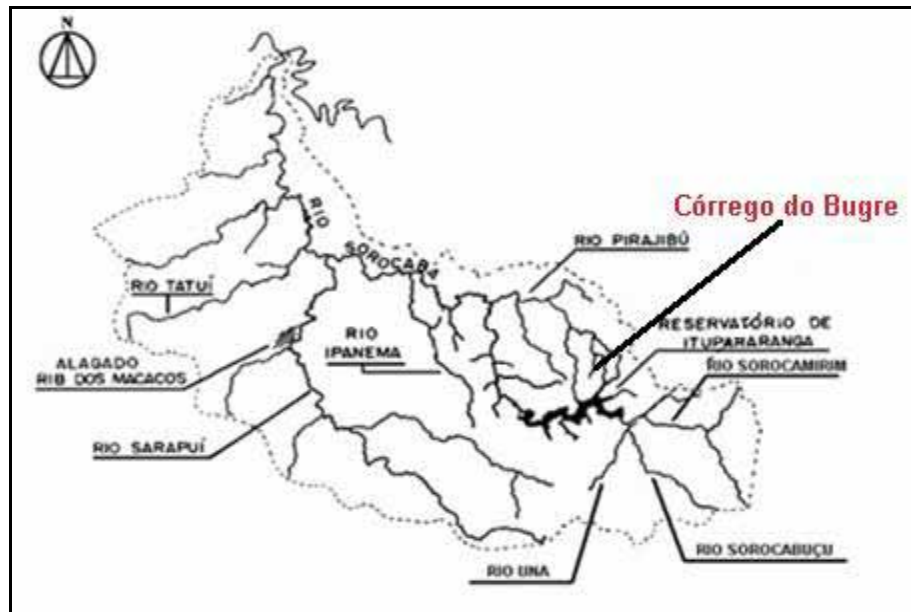


Figura 1 – Localização do C. do Bugre na sub-bacia do rio Sorocaba.  
Fonte: SMITH et al. (2005) adaptado.

A sub-bacia do Pirajibu posiciona-se junto à borda leste da Bacia Sedimentar do Paraná, ocupando em sua grande parte rochas cristalinas pertencentes à região de dobramentos sudeste, Faixa Ribeira, Bloco São Roque e hidrologicamente à Bacia do Médio Tietê/Sorocaba, região de ocorrência do grande sistema aquífero cristalino. As unidades litológicas constituintes do Bloco São Roque na sub-bacia compreendem principalmente os Grupos São Roque e Serra do Itaberaba formados predominantemente por metassedimentos e os Maciços Granitóides Sorocaba e São Francisco recobertos parcialmente por rochas sedimentares do Subgrupo Itararé (SILVA ET. al., 2003).

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A preocupação tardia com o meio ambiente e conseqüentemente com a situação dos recursos naturais é ainda um grande desafio para a sociedade e os governantes atuais. No cenário mundial, começou sistematicamente na década de 1970, com a criação da EPA (Estados Unidos, 1970), Conferências de Stocolmo (Suécia, 1972) e Tbilisi (Geórgia, 1976). No Brasil, a questão ambiental começou a ser melhor discutida na década de 1960, com a Lei do Código Florestal (4771/65), mas apenas nas décadas de 1980, com a Política Nacional do Meio Ambiente (6938/81) e 1990, com a Conferência das Nações Unidas para Meio Ambiente e Desenvolvimento (RIO-92), além da criação da Política Nacional de Recursos Hídricos (9433/97) que esta questão se manifestou de forma mais intensa, respectivamente.

Ainda no cenário nacional, o Art. 2º da Política Nacional do Meio Ambiente (6938/81) (MMA, 2013), garante a preservação, melhoria e recuperação da qualidade ambiental propícia à vida, visando assegurar, no País, condições ao desenvolvimento socioeconômico, aos interesses da segurança nacional e à proteção da dignidade da vida humana.

Em relação aos recursos hídricos, atualmente o Brasil possui um grande arcabouço jurídico, garantido pela Lei 9433/97 (MMA, 2013). No entanto estas políticas não são realizadas (além de exceções) de maneira harmônica entre os municípios, os estados e a união. Além disso, no contexto brasileiro, a maioria dos mananciais situados na zona urbana sofre com o descaso da administração pública e com o crescimento populacional. Existem muitos projetos de despoluição a jusante dos principais focos de despejo, nos rios principais, mas não ocorre uma preocupação evidente em se solucionar a raiz do problema, que são, dentre outros, os pontos de despejos industriais ou domésticos, clandestinos ou não a montante dos principais rios.

O diagnóstico dos problemas ambientais torna-se indispensável para elaboração de um planejamento e na tomada de decisões mais eficazes. O planejamento ambiental do território (ou de uma bacia hidrográfica) transforma-se em um elemento tanto básico como complementar para o desenvolvimento

econômico e social e para a otimização do plano de uso, manejo e gestão de qualquer unidade territorial (SOARES, 2004).

Segundo Santos (2004), inventário e diagnóstico de um planejamento ambiental, representam o caminho para compreender as potencialidades e as fragilidades da área de estudo, da evolução histórica de ocupação e das pressões do homem sobre os sistemas naturais. Também esclarecem sobre os acertos e os conflitos do uso da terra e os impactos passados, presentes e futuros. Estas avaliações consideram variações temporais, espaciais e escalares, em um processo de ir e vir, em diversas combinações. Formam-se retratos da área que comparados, somados e interpolados, ressaltam as principais características e fornecem indícios da dinâmica da região. Dependendo da linha metodológica utilizada, podem-se empregar unidades territoriais ou unidades de paisagem, ou zonas ou cenários. Espera-se, na realidade, compartimentar o espaço em unidades de planejamento e gerenciamento. A cada unidade deve corresponder um conjunto específico de alternativas e ações.

Ocorre frequentemente uma confusão entre os conceitos de planejamento, gerenciamento e zoneamento ambiental, como se fossem sinônimos. O planejamento leva em conta a tomada de medidas; o gerenciamento é o controle e o monitoramento de algo. Por fim, o zoneamento é o estabelecimento de zonas, ou seja, dentro do contexto ambiental o zoneamento é o ordenamento territorial em zonas homogêneas com potenciais ou fragilidades distintas. Dessa forma constata-se que o planejamento ambiental depende exclusivamente, do gerenciamento e do zoneamento (ZACHARIAS, 2006).

O zoneamento ambiental, composto por um conjunto de metodologias (dentre elas o mapeamento temático de uso e ocupação do solo) é indispensável por exemplo na avaliação de potenciais áreas de risco, representando características tanto contínuas quanto dinâmicas da área de estudo. O gerenciamento ambiental podendo ser realizado sazonalmente através do monitoramento de análises físicas, químicas e biológicas do córrego do Bugre fornece uma avaliação temporária da qualidade de suas águas. Ambos são contemplados pelo Estatuto da Cidade, que por sua vez é regido pelo Plano Diretor Municipal (obrigatório apenas em cidades com 20.000 habitantes ou mais).

## 2.1 Levantamento em campo

A coleta é uma etapa muito importante para se avaliar uma área em questão, e deste modo, a amostragem deve ser realizada de forma precavida e técnica com o intuito de evitar a contaminação de amostras, e assim, ser representativo do corpo d'água amostrado (ANA, 2011). Segundo a Agência Nacional das Águas - ANA (2011), a coleta de amostras de água deve tomar alguns cuidados, como verificar a limpeza dos materiais que servirão de deposição e se certificar da ambientação dos mesmos com água do local, não contaminar as amostras com impurezas, dentre outras recomendações, e dependem de 3 três fatores:

- Da matriz a ser amostrada, ou seja, se o corpo d'água é superficial ou não, se é tratado, entre outros;
- Do tipo de amostragem, ou seja, se é amostra simples, composta ou integrada;
- Dos ensaios a serem feitos posteriormente, ou seja, ensaios físico – químicos e microbiológicos.

Para garantir a homogeneidade e representatividade do local de amostragem proposto, as ações a serem tomadas devem ser cuidadosamente planejadas. Atualmente dispõe-se de centenas de variáveis ou determinantes que podem ser empregados para caracterizar um corpo de água, envolvendo parâmetros físicos, químicos, microbiológicos, biológicos, toxicológicos e radiológicos. Esses parâmetros devem ser definidos com o conhecimento adequado do seu significado, abrangência, limitações, confiabilidade, referências para comparações e custos para sua obtenção. As combinações entre essas variáveis não permitem formular planos padrões. Cada caso deve ser estudado individualmente, sendo que os parâmetros e critérios mais empregados incluem os estabelecidos na legislação vigente (CETESB, 2011).

As variáveis mencionadas sofrem alterações principalmente ao longo do espaço e do tempo. Para CETESB (2011), a intensidade dessas variações pode ser reduzida, por exemplo, à medida que o ponto de amostragem se afasta do ponto de lançamento. Portanto, para o estabelecimento do instante e da frequência de coleta

de amostras, deve-se conhecer a variabilidade temporal de cada parâmetro, por local de amostragem. A partir do perfil dessa variabilidade é possível estabelecer o programa de amostragem e o número de amostras que devem ser tomadas. Quanto maior o número de amostras investigadas, melhor será o conhecimento da variabilidade e, conseqüentemente, da estimativa do impacto ambiental.

## 2.2 IVA, IPMCA, IET e IQA.

### 2.2.1 Variáveis do IVA

O IVA tem o objetivo de avaliar a qualidade das águas para fins de proteção da fauna e flora em geral, diferenciado, portanto, de um índice para avaliação da água para o consumo humano e recreação de contato primário. O IVA leva em consideração a presença e concentração de contaminantes químicos tóxicos, seu efeito sobre os organismos aquáticos (toxicidade) e duas das variáveis consideradas essenciais para a biota (pH e oxigênio dissolvido). Essas variáveis são agrupadas no IPMCA – Índice de Variáveis Mínimas para a Preservação da Vida Aquática e no IET – Índice do Estado Trófico de Carlson modificado por Toledo (1990). Desta forma, o IVA através dos graus de ponderação (tabela 1) fornece informações não só sobre a qualidade da água em termos ecotoxicológicos, como também sobre o seu grau de trofia (CETESB, 2007).

Tabela 1 - Graus de ponderação do IVA

<b>Categoria</b>	<b>Ponderação</b>
Ótima	$IVA \leq 2,5$
Boa	$2,6 \leq IVA \leq 3,3$
Regular	$3,4 \leq IVA \leq 4,5$
Ruim	$4,6 \leq IVA \leq 6,7$
Péssima	$IVA \geq 6,8$

## 2.2.2 Variáveis do IPMCA

O IPMCA é composto por dois grupos de variáveis (quadro 1)

**1) O grupo de variáveis essenciais** (oxigênio dissolvido, pH e toxicidade). Para cada variável incluída no IPMCA, são estabelecidos três diferentes níveis de qualidade, com ponderações numéricas de 1 a 3 e que correspondem a padrões de qualidade de água estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/05, e padrões preconizados pelas legislações americana (USEPA, 1991) e francesa (Code Permanent: Environnement et Nuisances, 1986), que estabelecem limites máximos permissíveis de substâncias químicas na água, com o propósito de evitar efeitos de toxicidade crônica e aguda à biota aquática (CETESB, 2007).

**2) Grupo de substâncias tóxicas** (cobre, zinco, chumbo, cromo, mercúrio, níquel, cádmio, surfactantes e fenóis). Neste grupo foram incluídas as variáveis que são atualmente avaliadas pela Rede de Monitoramento de Qualidade das Águas Interiores do Estado de São Paulo e que identificam o nível de contaminação por substâncias potencialmente danosas às comunidades aquáticas.

Esses níveis refletem as seguintes condições de qualidade de água (tabela 2). Nível A: Águas com características desejáveis para manter a sobrevivência e a reprodução dos organismos aquáticos. Atende aos padrões de qualidade da Resolução CONAMA 357/2005 para águas classes I e II - (ponderação 1). As exceções são o Oxigênio Dissolvido (OD) para classe I cujo valor é =6,0 mg/L O<sub>2</sub> e os Fenóis Totais. Nível B: Águas com características desejáveis para a sobrevivência dos organismos aquáticos, porém a reprodução pode ser afetada a longo prazo (ponderação 2). Nível C: Águas com características que podem comprometer a sobrevivência dos organismos aquáticos (ponderação 3).

Grupos	Variáveis	Níveis	Faixa de variação	Ponderação
Variáveis essenciais (PE)	OD (mg/L)	A	≥ 5	1
		B	3 a 5	2
		C	< 3	3
	pH	A	6 a 9	1
		B	5 a < 6 e > 9 a 9,5	2
		C	< 5 e > 9,5	3
	Toxicidade	A	Não tóxico	1
		B	Efeito crônico	2
		C	Efeito agudo	3
Substâncias tóxicas (ST)	Cádmio (mg/L)	A	≤ 0,001	1
		B	> 0,001 a 0,005	2
		C	> 0,005	3
	Cromo (mg/L)	A	≤ 0,05	1
		B	> 0,05 a 1	2
		C	> 1	3
	Cobre (mg/L)	A	≤ 0,02	1
		B	> 0,02 a 0,05	2
		C	> 0,05	3
	Chumbo (mg/L)	A	≤ 0,03	1
		B	> 0,03 a 0,08	2
		C	> 0,08	3
	Mercúrio (mg/L)	A	≤ 0,0002	1
		B	> 0,002 a 0,001	2
		C	> 0,001	3
	Níquel (mg/L)	A	≤ 0,025	1
		B	> 0,025 a 0,160	2
		C	> 0,160	3
	Fenóis (mg/L)	A	≤ 0,001	1
		B	> 0,001 a 0,050	2
		C	> 0,050	3
	Surfactantes (mg/L)	A	≤ 0,5	1
		B	> 0,5 a 1	2
		C	> 1	3
Zinco (mg/L)	A	≤ 0,18	1	
	B	> 0,18 a 1	2	
	C	> 1	3	

Quadro 1 – Variáveis componentes do IPMCA

Tabela 2 - Graus de ponderação do IPMCA

Categoria	Ponderação
Boa	1
Regular	2
Ruim	3 e 4
Péssima	≥ 6

A toxicidade é medida com base na avaliação das variáveis essenciais e do grupo de substâncias tóxicas.

### 2.2.3 Variáveis do IET.

A eutrofização consiste no enriquecimento de um corpo d'água sendo a forma artificial um processo prejudicial ao sistema e que ocorre em um curto espaço de tempo. Este processo tende a comprometer a qualidade da água e do ecossistema por levar às seguintes consequências: redução nas concentrações de oxigênio dissolvido, provocando a morte de muitos organismos, incluindo peixes; proliferação da biomassa fitoplanctônica; aumento das populações de cianobactérias potencialmente tóxicas; proliferação de macrófitas aquáticas, podendo entupir tubulações; e outros problemas, como assoreamento e mau cheiro (TUNDISI; MATSUMURA-TUNDISI, 2008).

O Índice do Estado Trófico (IET) tem por finalidade classificar corpos d'água em diferentes graus de trofia (tabela 3), ou seja, avalia a qualidade da água quanto ao enriquecimento por nutrientes e seu efeito relacionado ao crescimento excessivo das algas ou ao aumento da infestação de macrófitas aquáticas. Nesse índice, os resultados correspondentes ao fósforo total, IET (Pt), devem ser entendidos como uma medida do potencial de eutrofização, já que este nutriente atua como o agente causador do processo. A avaliação correspondente a clorofila-a, IET (CL), por sua vez, deve ser considerada como uma medida da resposta do corpo hídrico ao agente causador, indicando de forma adequada o nível de crescimento de algas que tem lugar em suas águas. Assim, o índice médio engloba, de forma satisfatória, a causa e o efeito do processo (CETESB, 2007).

Tabela 3 - Classificação do nível de trofia segundo o cálculo de Carlson (1977) modificado por Lamparelli (2004)

<b>CLASSIFICAÇÃO DO IET</b>	
<b>Grau de trofia</b>	<b>Min – Max</b>
Ultraoligotrófico	0 – 47
Oligotrófico	47 – 52
Mesotrófico	52 – 59
Eutrófico	59 – 63
Supereutrófico	63 – 67
Hipereutrófico	> 67

### 2.2.3 Variáveis do IQA

O IQA tem finalidade para atender ao abastecimento público. Pode ser calculado utilizando nove parâmetros (tabela 4), onde são estabelecidas curvas de variação de qualidade das águas (onde cada parâmetro tem um peso diferente do outro) de acordo com o estado ou a condição de cada um (CETESB, 2007).

**Tabela 4 – Pesos dos parâmetros analisados pelo IQA**

Parâmetros do IQA	Pesos (w)
OD (mg/L)	0,17
pH	0,12
DBO (mg/L)	0,1
Coliformes termotolerantes (NMP/100 ml)	0,15
Temperatura (°C)	0,1
Turbidez (UNT)	0,08
Resíduo total (mg/L)	0,08
Fósforo total (mg/L)	0,1
Nitrogênio total (mg/L)	0,1

O IQA é um número entre 0 e 100, e suas ponderações estão representadas pela tabela 5 (CETESB, 2007).

**Tabela 5 - Graus de ponderação do IQA**

<b>Classificação do IQA</b>	
Categoria	Ponderação
Ótima	$79 < \text{IQA} \leq 100$
Boa	$51 < \text{IQA} \leq 79$
Regular	$36 < \text{IQA} \leq 51$
Ruim	$19 < \text{IQA} \leq 36$
Péssima	$\text{IQA} \leq 19$

### 2.3 Uso do ICP OES para determinação de metais

A técnica de espectroscopia de emissão atômica por plasma indutivamente acoplado (ICP-OES), é muito utilizada quando precisa realizar a determinação de baixas concentrações de metais e metaloides, isto devido a sua boa sensibilidade, fazer medições precisas e exatas e também proporcionar baixos limites de detecção (PETRY, 2005).

A técnica espectroscópica ICP OES foi utilizada para a leitura de metais neste trabalho, e se baseia na medida da emissão de radiação eletromagnética de átomos e íons gerada a partir de um plasma de argônio (Ar). O plasma é um gás ionizado, normalmente constituído de argônio, gerado dentro de um compartimento do equipamento, denominado compartimento de tocha (PETRY, 2005).

O plasma de Ar possui características fundamentais importantes, entre elas destacam-se a temperatura do gás ( $T_g$ ), temperatura do elétron ( $T_e$ ) e a densidade eletrônica ( $n_e$ ). O plasma exibe alta temperatura do gás (4500 a 8000 K) e do elétron (8000 a 10000 K) e, havendo um longo tempo de residência do aerossol da amostra dentro do plasma (2 a 3 ms), ocorre a sua completa vaporização e a atomização/ionização dos elementos presentes. Com isto, as interferências químicas no plasma são reduzidas e, devido à alta densidade eletrônica no ICP de Ar, as interferências de ionização são pequenas em comparação com a espectrometria de chama, onde a densidade eletrônica é menor (PETRY, 2005).

No Brasil desde a década de 1970, quando foram instalados os primeiros equipamentos de ICP OES seus componentes ópticos e sistemas de detecção vem sendo aprimorados, a fim de se obter resultados mais exatos e precisos. Um exemplo considerável é o emprego da vista axial do plasma (a radiação emitida é focalizada pelo sistema óptico ao longo do canal central do plasma), que proporciona melhores LDs em relação à vista radial (apenas uma pequena parte da radiação é focalizada), em cerca de uma ordem de grandeza, embora os efeitos de matriz sejam mais acentuados. Além disso, alguns instrumentos possuem configuração com ambas as vistas, radial e axial, melhorando a versatilidade da técnica. Os efeitos de matriz (constituintes da amostra) podem ser minimizados pelo uso de um plasma mais robusto, que é obtido mediante o uso de alta potência de radiofrequência (RF) e baixa vazão do gás de nebulização, deixando o plasma em condições onde as interferências são menos severas (PETRY, 2005).

## **2.4 Geoprocessamento e diagnóstico ambiental**

Na perspectiva moderna de gestão do território, toda ação de planejamento, ordenação ou monitoramento do espaço deve incluir a análise dos diferentes

componentes de ambiente, incluindo o meio físico-biótico, a ocupação humana, e seu inter-relacionamento. O conceito de desenvolvimento sustentável, consagrado na Rio-92, estabelece que as ações de ocupação do território devem ser precedidas de uma análise abrangente de seus impactos no ambiente, a curto, médio e longo prazo. Deste modo, pode-se apontar pelo menos quatro grandes dimensões dos problemas ligados aos estudos ambientais que devem ser realizadas em conjunto, onde é grande o impacto do uso da tecnologia de Sistemas de Informação Geográfica: Mapeamento Temático, Diagnóstico Ambiental, Avaliação de Impacto Ambiental, e Ordenamento Territorial (CÂMARA & MEDEIROS, 2001).

O termo Geoprocessamento denota a disciplina do conhecimento que utiliza técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento da informação geográfica. Esta tecnologia influencia de maneira crescente as áreas de Cartografia, Análise de Recursos Naturais, Transportes, Comunicações, Energia e Planejamento Urbano e Regional (CÂMARA & MEDEIROS, 2001).

As ferramentas computacionais para Geoprocessamento, chamadas de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), permitem realizar análises complexas, ao integrar dados de diversas fontes e ao criar bancos de dados geo-referenciados. Tornam ainda possível automatizar a produção de documentos cartográficos. Num país de dimensão continental como o Brasil, com uma grande carência de informações adequadas para a tomada de decisões sobre os problemas urbanos, rurais e ambientais, o Geoprocessamento apresenta um enorme potencial, principalmente se baseado em tecnologias de custo relativamente baixo, em que o conhecimento seja adquirido localmente (CÂMARA & MEDEIROS, 2001).

## **2.5 Vazão como um indicador hidrológico**

Por vazão entende-se o volume de água que passa numa determinada seção do rio por unidade de tempo, a qual é determinada pelas variáveis de profundidade, largura e velocidade do fluxo, e é expressa comumente no sistema internacional (SI) de medidas em  $m^3/s$ . No córrego, de uma margem a outra e da superfície para o leito, o fluxo não flui de forma homogênea, logo, isso implica também na variação da descarga (vazão), a qual varia na seção vertical e transversal ao rio, este fato é

devido à morfologia do rio, em que o atrito da água nas margens e no leito causa um efeito de retardamento da velocidade, assim como o efeito de atrito da lâmina de água superficial com a atmosfera (CARVALHO, 2008).

Os métodos utilizados para determinar a vazão podem ser indiretos ou automáticos, desde um simples objeto lançado na água para estimar a velocidade que percorre em uma determinada distância, até métodos mais precisos como molinetes, doppler acústicos (ADCP – *Automatic Doppler Current Profiler*). Dentre estes, o uso do molinete hidrométrico é o mais difundido, pela facilidade e custo benefício (CARVALHO, 2008).

## 2.6 Parâmetros da água analisados

**Condutividade:** a condutividade é um parâmetro que reflete a capacidade da água de conduzir corrente elétrica e está altamente relacionada à quantidade de sólidos dissolvidos totais e íons dissolvidos na água, refletindo assim o estado da poluição inorgânica do ambiente aquático (JONNALAGADDA & MHERE, 2001).

**Oxigênio dissolvido (OD):** um dos constituintes mais importantes para as espécies aquáticas é o OD. A concentração de OD está diretamente relacionada com as formas de organismos que podem sobreviver num corpo d'água (MANAHAN, 2005). Para a existência de formas de vida aeróbia superior, calcula-se necessária uma concentração mínima de oxigênio dissolvido de  $2 \text{ mg L}^{-1}$ , sendo que espécies mais exigentes podem necessitar no mínimo  $4 \text{ mg L}^{-1}$  (BALLS, et. al. 1996). Altas concentrações de oxigênio dissolvido são indicadores da presença de vegetais fotossintéticos e baixos valores indicam a presença de matéria orgânica ou outros agentes redutores. Dessa forma, o oxigênio dissolvido se torna um dos principais parâmetros para controle dos níveis de poluição das águas. Sua determinação é fundamental para manter e verificar as condições aeróbicas de um corpo d'água que recebe material poluidor (ROSA, et. al. 2009).

**Potencial hidrogeniônico (pH):** O pH é uma característica muito importante da água, pois seu valor tem grande influência em muitas reações químicas que ocorrem no meio ambiente, afetando direta e indiretamente a fisiologia das espécies (BRAGA, et. al. 2005). O valor do pH pode ser alterado significativamente com o

despejo de diversas substâncias no meio aquático decorrente da atividade humana, como as deposições ácidas provenientes da poluição atmosférica (BRAGA, et. al. 2005).

**Temperatura:** Os corpos d'água naturais apresentam variações de temperatura que são parte do seu regime climático normal, com variações sazonais e diurnas, bem como estratificação vertical. Fatores como latitude, altitude, sazonalidade, período do dia, taxa de fluxo e profundidade influenciam significativamente na temperatura (ROSA, et. al. 2009). A temperatura desempenha um papel importante de controle no meio aquático, influenciando o comportamento de uma série de parâmetros físico-químicos. A solubilidade dos gases e a cinética das reações químicas são alteradas pela temperatura, fazendo com que a interação dos poluentes com o ecossistema aquático seja bastante influenciada por sua variação (BRAGA *et al.*, 2005). Além disso, muitas das formas de vida aquática possuem tolerância térmica limitada e temperaturas ótimas para reprodução e crescimento. Grandes elevações de temperatura de um corpo d'água geralmente são provocadas por atividades antrópicas.

**Coliformes fecais:** A água é o maior meio transmissor de doenças de origem entérica, causando inúmeras enfermidades todos os anos, tais como a cólera e a diarreia. Tal contaminação geralmente ocorre por meio de organismos patogênicos que são despejados nos corpos d'água via efluentes urbanos não tratados e cuja água é consumida pela população que vive no entorno da bacia hidrográfica (EGWARI & ABOABA, 2002).

**Clorofila-a:** a clorofila-a concentra-se a partir do aumento da concentração de nutrientes eutrofizantes na água. A biomassa fitoplanctônica cresce de acordo com a existência desses nutrientes e diretamente com o aumento de incidência de luz solar, sendo esse o fator limitante do crescimento algal. Esse parâmetro é variável de acordo com os sedimentos suspensos e da concentração de fitoplâncton. Quanto maior o valor de turbidez, mais se limita a entrada de luz, limitando conseqüentemente a produtividade primária de algas, por conseguinte a concentração de clorofila-a (CULLEN, 1982).

**Demanda bioquímica de oxigênio (DBO<sub>5,20</sub>):** a biodegradação da matéria orgânica presente naturalmente nos ecossistemas aquáticos ocorre devido à presença de microrganismos nas águas, os quais consomem oxigênio para a obtenção de energia. Neste contexto, a quantificação da demanda bioquímica de

oxigênio por 5 dias a 20°C (DBO<sub>5,20</sub>) pode ser entendida como um indicador da quantidade de oxigênio que é consumida pelos microrganismos existentes no corpo d'água, cuja finalidade é degradar a matéria orgânica presente nos efluentes domésticos e industriais e originados pela lixiviação da bacia hidrográfica (ROSA et al., 2004).

**Sólidos totais:** a presença de sólidos pode causar danos aos peixes e à vida aquática. Isto ocorre na medida em que os sólidos se sedimentam no leito dos rios, destruindo organismos que fornecem alimentos, ou também danificando os leitos de desova de peixes. Os sólidos podem reter bactérias e resíduos orgânicos no fundo dos rios, promovendo decomposição anaeróbia. A matéria particulada suspensa provém do pó atmosférico removido pelas chuvas, do contato com a terra, fibras vegetais, vegetação em decomposição, resíduos de animais aquáticos, algas, plâncton, ressuspensão de sedimentos, etc. Depois duma tempestade há uma concentração elevada de areias inorgânicas. No Verão há pouca areia, mas muitas algas e outros organismos aquáticos. As partículas suspensas dão mau aspecto à água, aumentando a turbidez e a cor, e reduzem a penetração da luz. (CETESB, 2008).

**Turbidez:** a turbidez é um parâmetro que indica o grau de atenuação que um feixe de luz sofre ao tentar atravessar uma lâmina d'água, o que indica a presença de sólidos em suspensão, muitas vezes oriundos da erosão das margens dos corpos hídricos ou da contaminação por efluentes urbanos. Assim, tais parâmetros são considerados indicadores indiretos do grau de pureza da água de um dado corpo hídrico (SOUZA et al., 2007).

**Fósforo total (Pt):** sua presença em corpos d'água é resultante na maioria das vezes de lançamentos diretos, como efluentes domésticos ou industriais, não descartando a possibilidade de sua presença devido à lavagem do solo em áreas agrícolas (ANDREWS et al., 2004). Nos efluentes domésticos, os detergentes superfosfatados empregados em larga escala constituem a principal fonte, além da própria matéria fecal, que é rica em proteínas (CETESB, 2008).

**Nitrogênio total (Nt):** existem diversas fontes que contribuem para o aumento da concentração de nitrogênio nas águas naturais. Os esgotos sanitários constituem em geral a principal fonte, lançando nitrogênio orgânico e nitrogênio amoniacal devido à presença de proteínas e à hidrólise sofrida pela uréia,

respectivamente. Alguns efluentes industriais também contribuem para as descargas de nitrogênio nas águas (ROSA, et. al. 2009).

**Surfactantes:** dentre as inúmeras fontes de tais poluentes no meio ambiente, podem-se ressaltar as emissões de efluentes urbanos contendo grandes concentrações de detergentes sintéticos, os quais tiveram sua utilização intensificada nos últimos anos, uma vez que são mais solúveis que o sabão comum (BIGARDI, 2003).

**Fenóis:** os fenóis são compostos orgânicos de cadeia longa e de difícil degradação. Constituem um dos principais resíduos das refinarias de óleo, indústrias de plástico, tintas e pesticidas, o que os configura como um dos principais e mais problemáticos poluentes químicos encontrados nos ecossistemas aquáticos (SILVA & ASSIS, 2004).

**Cádmio (Cd):** a existência de cádmio em corpos d'água é devido principalmente a despejos industriais, em destaque a indústria de tratamento de superfícies metálicas, emissão de gases a partir da queima de combustíveis fósseis e deposição dos materiais em suspensão na atmosfera. Pode também advir da lixiviação de áreas agrícolas tratadas com os pesticidas que contém esse metal tóxico (YANG & SANDO-WILHELMY, 1998). Por ser um metal tóxico, biomagnifica-se nas cadeias tróficas, concentrando-se nos rins, fígado, pâncreas e tireóide. Esse metal, para o ser humano pode causar disfunção renal, hipertensão, arteriosclerose, dentre outras patologias (CACCIA et al., 2003).

**Chumbo (Pb):** o chumbo é um metal cumulativo, como a maioria dos metais tóxicos, podendo levar ao envenenamento crônico denominado saturnismo, o qual age sobre o sistema nervoso central. A contaminação do organismo por chumbo pode causar além do saturnismo, a deficiência muscular, inflamação gastrintestinal, vômitos e diarreia (USEPA, 2009a).

**Cobre (Cu):** por ser um importante algicida, pesticida, fungicida, dentre outras ações deletérias a organismos, o cobre é utilizado largamente em estações de tratamento de efluentes e na agricultura de forma geral. Por esse uso intensivo, pode contaminar o lençol freático a partir do escoamento da água pluvial e, conseqüente lixiviação das terras agrícolas (ROSA, et. al, 2009).

**Cromo (Cr):** suas concentrações são muito baixas, geralmente inferiores a  $1 \mu\text{g L}^{-1}$ . Advindo também do tratamento de superfícies metálicas, em sua forma

trivalente é essencial ao bom funcionamento do organismo, porém à sua forma hexavalente é extremamente tóxica (SHUKLA et al., 2008).

**Mercúrio (Hg):** a contaminação das águas por mercúrio pode ser causada por diversas vias, principalmente a emissão direta aos corpos d'água ou mesmo pela deposição atmosférica na bacia de drenagem. O consumo de peixes contaminados com metil-mercúrio é uma das formas mais importantes de exposição ao mercúrio, onde trás consequências ao sistema cardiovascular e nervoso (QURESHI et. al., 2009). O mercúrio bivalente pode ser fortemente absorvido pelos sedimentos o pode ser convertido em elementar ou na forma de metil-mercúrio, o qual é tóxico e altamente bioacumulativo (ULLRICH et al, 2001).

**Níquel (Ni):** Também utilizado em indústrias de tratamento de superfícies metálicas, alguns estudos demonstram que a presença de Ni pode levar à carcinogênese. Como o zinco e o cobre, o níquel, se presente em ambientes aquáticos, pode precipitar nas brânquias dos peixes matando-os por asfixia, além de ser tóxico quando presente em soluções em pH baixo (ROSA, et. al. 2009).

**Zinco (Zn):** seu acesso aos ecossistemas aquáticos pode ser por meio da interação água-rocha-solo, ou ainda, por meio de processos industriais que o liberem como efluente. As principais indústrias causadoras da poluição dos ecossistemas aquáticas como esse metal são as siderúrgicas, além da geração de esgoto doméstico, o qual possui altas concentrações de zinco. Quando presente em altos teores em corpos d'água confere-os aparência leitosa, assim aumentando significativamente os valores de turbidez. (CETESB, 2008a)

### **3 OBJETIVO**

O principal objetivo deste trabalho foi realizar o monitoramento e diagnóstico ambiental do córrego do Bugre por meio do IVA (Índice de Qualidade das Águas para Proteção da Vida Aquática e das Comunidades Aquáticas) e IQA (Índice de Qualidade das Águas), visando apontar os níveis e parâmetros do estado de qualidade deste córrego através das variáveis apresentadas por estes índices.

#### **3.1 Objetivos específicos**

Como objetivos específicos, destacaram-se:

- o mapeamento temático de uso do solo e das curvas de nível da bacia hidrográfica do córrego do Bugre;
- as coletas de água em três pontos deste córrego,
- a medição da vazão do referente córrego no 3º ponto de coleta, próximo a sua foz,
- a determinação e elaboração de índices diagnósticos de qualidade (IET, IPMCA, IQA e IVA) relacionados à vida aquática e ao abastecimento público.
- a comparação dos resultados obtidos com os limites da Resolução CONAMA 357/05 para cursos hídricos de classe 3.

Neste contexto, os objetivos e propostas deste trabalho se enquadraram nas perspectivas do Art. 2º da lei 6938/81 e no Art. 1º da lei 9433/97 ao utilizar a bacia hidrográfica como unidade de estudo. Visando um melhor planejamento ambiental da bacia hidrográfica do córrego do Bugre, o monitoramento e diagnóstico de suas águas tornam-se imprescindíveis para o conhecimento da situação em que se encontra a qualidade deste recurso.

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

O fluxograma a seguir (figura 2) permite uma compreensão mais complexa dos principais procedimentos realizados por este trabalho



Figura 2 – Fluxograma das etapas da pesquisa.

### 4.1 Pontos amostrais e geração de mapas.

Para verificar com mais precisão os efeitos das atividades antrópicas na bacia do Córrego do Bugre, foram realizadas por meio do IVA e IQA a avaliação dos parâmetros de qualidade da água em três pontos, sendo o 1º ponto a montante do córrego - nascente principal (Bairro Itararé) – 23°34'31"S / 47°15'24.9"W; o 2º ponto: próximo à Prefeitura Municipal de Alumínio (Centro) – 23°31'52.7"S / 47°15'11.5"W; e o 3º ponto: próximo a sua jusante, a 200 metros de sua confluência com o Ribeirão Varjão e a 10 metros da Rodovia Raposo Tavares (Vila Pedágio) – 23°31'06.6"S / 47°15'18.9"W (figura 3).



graduada do molinete, e as larguras foram obtidas com uma trena. De acordo com Gomes e Santos (2003), recursos hídricos com menos de um metro de profundidade necessitam de apenas uma medição de vazão em relação a sua profundidade.

Como a velocidade e profundidade (e conseqüentemente a vazão) variam entre os pontos amostrais, é preciso aferi-las individualmente em cada ponto, de modo que seja possível obter uma média das medidas aferidas. (CARVALHO, 2008).

O molinete foi inserido a 40 % da profundidade de cada ponto, seguindo o método do manual Global Water Flow Probe para recursos hídricos de até 1 metro de profundidade. Em termos matemáticos, a vazão pode ser calculada pela fórmula:

$$Q = (w \cdot h) \cdot V$$

(1)

Onde:

Q = vazão (m<sup>3</sup>/s)

V = velocidade do fluxo de água (m/s)

h = profundidade média na seção transversal do canal (m)

w = largura do canal (m)

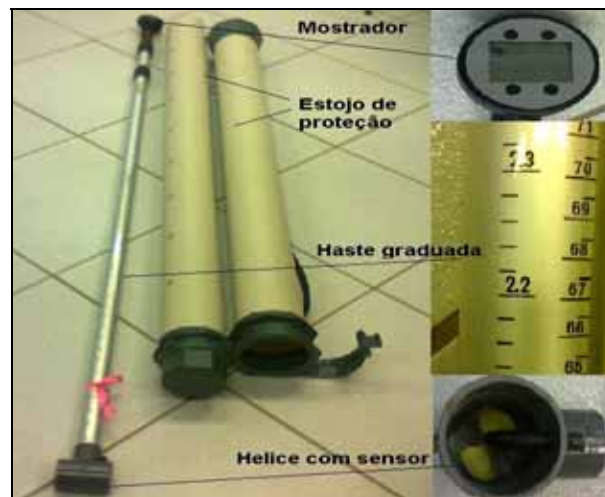


Figura 4 – Molinete Global Water FP 211

#### 4.3 Equipamentos, reagentes e métodos utilizados.

As amostras foram coletadas e preservadas seguindo critérios do Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras (ANA, 2011), respeitando os critérios

de cada parâmetro analisado. As amostras foram coletadas e preservadas seguindo os critérios do Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras ANA (2011). A clorofila-a (CL) foi determinada segundo o método de Wetzel e Likens (1991). A quantificação foi realizada no espectrofotômetro HACH 3OR3900 nos comprimentos de onda de 665 e 750 nm. A condutividade elétrica foi analisada com o Condutivímetro WTW LF 330 com célula de condutividade TetraCon® 325. Os coliformes termotolerantes (CT) foram determinados através de metodologia descrita em “Standard Methods for the Examinations of Water and Wastewater”, 21ª ed., 9222 B (APHA, 2005). A demanda bioquímica de oxigênio (DBO) foi obtida através de metodologia descrita em “Standard Methods for the Examinations of Water and Wastewater” (APHA, 2005). Para obtenção do nitrogênio total (Nt), as amostras foram acidificadas com H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> para preservação e digestão com reagentes para nitrogênio total do kit HACH; leitura com espectrofotômetro HACH DR2800 (método 10071); o fósforo total (Pt) foi determinado através da acidificação das amostras com H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> para preservação e digestão com persulfato; leitura com espectrofotômetro HACH DR2800 (método 8190). O oxigênio dissolvido (OD) e a Temperatura (T) foram determinados com o oxímetro WTW Oxi 315i com sensor CelIOx 325. Foi utilizado o espectrofotômetro HACH 2000 para as leituras de turbidez. Para os surfactantes foram utilizados clorofórmio e os reagentes A e B do kit HACH para surfactantes aniônicos (substâncias reativas com o azul de metileno); leitura com espectrofotômetro HACH DR2800 (método LCK 332). Para determinação de fenóis, foi utilizado clorofórmio para extração dos compostos de fenóis e reagente 1 e 2 para fenóis, leitura com espectrofotômetro HACH DR2800 (método 8047). Com a finalidade de avaliar metais totais e dissolvidos (cádmio - Cd, cobre – Cu, cromo - Cr, chumbo – Pb, mercúrio – Hg, níquel – Ni e zinco – Zn) em uma amostra, primeiramente deve ser realizada a digestão que consiste em disponibilizar para a solução os íons de metais, quebrando assim as ligações com a matéria orgânica por exemplo. Foi realizada digestão da amostra para avaliar metais totais e dissolvidos. As leituras das amostras foram feitas no ICP – OES Agilent séries 700. Por fim, os sólidos totais (ST) foram determinados utilizando-se mufla, estufa de secagem a 105° C, dessecador, balança analítica, cadinhos de porcelana (50 mL), pipeta graduada. Obtido através da equação:

$$ST = (b - a)/V \text{ g/mL (converter para mg/L}^{-1}\text{);}$$

(2)

Onde:

a = massa do cadinho antes da introdução da amostra,

b = massa do cadinho com o resíduo seco após o aquecimento (105°C) e resfriamento da amostra no dessecador.

De acordo com os métodos citados acima, os limites de detecção do fósforo total, nitrogênio total, surfactantes e fenóis são respectivamente 0,04 – 3,5 (mg/L), 0,5 – 25 (mg/L), 0,05 – 2 (mg/L) e 0,002 – 0,2 (mg/L).

Para a obtenção dos parâmetros analisados, foram utilizados os equipamentos, soluções, reagentes (Quadro 2) e métodos a seguir.

Ácido Clorídrico (F. Maia) 37% P.A
Ácido Nítrico (F. Maia) 65 % P.A
Ácido Sulfúrico (F. Maia) 98 % P.A
Balança analítica (precisão 0,0001 g) SHIMADZU Mod. AW 220
Bomba de vácuo, TECNAL Mod. TE-058
Capela para exaustão de gases, FORT LINE Mod. BR-CA 100
Chapa de aquecimento, TECNAL Mod. TE-018
Condutivímetro WTW LF 330 com célula de condutividade TetraCon® 325
Espectrofotômetro HACH DR2000 para turbidez
Espectrofotômetro HACH DR2800
Espectrofotômetro 3OR3900
filtro Milipore® de 0,45µm
Incubadora microbiológica American Lab, AL 100
Kit Test'n Tube® para determinação de fósforo total (HACH)
Kit Test'n Tube® para determinação de nitrogênio total (HACH)
Micro pipetas automáticas Gilson, vários volumes (fixos e variáveis)
Oxímetro WTW Oxi 315i com sensor CellOx 325
pHmetro WTW pH 315i
Reagente para detergentes (surfactantes) (HACH)
Reagente para Fenol (HACH)
Reagente para Fenol 2 (HACH)
Refrigerador CONTINENTAL Mod. 460
Sistema desionizador para purificação de água, MILIPORE Mod. Milli-Q Plus
Solução alcalina NH <sub>4</sub> (pH=8,0) de acetona 90%
Vidraria comum a um laboratório de Química Analítica

Quadro 2 - Equipamentos e reagentes utilizados.

#### 4.3.1 Preparação das amostras de metais totais e dissolvidos.

Com a finalidade de avaliar metais em uma amostra, primeiramente foi realizada a digestão que consiste em disponibilizar para a solução os íons de metais, quebrando assim as ligações com a matéria orgânica por exemplo. Foi realizado digestão da amostra para avaliar metais totais e metais dissolvidos. As leituras das amostras foram feitas no ICP – OES Agilent séries 700 (figura 5).

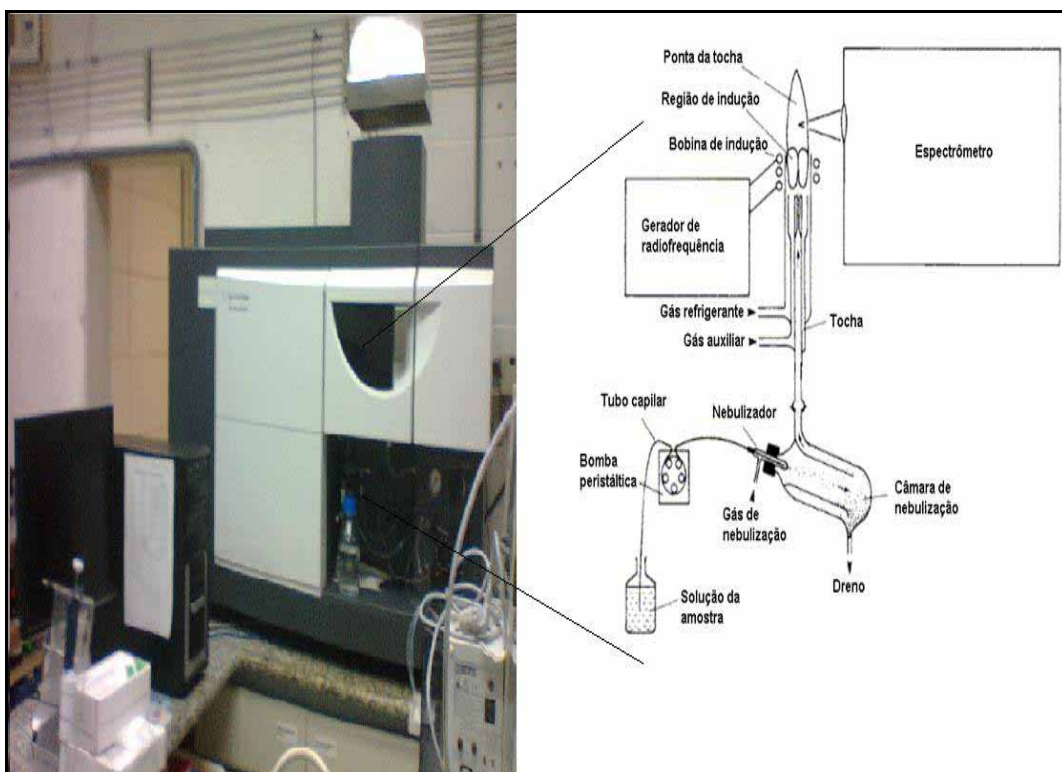


Figura 5 – ICP OES Agilent Séries 700.

Para avaliar metais totais, transferiu 100 mL de amostra de água coletada para um Becker e adicionou 10 mL de ácido nítrico (Synth®) então a solução foi levada para uma chapa aquecedora a 100°C, e ficou em aquecimento até chegar aproximadamente 15 mL de solução (amostra + ácido), para evitar o borbulhamento da solução, foram colocadas esferas de vidro nos beakers.

Antes da avaliação dos metais dissolvidos, a amostra passou por filtração na qual foi utilizado um filtro de 0,45µm (Milipore®). Após a filtração, foi adicionado aos 100 mL de amostra filtrada, 10 mL de ácido nítrico e foi então levado para chapa aquecedora a 100°C, e ficou em aquecimento até atingir cerca de 15 mL de solução.

Quando as soluções atingiram aproximadamente os 15 mL, foram resfriadas em temperatura ambiente, e foram avolumadas em um balão volumétrico de 25 mL. Sendo assim, as amostras de metais totais e dissolvidos foram pré-concentradas quatro vezes, e os resultados parciais obtidos através das leituras no ICP foram divididos por quatro.

#### 4.3.2 Cálculo do IPMCA

Dadas as ponderações para as variáveis determinadas em uma amostra de água, o IPMCA é calculado da seguinte forma:

$$\text{IPMCA} = \text{PE} \times \text{ST}$$

(3)

Onde:

**PE:** Valor da maior ponderação do grupo de variáveis essenciais;

**ST:** Valor médio das três maiores ponderações do grupo de substâncias tóxicas. Este valor é um número inteiro e o critério de arredondamento deverá ser o seguinte: valores menores que 0,5 serão arredondados para baixo e valores maiores ou iguais a 0,5 para cima.

O valor do IPMCA pode variar de 1 a 9, sendo subdividido em quatro faixas de qualidade, classificando as águas para proteção da vida aquática.

#### 4.3.3 Cálculo do IET

O critério utilizado para o cálculo do IET foi de acordo com o proposto para ambientes lóticos, de Carlson (1977) modificado por Lamparelli (2004) para rios e córregos, representado pelas fórmulas:

$$\text{IET (CL)} = 10 \times (6 - ((-0,7 - 0,6 \times (\ln \text{CL})) / \ln 2)) - 20$$

(4)

Onde:

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

**In:** logaritmo natural.

$$(5) \quad \text{IET (Pt)} = 10 \times (6 - (0,42 - 0,36 \times (\ln \text{Pt})) / \ln 2) - 20$$

Onde:

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

**In:** logaritmo natural.

A partir da determinação dos índices de estado trófico destas duas variáveis, é possível estabelecer uma média com relação ao potencial e a evidência de eutrofização, através da fórmula:

$$(6) \quad \text{IET} = (\text{IET (CL)} + \text{IET (Pt)}) / 2$$

Onde:

**IET (CL):** determinação de índice de estado trófico para a clorofila-a;

**IET (Pt):** determinação do índice de estado trófico para o fósforo total

#### 4.3.4 Cálculo do IVA

O IVA deverá ser calculado a partir do IPMCA e do IET, segundo a expressão (CETESB, 2007):

$$(7) \quad \text{IVA} = (\text{IPMCA} \times 1,2) + \text{IET}$$

#### 4.3.5 Cálculo do IQA

O IQA é calculado pelo produtório ponderado das qualidades de água correspondentes aos nove parâmetros já citados. No caso de não se dispor do valor de alguma das nove variáveis, o cálculo do IQA é inviabilizado. Sua fórmula é representada pela seguinte equação (CETESB, 2007):

$$IQA = \prod_{i=1}^n q_i^{w_i}$$

(8)

Onde:

IQA: Índice de Qualidade das Águas, um número entre 0 e 100;

Q<sub>i</sub>: qualidade do i-ésimo parâmetro, um número entre 0 e 100, obtido da respectiva “curva média de variação de qualidade”, em função de sua concentração ou medida e,W<sub>i</sub>: peso correspondente ao i-ésimo parâmetro, um número entre 0 e 1, atribuído em função da sua importância para a conformação global de qualidade, sendo que:

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1$$

(9)

Onde:

n: número de variáveis que entram no cálculo do IQA

#### 4.4 Tratamento estatístico dos dados

Os dados foram tratados de acordo com a análise estatística multivariada, através da ACP (análise dos componentes principais) ou PCA (do inglês principal component analysis) para uma melhor avaliação em conjunto dos resultados dos parâmetros obtidos.

Análise de componentes principais fornece as informações necessárias para compreender o papel das descrições originais na formação dos componentes principais. Pode também ser utilizada para mostrar as relações entre os descrições originais no espaço reduzido. A ACP (ou PCA) consiste em um modo de identificar a relação entre as características dos dados extraídos pelas matrizes (LEGENDRE e LEGENDRE, 1998)

Foi estabelecida uma matriz de correlação e com base nesta matriz, a ACP foi realizada através do modo R, a partir de uma matriz escalar. Para a elaboração da ACP, foi utilizado o software PAST 2.17 (CHIBA et. al., 2011).

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados advindos desta pesquisa a partir do estudo dos pontos geográficos e sazonalmente permitiram a avaliação mais real do nível de qualidade e informações sobre possíveis fontes impactantes. A seguir, serão apresentados os resultados com as discussões dos parâmetros analisados, os quais foram comparados com os limites máximos estipulados pela Resolução CONAMA 357/05, para recursos hídricos de classe 3. Esta classe contempla os seguintes usos da água: abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional ou avançado; à irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras; à pesca amadora; à recreação de contato secundário; e à dessedentação de animais.

### 5.1 Geração de mapas da área de estudo

O uso do solo (figura 6) e as curvas de nível da área de estudo (figura 7) estão disponíveis a seguir.

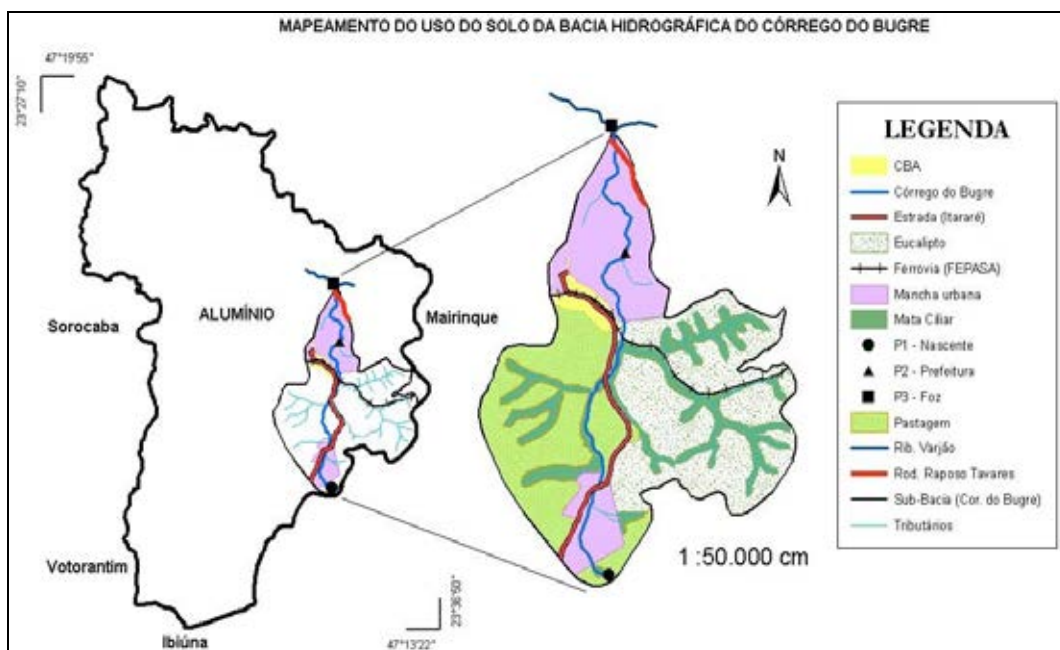


Figura 6 – Mapeamento do uso do solo da área de estudo.

O Córrego do Bugre possui três nascentes importantes, todas localizadas no bairro do Itararé em Alumínio – SP, onde a nascente principal encontra-se bem preservada. Possui aproximadamente 8 km de extensão em linha reta e atravessa todo perímetro urbano, nos bairros Itararé, Centro, Vila Paulo Dias e Vila Pedágio, onde recebe os efluentes domésticos sem tratamento e também resíduos de bauxita e soda (via difusa), usadas na produção de alumínio pela CBA (Companhia Brasileira de Alumínio).

A nascente principal está localizada a 870 m de altitude, já a foz possui 740 m, portanto o córrego do Bugre possui um desnível de 130 metros em seu curso. Ao observar o mapeamento de uso do solo e das curvas de nível, é possível notar que basicamente todo adensamento urbano de Alumínio está concentrado próximo à cabeceira do córrego (Bairro Itararé) e em áreas de vale, principalmente entre as curvas de 800 a 760 metros, a jusante do córrego. Isto representa uma questão geograficamente delicada, ainda mais somada à falta de um planejamento ambiental e urbano.

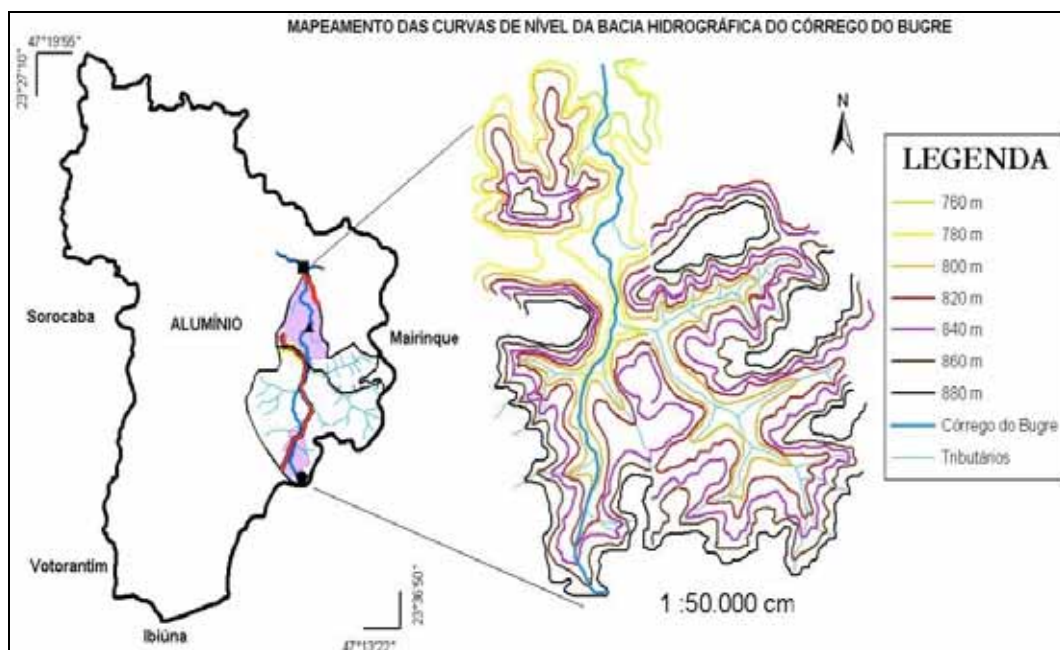


Figura 7 – Mapeamento das curvas de nível da bacia hidrográfica do córrego do Bugre.

Este córrego começou a ser poluído na década de 1970, com o aumento das atividades industriais e surgimento de alguns pontos de descarga de esgoto. Mas foi na década de 1980, com o crescimento da população urbana e de suas atividades, que houve um grande acréscimo de materiais poluentes no Córrego do Bugre.

## 5.2 Pluviometria e vazões

A seguir estão disponíveis os resultados referentes às vazões médias de inverno e verão (tabela 6). A pluviosidade de Alumínio de 2013 está representada pela figura 8.

Tabela 6 – Resultados sazonais da vazão do córrego do Bugre

Sazonalidade	Meses	Q (m <sup>3</sup> /s)
Inverno	jun/13	0,211
	jul/13	0,194
	ago/13	0,182
	Média	0,195
	Desvio P.	0,01563
Verão	dez/13	0,237
	jan/14	0,279
	fev/14	0,273
	Média	0,263
	Desvio P.	0,02329



Figura 8 – Médias pluviométricas de Alumínio.  
Fonte: CEPAGRI (2013)

A pluviosidade anual de Alumínio é pertinente ao clima tropical de altitude, pois a cidade situada em média a uma altitude superior a 800 m. As chuvas se concentram no verão, com máxima pluviométrica anual de 224,8 mm no mês de janeiro e a estiagem ocorre no inverno, com mínima pluviométrica anual de 38,9 mm para o mês de agosto (CEPAGRI, 2013).

As medidas de vazão refletem, portanto, os regimes anuais de cheia e estiagem do córrego do Bugre (figura 9). Ao levar em consideração as médias da vazão de verão e inverno, a diferença foi cerca de  $Q = 0,068$  (m<sup>3</sup>/s), o que equivale a

68 litros por segundo. A média sazonal da vazão das duas estações verificadas foi de  $Q = 0,229 \text{ (m}^3/\text{s)}$ . Em uma possível situação de emergência e escassez de recursos hídricos na cidade de Alumínio, caso seja adequadamente tratado, o córrego do Bugre contribuiria com 19 785 600 de litros de água diariamente para o abastecimento público da bacia hidrográfica do rio Sorocaba.

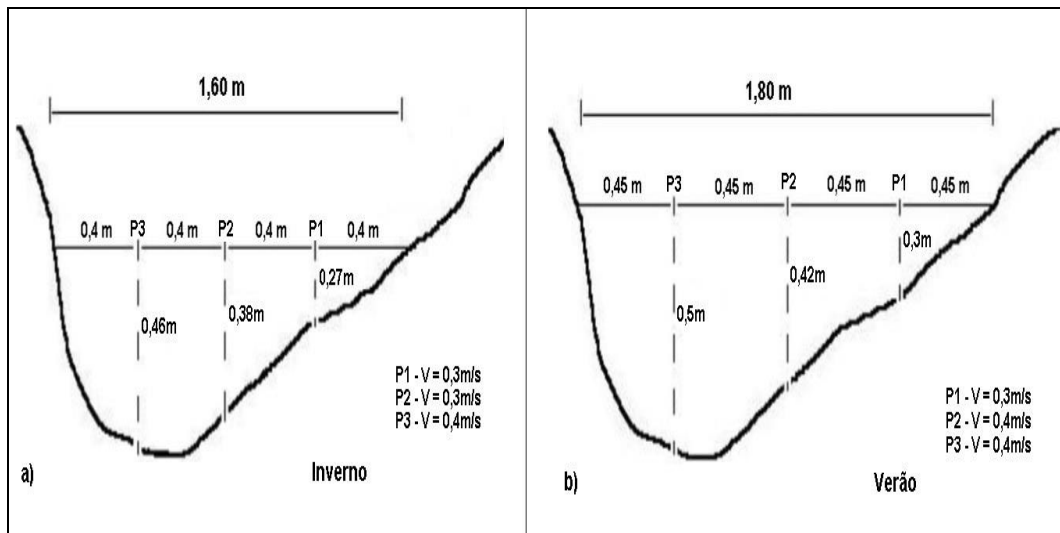


Figura 9 - a) Representação das medidas determinantes da vazão no período de inverno. b) Representação da média das medidas determinantes da vazão no período de verão

Segundo Rosa, et al. (2012) os processos de um ciclo hidrológico sofrem influências de acordo com as características físicas (área, topografia, cobertura vegetal, clima, solo) e químicas (esgotos industriais e domésticos, fertilizantes, pesticidas, alteração das rochas) e biológicas. O uso múltiplo da água provoca alterações na sua qualidade, influenciando, assim, a diminuição da disponibilidade dos recursos hídricos principalmente em regiões urbanas ou com uso intensivo do tipo industrial e agrícola. No mundo, os dados da distribuição da água por setor econômico apontam que a agricultura é responsável por 72% do consumo de água, seguida pela indústria (22%) e por último, o uso doméstico (8%).

### 5.3 Parâmetros in situ

A análise de determinados parâmetros “*in situ*” permite a caracterização preliminar das águas de um corpo hídrico antes que demais características sejam avaliadas em laboratório. Os principais parâmetros avaliados no local de amostragem são o potencial hidrogeniônico (pH), a condutividade, o oxigênio dissolvido e a temperatura da água (ROSA, et. al. 2009). Os resultados de condutividade elétrica (figura 10), OD (figura 11), pH (figura 12) e temperatura (figura 13) estão representados abaixo.



Figura 10 – Determinação sazonal de condutividade.

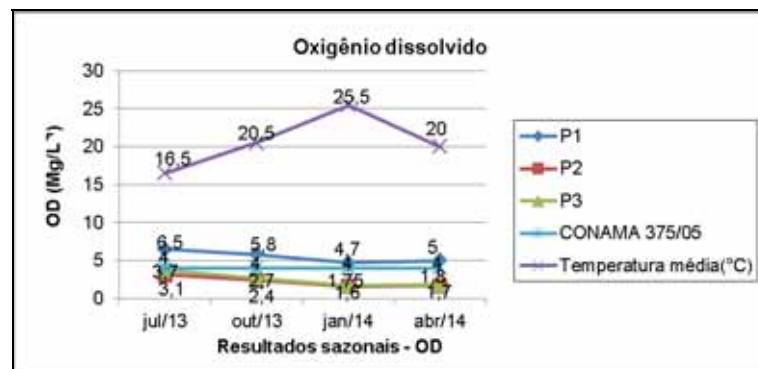


Figura 11 – Determinação sazonal de OD.

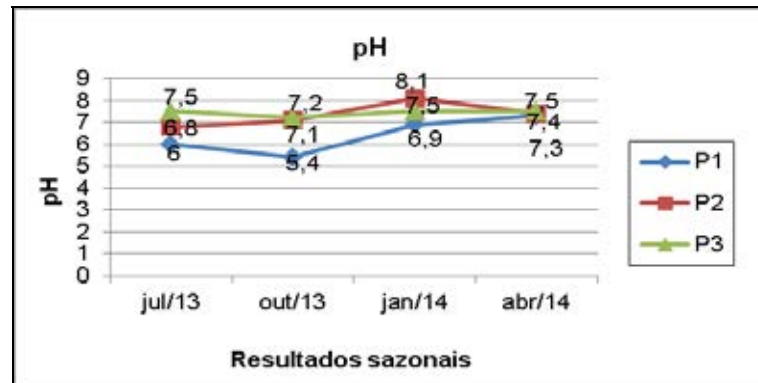


Figura 12 – Determinação sazonal de pH.

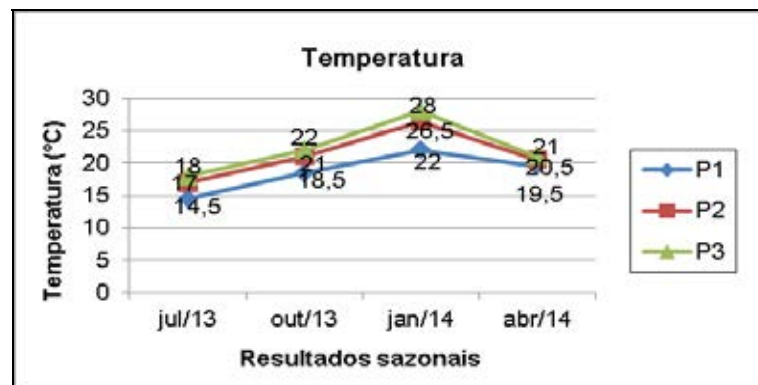


Figura 13 – Determinação sazonal de temperatura.

De acordo com a CETESB (2008a), valores de condutividade que se apresentam acima de  $100 \mu\text{S cm}^{-1}$  indicam que o corpo d'água apresenta-se impactado. Para Ribeiro et. al (2004), a condutividade elétrica é a variável mais empregada para se avaliar o nível de salinidade, ou a concentração de sais solúveis na águas de irrigação e no solo. Esta medida cresce proporcionalmente à medida que a concentração de sais aumenta. Os pontos 2 e 3 apresentaram valores muito elevados de condutividade principalmente no verão, devido ao aumento do despejo de efluentes em perímetro urbano. A nascente (P1) apresentou grande elevação nos níveis de condutividade, no entanto foi o único ponto a possuir valores inferiores a  $100\mu\text{s/cm}^{-1}$ .

Durante o período de verão, o OD teve uma redução significativa em relação ao inverno. Isso ocorreu porque o aumento da temperatura contribui para a proliferação de microrganismos, como coliformes fecais. Boa parte destes microrganismos (aeróbios) consome o oxigênio dissolvido na água durante o processo de respiração, o que eleva a  $\text{DBO}_{5,20}$  principalmente em períodos mais quentes. Em relação á Resolução CONANA 357/05, os pontos 2 e 3 apresentaram níveis críticos,

mesmo para cursos hídricos de classe 3. Durante os períodos entre janeiro a abril, os níveis de OD ficaram abaixo de  $4 \text{ mg/L}^{-1}$ , nível mínimo estabelecido.

Quanto ao pH, apenas a amostra de outubro de 2013 possuiu valor abaixo de 6 (5,4), demonstrando moderada acidez. Nas demais amostras o pH se manteve em todas as leituras e para todos os pontos, na faixa de 6 a 9, mesmo nos pontos 2 e 3 em que o Córrego do Bugre se encontra intensamente impactado. Os sistemas biológicos são bastante sensíveis ao valor do pH, sendo fixado pela legislação federal valores de pH entre 6,0 e 9,0 como critério de proteção da vida aquática (CONAMA, 2005). Para Calmano et al. (1993), o potencial redox e o pH afetam a mobilidade dos metais do sedimento para a coluna de água, onde o pH é o principal fator de mobilização.

As temperaturas apresentaram oscilações esperadas de acordo com a sazonalidade, no entanto o P3 apresentou uma amplitude de  $10^{\circ}\text{C}$  entre as análises de jul/13 e abr/14. Bello e Guandique (2011) obtiveram níveis semelhantes de amplitudes entre os meses de julho e março, onde o P2 apresentou  $10,9^{\circ}\text{C}$  e o P3  $10,1^{\circ}\text{C}$  respectivamente para o rio Ipanema. A maioria dos processos biológicos ocorre com maior intensidade com esse aumento da temperatura, provocando aceleração do metabolismo e aumento da necessidade de oxigênio, que provocará aumento da concorrência e sérios problemas devido a baixa afinidade da hemoglobina com o oxigênio aquecido (DAVIS & CORNWELL, 1998; PEREIRA, 2004).

Ao estudar as águas do rio Sorocamirim, um dos principais formadores do rio Sorocaba, Oliveira (2012) obteve níveis mais satisfatórios de alguns parâmetros discutidos acima, tais como a condutividade – máxima:  $90 \mu\text{s/cm}^{-1}$  e mínima:  $66 \mu\text{s/cm}^{-1}$  e OD – máximo:  $6,8 \text{ mg/L}^{-1}$  e mínimo:  $3,7 \text{ mg/L}^{-1}$ ,

#### **5.4 Metais.**

Os valores do coeficiente de correlação  $R^2$  (tabela 7), os limites de detecção e quantificação dos metais dissolvidos (tabela 8) e totais (tabela 9) seguem dispostos abaixo.

Tabela 7 – valores sazonais de R<sup>2</sup> para os metais obtidos

<b>Resultados sazonais de R<sup>2</sup> para metais (%)</b>				
	jul/13	out/13	jan/14	abr/14
Cr	99,95	99,95	99,98	99,98
Cu	99,97	99,97	99,99	99,96
Ni	99,94	99,98	99,97	99,99
Pb	99,93	99,97	99,98	99,98
Zn	99,96	99,99	99,97	99,99

Tabela 8 - Resultados sazonais dos limites de detecção (LD) e quantificação (LQ) para metais dissolvidos

	jul/13	out/13	jan/14	abr/14	
LD	0,0036	0,0046	0,0027	0,0052	Cr
LQ	0,0099	0,0108	0,0087	0,0127	
LD	0,0017	0,0012	0,0008	0,0032	Cu
LQ	0,0056	0,0031	0,0025	0,0078	
LD	0,0009	0,0041	0,0025	0,0017	Ni
LQ	0,0023	0,0102	0,0058	0,0043	
LD	0,0060	0,0065	0,0015	0,0030	Pb
LQ	0,0142	0,0147	0,0048	0,0084	
LD	0,0925	0,0195	0,0037	0,0098	Zn
LQ	0,2206	0,0431	0,0105	0,0274	

Tabela 9 - Resultados sazonais dos limites de detecção (LD) e quantificação (LQ) para metais totais

	jul/13	out/13	jan/14	abr/14	
LD	0,0136	0,0057	0,0048	0,0089	Cr
LQ	0,0320	0,0216	0,0170	0,0334	
LD	0,0053	0,0078	0,0026	0,0037	Cu
LQ	0,0142	0,0194	0,0074	0,0106	
LD	0,0059	0,0053	0,0019	0,0044	Ni
LQ	0,0155	0,0147	0,0054	0,0116	
LD	0,0122	0,0124	0,0105	0,0127	Pb
LQ	0,0228	0,0244	0,0373	0,0395	
LD	0,2401	0,0464	0,0287	0,1955	Zn
LQ	0,4870	0,0954	0,0712	0,6816	

A determinação do limite de detecção do método (LD) representa a mais baixa concentração do analito em exame na relação ingrediente ativo: matriz que pode ser detectada com certa confiabilidade utilizando determinado procedimento experimental. Já a determinação do limite de quantificação (LQ) representa a mais baixa concentração que pode ser identificada e quantificada em determinada matriz com certo limite de confiabilidade, geralmente entre 95% e 99%. (SCHARTZ e KRULL, 1998).

A sazonalidade foi muito importante na determinação dos limites de detecção e quantificação dos metais analisados na área de estudo, visto que em épocas de estiagem os limites foram maiores e em épocas de chuva menores.

A seguir estão disponíveis os gráficos com os resultados dos metais totais e dissolvidos. A discussão foi realizada logo após a apresentação dos resultados.

a. Cádmi

Não foi encontrado cádmio em nenhuma amostra realizada

b. Chumbo

Os valores de chumbo total (figura 14) e dissolvido (figura 15) estão dispostos abaixo.

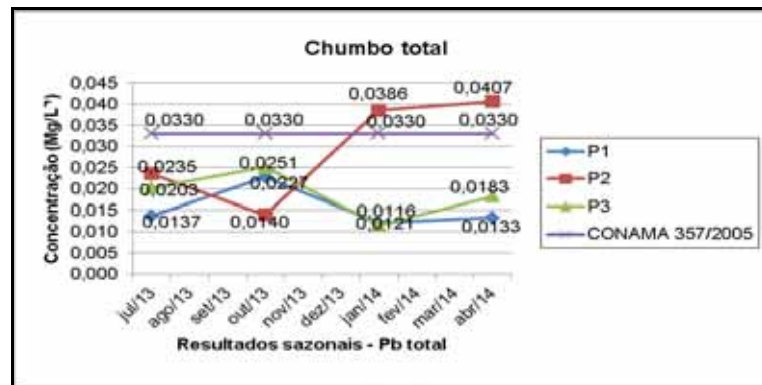


Figura 14 – Resultados sazonais de Pb total.



Figura 15 – Resultados sazonais de Pb dissolvido.

## c. Cobre

Os valores de cobre total (figura 16) e dissolvido (figura 17) estão dispostos abaixo.

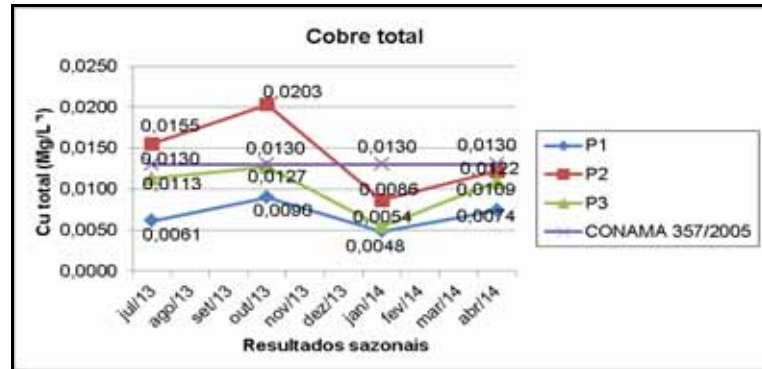


Figura 16 – Resultados sazonais de Cu total.



Figura 17 – Resultados sazonais de Cu dissolvido.

## d. Cromo

Os valores de cromo total (figura 18) e dissolvido (figura 19) estão dispostos abaixo.

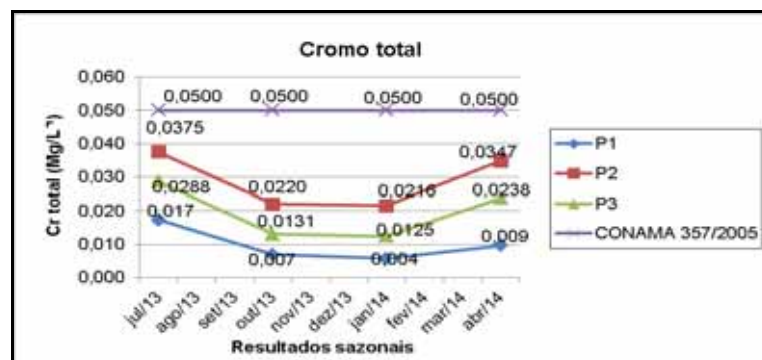


Figura 18 – Resultados sazonais de Cr total.



Figura 19 – Resultados sazonais de Cr dissolvido.

e. Mercúrio

Não foi encontrado mercúrio em nenhuma amostra realizada.

f. Níquel

Os valores de níquel total (figura 20) e dissolvido (figura 21) estão dispostos abaixo.

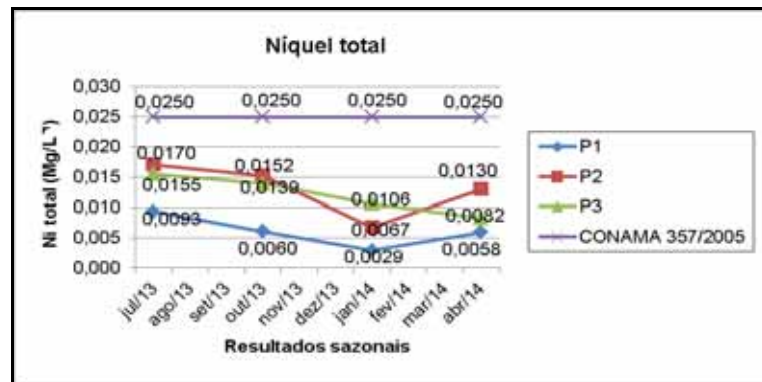


Figura 20 – Resultados sazonais de Ni total.

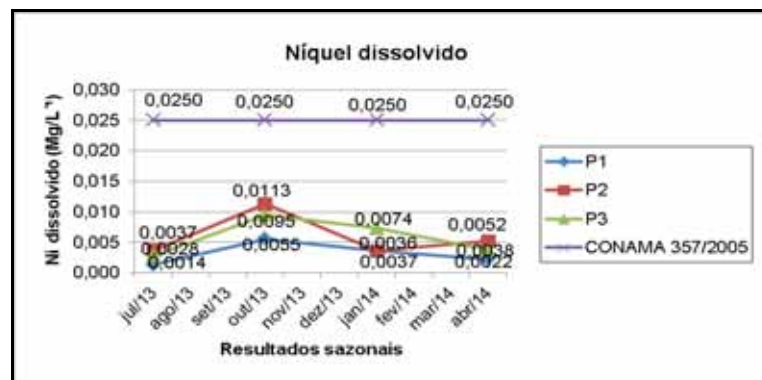


Figura 21 – Resultados sazonais de Ni dissolvido.

## g. Zinco

Os valores de zinco total (figura 22) e dissolvido (figura 23) estão dispostos abaixo.

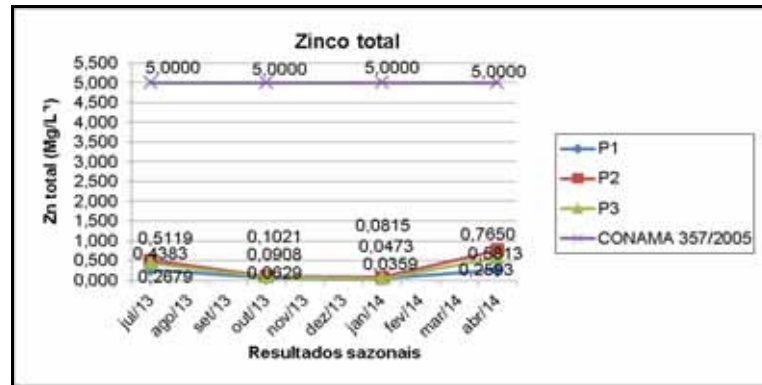


Figura 22 – Resultados sazonais de Zn total.



Figura 23 – Resultados sazonais de Zn dissolvido.

O P2 se destacou na concentração de chumbo total nas coletas de janeiro e abril de 2014 e cobre total nas coletas de julho e outubro de 2013, apresentando valores acima do estabelecido pela Resolução CONAMA 357/2005. Todos os pontos em todas as as coletas apresentaram resultados de cromo, níquel e zinco, além de todos os metais dissolvidos analisados abaixo dos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA, 357/2005.

A análise de metais nos rios Monjolino e Feijão em São Carlos, SP apresentou altos índices de Cr, Ni, Pb e Cd na estação chuvosa, enquanto na estação seca apresentou altos índices de Zn e Ni. (CHIBA et. al, 2011).

No ambiente aquático, os metais pesados podem ocorrer sob diversas formas: em solução na forma iônica ou na forma de complexos solúveis orgânicos

ou inorgânicos; formando ou ficando retidos às partículas coloidais minerais ou orgânicas; ficando retidos no sedimento; ou incorporados à biota (FEEMA, 1992).

Segundo Baird (2002) a toxicidade de um metal em água varia em função do pH e dos teores de carbono dissolvidos e em suspensão, visto que os metais interagem com o carbono e seus compostos, formando complexos ou sendo adsorvidos. A forma mais tóxica de um metal não é a livre, mas quando este se encontra como cátion ou ligado a cadeias carbônicas. Nos organismos, o principal mecanismo de ação tóxica dos metais decorre de sua afinidade pelo enxofre. Assim, quando presentes em suas formas catiônicas, os metais reagem com o radical sulfidril (-SH) presente na estrutura proteica das enzimas, alterando suas propriedades, o que pode resultar em consequências danosas ao metabolismo dos seres vivos como o mercúrio e o chumbo.

## 5.5 Fenóis e surfactantes

Os resultados de fenóis e surfactantes totais estão representados pelas figuras 24 e 25 respectivamente.

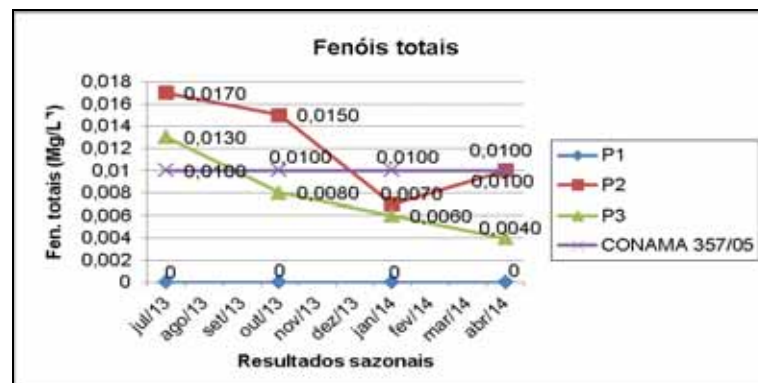


Figura 24 – Determinação sazonal de fenóis.



Figura 25 – Determinação sazonal de surfactantes.

O P2 e P3 apresentaram níveis acima do estabelecido pela Resolução CONAMA 357/2005, que estipula um limite de 0,01 mg/L para fenóis e 0,5 mg/L para surfactantes, respectivamente. O P2 e P3, devido ao despejo de esgoto doméstico sem tratamento, apresentaram níveis de surfactantes muito elevados em todos períodos analisados. Com relação aos fenóis, o mais provável é que sua presença no córrego do Bugre se deu através da poluição difusa. Dessa forma, houve significativa influência do uso do solo e da sazonalidade na concentração destas substâncias, com maiores disponibilidades no período de inverno e quedas em suas concentrações no período de verão, estação em que ocorre o período de chuvas em Alumínio.

O descarte corrente de detergentes em esgoto faz com que os níveis de surfactante variem de 1 a 20 mg/L. A presença excessiva de surfactante no meio aquoso pode causar sérios prejuízos à vida aquática e à qualidade da água, além de complicações em estações de tratamento. Os fenóis, quando presentes nas estações de tratamento (de água ou esgoto) em reação com o cloro, forma o composto clorofenol de odor desagradável (GARCEZ, 2004), além de poder formar compostos potencialmente cancerígenos, como o pentaclorofenol (ROSA, et. al 2012).

## 5.6 Parâmetros físico-químicos e biológicos

Os resultados sazonais de clorofila-a (figura 26), coliformes fecais (tabela 10), DBO (figura 27), fósforo total (figura 28), nitrogênio total (figura 29), sólidos totais (figura 30) e turbidez (figura 31) estão representados a seguir.

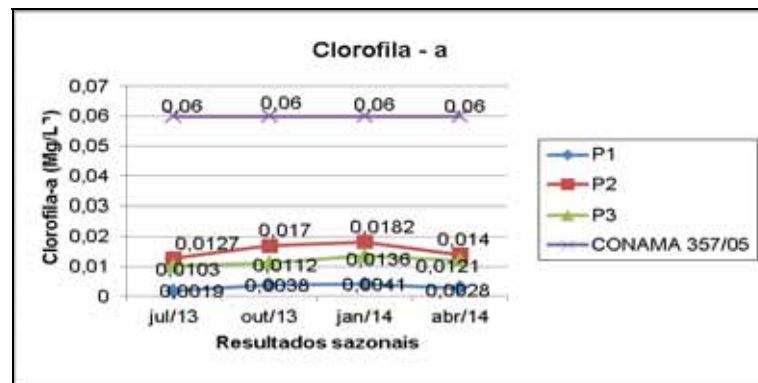


Figura 26 – Determinação sazonal de clorofila-a.

Tabela 10 – Resultados sazonais de coliformes fecais  
Coliformes fecais (NMP/100 ml)

Pontos	Jul/13	Out/13	Jan/14	Abr/14
P1	7	21	79	80
P2	>160000	>160000	>160000	>160000
P3	50.000	54.000	>160000	>160000

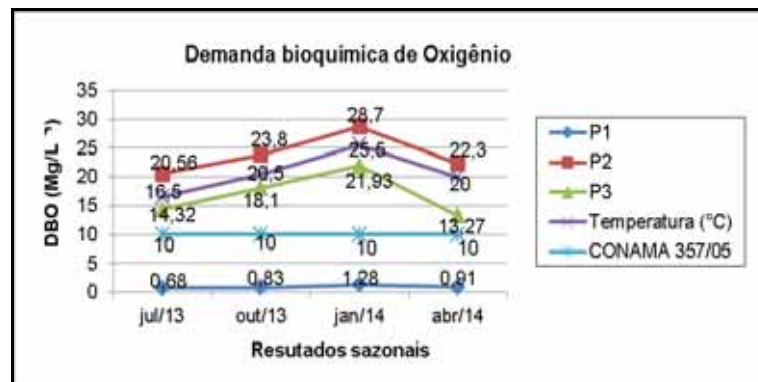


Figura 27 – Determinação sazonal de DBO.

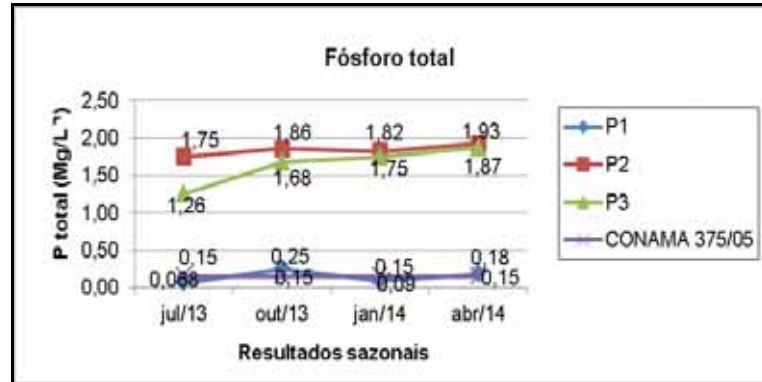


Figura 28 – Determinação sazonal de fósforo total por pontos amostrais.

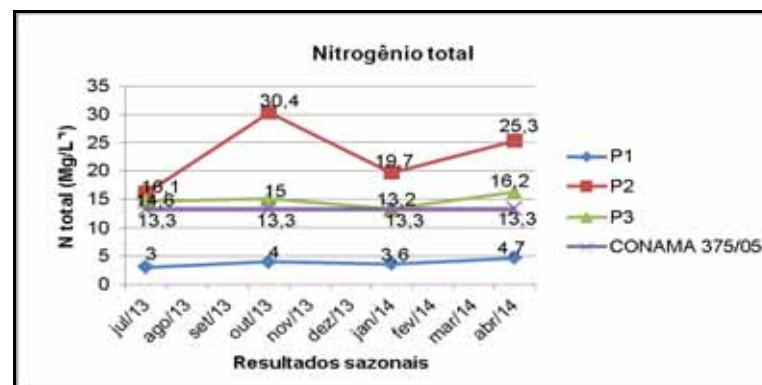


Figura 29 – Determinação sazonal de fósforo total por pontos amostrais.

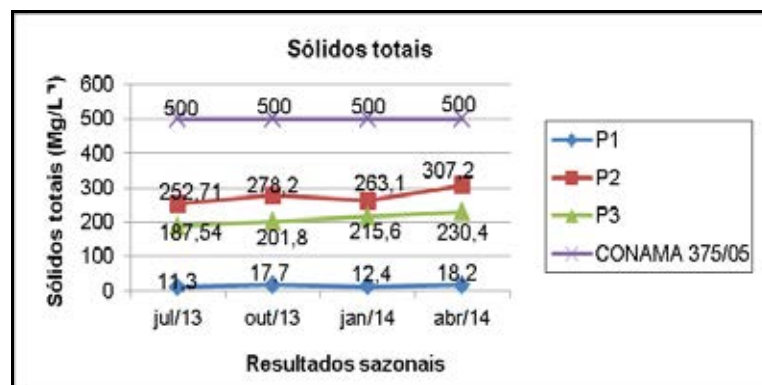


Figura 30 – Determinação sazonal de sólidos totais por pontos amostrais.

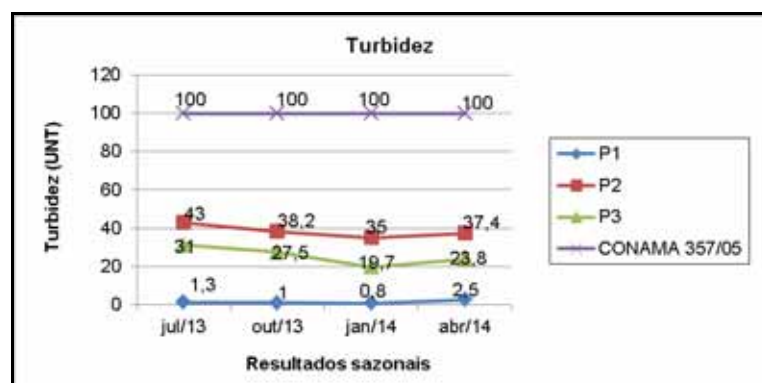


Figura 31 – Determinação sazonal de turbidez por pontos amostrais.

Os resultados de clorofila-a apresentaram-se abaixo do limite estipulado pela Resolução CONAMA 357/2007 de 60 µg/L para cursos hídricos de classe 3. Com relação aos coliformes fecais, para Resolução CONAMA 357/2005, o número máximo para cursos hídricos de classe 3 é de 4000 coliformes termotolerantes para cada 100 mL. Sendo assim, as amostras do P2 e P3 apresentaram níveis de coliformes fecais muito acima do permitido, para cursos hídricos de classe 3. Em todas as coletas dos pontos 2 e 3 a DBO<sub>5,20</sub> apresentou-se acima dos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/2005, que estipula 10 mg/L para cursos hídricos de classe 3. No geral, as diferenças de temperaturas entre verão e inverno implicaram significativamente nas variações sazonais de coliformes fecais, da DBO e clorofila-a.

Nos pontos 2 e 3, as variáveis de fósforo e nitrogênio apresentaram elevadas concentrações devido ao despejo de efluentes domésticos sem tratamento em perímetro urbano, com níveis muito superiores aos estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/05 para recursos hídricos de classe 3. As amostras de outubro/2013 e abril/2014 de nitrogênio do P2 necessitaram serem diluídas em 50%, de modo que ambas extrapolaram os limites de detecção da metodologia utilizada.

Todos os pontos amostrais em todas as coletas apresentaram valores de sólidos totais e de turbidez inferiores ao estabelecido pela Resolução CONAMA 357/2005, que estipula respectivamente 500 mg/L de sólidos totais e 100 UNT de turbidez como limites máximos para cursos hídricos de classe 3. Sampaio et. al (2007) obtiveram uma relação linear para a condutividade em função dos sólidos totais em águas residuárias de suinocultura e laticínio, menos para água doméstica residuária.

### **5.7 Determinação do IET, IPMCA, IQA e IVA**

Os resultados referentes ao IET (figura 32), IPMCA (figura 33), IQA (figura 34) e IVA (figura 35) seguem disponíveis abaixo.

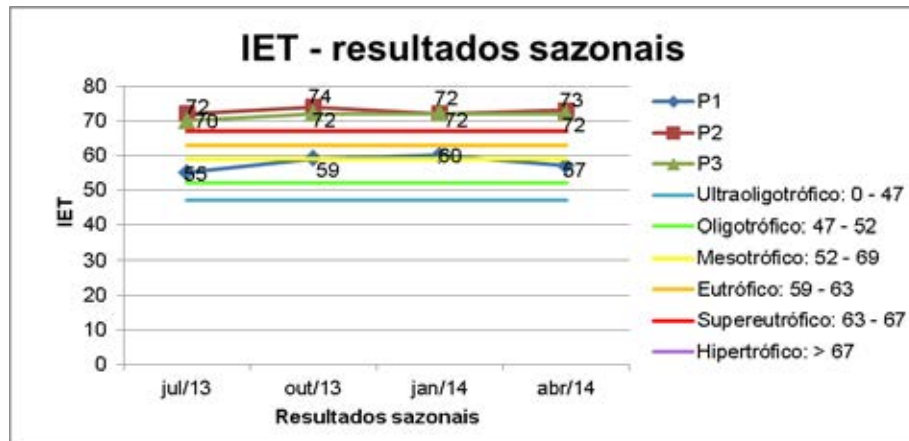


Figura 32 – Médias sazonais do IET.

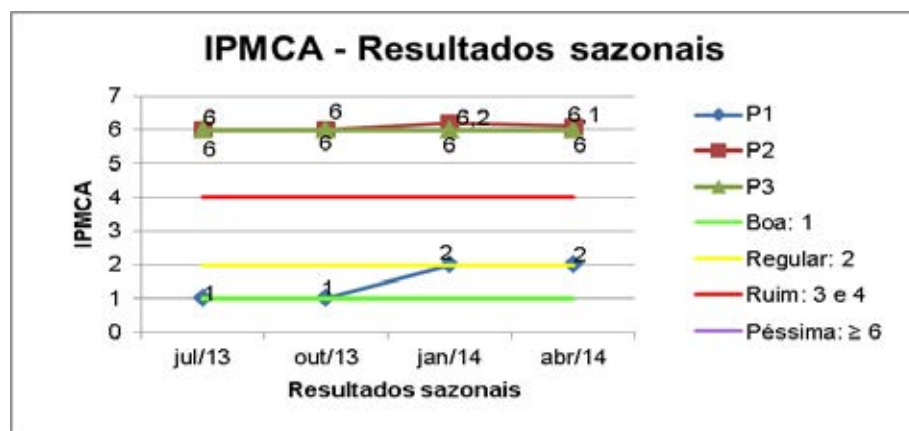


Figura 33 – Médias sazonais do IPMCA.

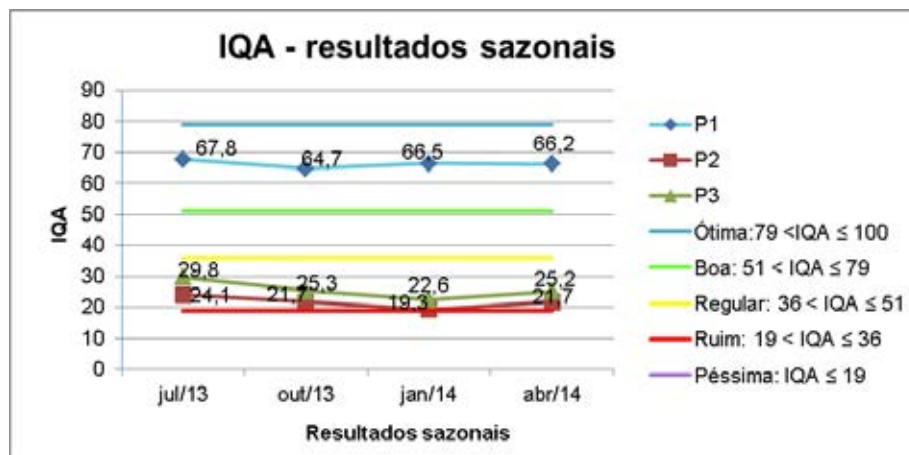


Figura 34 – Médias sazonais do IQA.

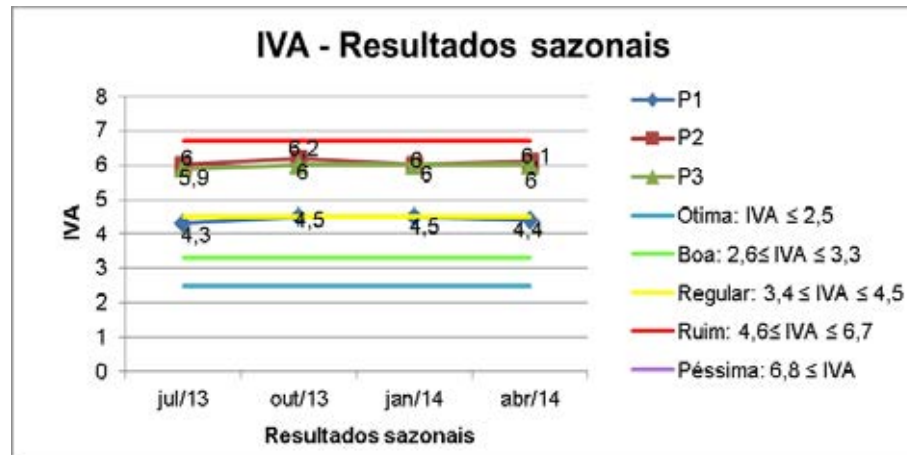


Figura 35 – Médias sazonais do IVA.

A variação sazonal do IET não foi intensa entre os pontos 2 e 3, os quais se encontram hipereutrofizados. No entanto, no P1 a sazonalidade foi responsável pela mudança da categoria de mesotrófico (jul e out/ 13) para eutrófico (jan/14). Bello e Guandique (2011) obtiveram níveis semelhantes do IET entre 45,9 (abril) e 72,1 (dezembro) de 2009 no rio Ipanema, um importante afluente do rio Sorocaba. Em um lago localizado no parque Carlos Alberto de Souza no bairro Campolim em Sorocaba, Gouveia et. al (2014) demonstraram que sua água se encontra hipereutrofizada, apresentando IET 72,98.

O nitrogênio foi considerado nos pontos 2 e 3, após o mês de abril/2014, o agente limitante para o crescimento de algas após as médias das análises de correlação com o fósforo (tabela 11), pois a relação nitrogênio/fósforo (N:P) foi menor do que 12. O fósforo foi considerado o agente limitante na correlação com o nitrogênio em todos os períodos analisados do P1, onde a relação N:P apresentou valores maiores do que 12. Quando a relação N:P é maior do que 12, o sistema indica excesso de nitrogênio e deficiência de fósforo (NASELLI-FLORES, 1999).

Tabela 11 – Valores sazonais da relação N:P

Amostras	Jul/13	Out/13	Jan/14	Abr/14
P1	138,3	32	16	40
P2	15,24	9,48	10,5	10,82
P3	17,7	11,42	8,98	7,54

Os pontos 2 e 3 apresentaram, em todas as coletas qualidade péssima da água quanto ao IPMCA. O destaque fica por conta das variações sazonais do IPMCA no P1. Segundo os resultados de metais, houve grandes concentrações de chumbo nas amostras coletadas de janeiro e abril de 2014.

O P1 apresentou IQA bom em todas as análises realizadas, com valor mínimo de 64,7 em out/13 e máximo de 67,8 em jul/13. Os pontos 2 e 3 apresentaram IQA ruim em todas as análises. Bello e Guandique (2011) obtiveram níveis de IQA entre 40 e 80, onde os níveis mais elevados foram dos meses de baixa precipitação (julho 78 e agosto 79, respectivamente). Mesmo se encontrando impactado por elevada eutrofização, Gouveia et. al (2014) obtiveram um bom IQA (65,11) no lago analisado em Sorocaba.

O IVA, índice que é composto pelo IET e IPMCA, permaneceu como regular em todas análises feitas no P1, ficando no limite máximo para a categoria ruim nos meses de outubro (2013) e janeiro (2014). O P2 e P3 apresentaram este índice ruim. A sazonalidade foi pouco decisiva para a avaliação deste índice, onde o principal fator de influência para mudanças de categorias entre os pontos foi o uso do solo.

## **5.8 Análise estatística dos resultados.**

Os gráficos abaixo representam os resultados das análises dos componentes principais referentes aos índices e parâmetros avaliados. Os resultados da ACP referentes à avaliação do IET (figura 36), IQA (figura 37), IPMCA (figura 38) e aos parâmetros físico-químicos (figura 39) estão dispostos logo a seguir.

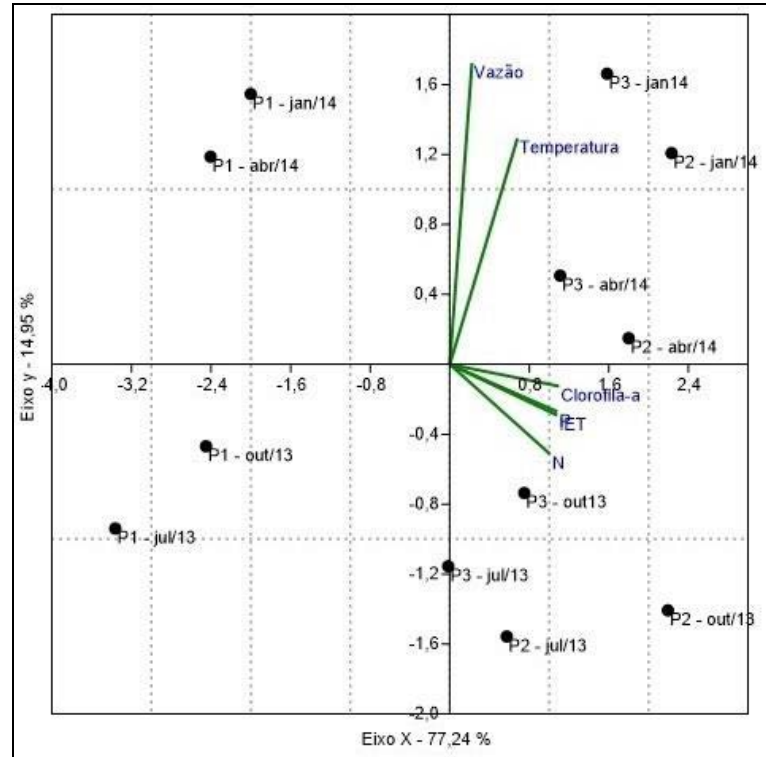


Figura 36 - Resultados sazonais da ACP para as componentes do IET.

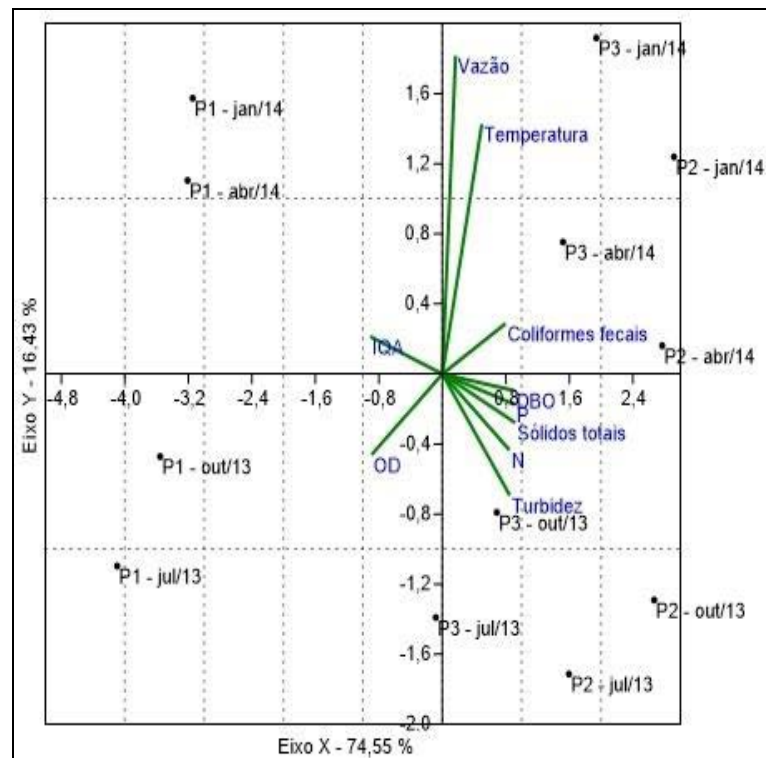


Figura 37 - Resultados sazonais da ACP para as componentes do IQA.

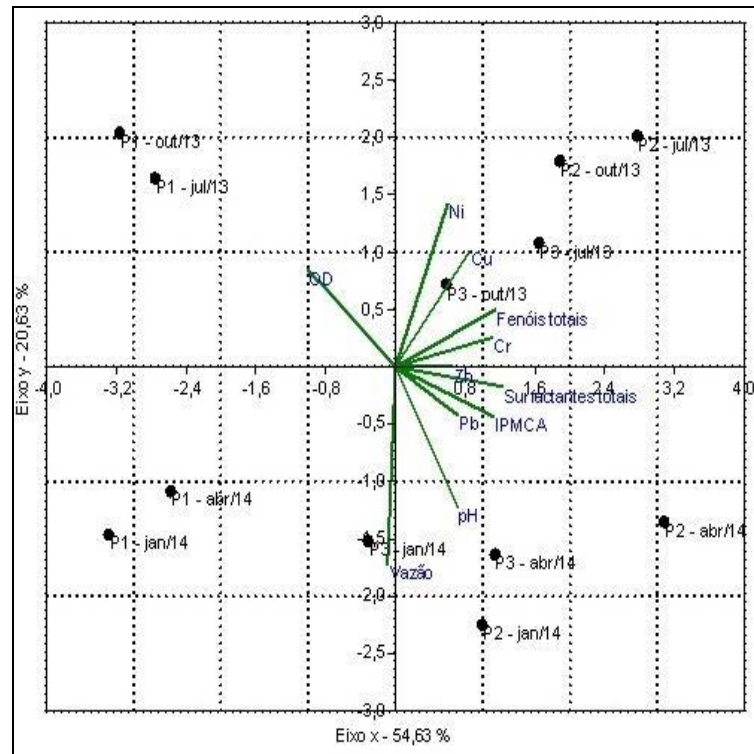


Figura 38 - Resultados sazonais da ACP para as componentes do IPMCA.

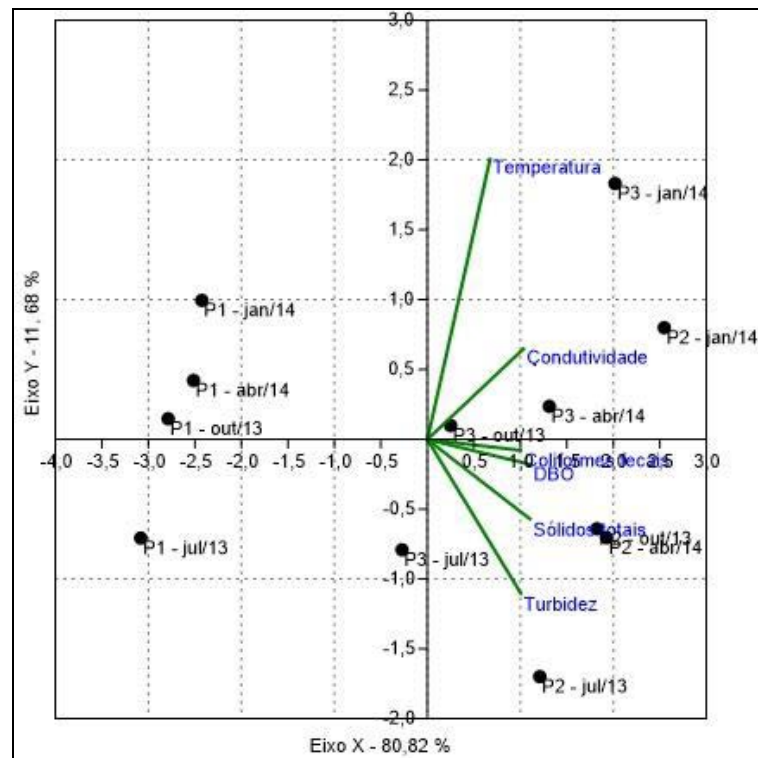


Figura 39 - Resultados sazonais da ACP para os parâmetros físico-químicos.

Nos gráficos da ACP sobre as componentes do IET, IQA, IPMCA e dos parâmetros físico-químicos o eixo 1, composto principalmente pela relação entre os parâmetros e índices com os diferentes pontos amostrais, explicou em todos os

casos mais de 50% das análises realizadas. A porcentagem foi maior de 70% nos exemplos do IET, IQA, chegando a ser superior a 80% no caso dos parâmetros físico-químicos, o que demonstrou a grande influência do uso do solo sobre as amostras realizadas.

Os elevados níveis do IQA estiveram mais relacionados à quantidade de OD presente no córrego, justificando em todas as coletas o P1 como melhor ponto para o Índice de Qualidade das Águas. O P2 e P3 em todas as avaliações apresentaram o IQA ruim, devido principalmente a grande presença de coliformes fecais, elevada DBO (acima de 10 mg/L), OD abaixo de 4 mg/L, além de concentrações de fósforo e nitrogênio totais muito acima do permitido para cursos hídricos de classe 3. As oscilações do IET estiveram muito relacionadas com as oscilações de nitrogênio e clorofila-a, mas principalmente de fósforo. A sazonalidade foi um fator determinante apenas para a variação do IET no P1, ponto que se encontra pouco impactado.

O IPMCA, de acordo com as análises dos componentes principais, demonstrou uma aproximação muito grande com os níveis de surfactantes no córrego do Bugre, os quais sofreram grande influência da sazonalidade em suas concentrações devido ao aumento do volume de água em épocas mais quentes. Sobre a relação dos metais com a vazão, segundo Chiba et. al (2011) a contaminação pontual de metal (resíduos industriais, por exemplo) é mais evidente na época da seca. Este tipo de contaminação proporciona um fornecimento constante de metais na água. Durante os períodos de chuva, os níveis de metais em corpos d'água devem ser menores do que os níveis de metais em períodos de seca, devido à diminuição da concentração de metais pela elevação da vazão de rios e córregos.

O P2 apresentou os piores índices de qualidade da água por estar mais próximo dos pontos de despejo de efluentes no perímetro urbano.

Os resultados apontaram a sazonalidade e o uso do solo como dois fatores determinantes para as variações dos índices avaliados. No entanto, o uso do solo foi decisivo para a qualidade da água em todos os pontos (figura 39) e em todas as épocas do ano, demonstrando que as características contínuas (como o uso do solo) foram mais marcantes do que as características temporárias (sazonalidade) para determinação da qualidade da água.

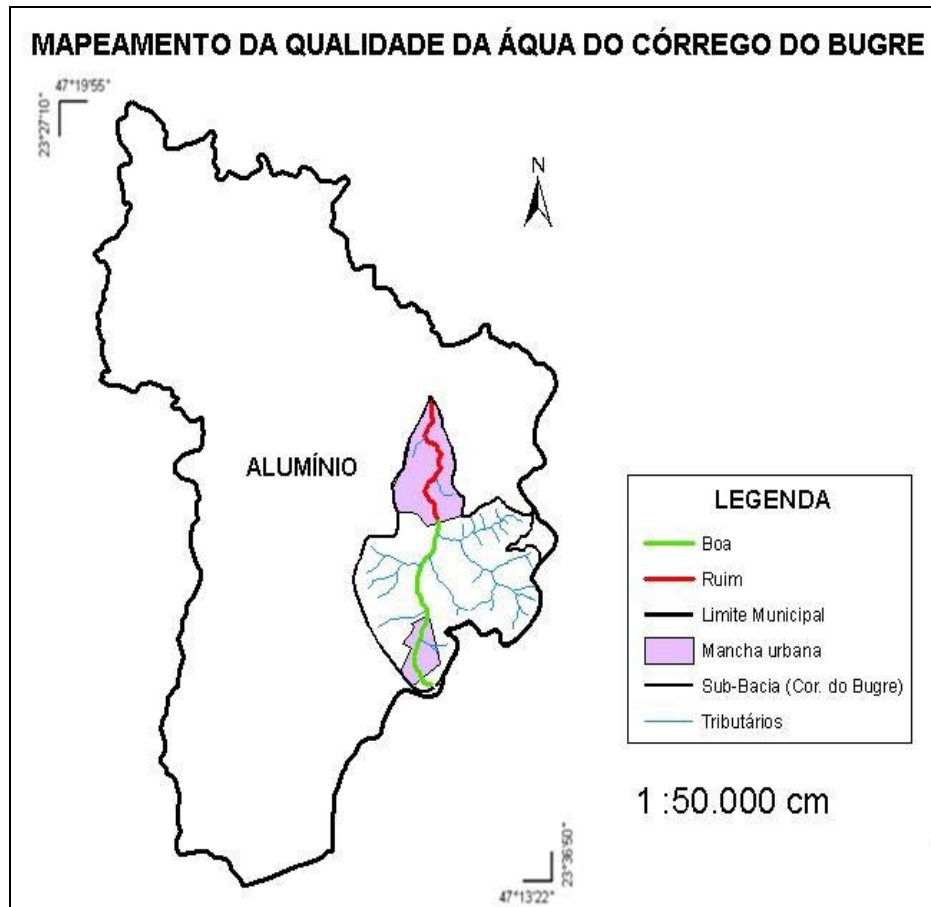


Figura 40 – Mapeamento da qualidade da água do córrego do Bugre

A elaboração do zoneamento e gerenciamento ambiental permitiu o desenvolvimento de uma análise ambiental mais complexa da bacia hidrográfica do córrego do Bugre. Ao observar a figura nota-se que a qualidade da água, de modo geral, se apresentou satisfatória desde sua nascente (a montante) mesmo atravessando o bairro de Itararé, até a principal concentração urbana de Alumínio, onde ocorrem os despejos de efluente doméstico sem tratamento, a jusante do córrego. Segundo Prado et al. (2003), o crescimento populacional representa uma das principais causas da degradação da qualidade da água de rios e reservatórios, visto que, há um aumento proporcional na produção de resíduos líquidos, que na sua maioria são lançados *in natura* nos corpos d'água.

A existência de vida aquática complexa (como peixes) não foi verificada no córrego do Bugre em todas as coletas realizadas nos pontos 2 e 3, fato comprovado pelos resultados dos índices apresentados. Neste contexto, não foram realizados ensaios de toxicidade. De acordo com o IPT (2006), os principais problemas enfrentados pela UGRHI 10 são dentre outros a falta de dados e estudos sobre os recursos nesta região, falta de tratamento adequado de esgoto, perdas nos sistemas

de abastecimento, falta de medidas de conservação e proteção dos mananciais, comprometimento dos corpos d'água, eutrofização de recursos hídricos e mortandade de peixes.

Diante do exposto, mesmo que Alumínio não tenha um Plano Diretor Municipal por ainda não possuir 20.000 habitantes, é pertinente (até por uma questão estratégica para o futuro do município) que o poder público deste município considere os dados deste trabalho referentes ao diagnóstico ambiental da bacia hidrográfica do córrego do Bugre.

Para Zacharias (2006) uma das hipóteses de sua pesquisa sobre o zoneamento territorial de Ourinhos sugere que um trabalho de Zoneamento Ambiental só terá real eficácia se for além e alinhar-se com as legislações e diretrizes do Plano Diretor Municipal, por representar a Lei Orgânica maior, que rege o Estatuto da Cidade em prol do desenvolvimento sustentável, com políticas e gestões ambientais.

Importante ressaltar que neste caso os dados advindos desta pesquisa só terão alguma relevância pública e social para o município de Alumínio se houver uma participação efetiva do poder público e da sociedade na tomada de decisões que tangem as problemáticas aqui apontadas.

## 6 CONCLUSÕES

As ferramentas e métodos utilizados foram pertinentes para uma avaliação complexa da área de estudo. Diante da avaliação dos índices e parâmetros analisados, é possível inferir que a água do Córrego do Bugre vem apresentando em sua jusante (onde ocorre a maior concentração urbana) índices insatisfatórios de qualidade para cursos hídricos de classe 3. De acordo com as metodologias aplicadas, o uso do solo foi mais determinante do que a sazonalidade, pois o uso do solo representou características contínuas e a sazonalidade, características temporárias dos parâmetros da água. O despejo de efluentes domésticos e industriais em perímetro urbano fez com que a qualidade da água do córrego do Bugre decaísse acentuadamente neste trecho.

Quanto à sazonalidade, a determinação da vazão foi muito importante para avaliar o volume de água do córrego do Bugre em época de seca (inverno) e de cheia (verão), pois houve variações na concentração de poluentes em diferentes épocas do ano. A nascente, por encontrar-se relativamente bem preservada, apresentou uma qualidade significativamente superior da água quanto aos índices e parâmetros avaliados. Por se tratar de um importante manancial da bacia do rio Sorocaba, sendo esta uma área estratégica para a captação de água para abastecimento público, é necessário uma implementação de medidas que reduzam o impacto antrópico causado principalmente na zona urbana, como o tratamento de efluentes domésticos principalmente a jusante do córrego do Bugre.

Dentre outras medidas, deve haver também a participação da população que mora próxima ao córrego para ajudar na compreensão e identificação de eventuais pontos a serem analisados. Dessa forma, aumentar-se-á a precisão do diagnóstico e isso, conseqüentemente, possibilitará o emprego de ações mais adequadas a serem tomadas frente às problemáticas apontadas.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AISSE, M. M. **Sistemas Econômicos de Tratamento de Esgotos Sanitários**. Rio de Janeiro: ABES, p. 192, 2000.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. **Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras: Água, sedimentos, comunidades aquáticas e efluentes líquidos**. Ed. Athalaya. 2011.

ALLOWAY, B.J. & AYRES, D.C. **Chemical Principles of Environmental Pollution**, 2 ed., Ed. Chapman & Hall; New York; 1997.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION - APHA. **Standard methods for the examination of water and wastewater, 21<sup>st</sup>ed**. Washington. 2005.

ANDREWS, J. E.; BRIMBLECOMBE, P.; JICKELLS, T. D.; LISS, P. S.; REID, B. J. **An introduction to environmental chemistry**. 2<sup>th</sup> ed. Blackwell Publishing. p. 296. 2004.

ARAÚJO, R.; GOEDERT, W. J.; LACERDA, M. P. C. **Qualidade de um solo sob diferentes usos e sob cerrado nativo**. Revista Brasileira de Ciência do Solo. p. 31:1099 - 1108. 2007.

BAIRD, C. **Química ambiental**. Trad. RECIO, M. A. L.; CARRERA, L. C. M. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2002.

BALLS, P. W.; BROCKIE, N.; DOBSON, J.; JONHSTON, W. Dissolved oxygen and nitrification in the upper forth estuary during summer (1982-92): *patterns and trends*. **Estuarine, coastal and shelf science**. v.42, p. 117- 134. 1996.

BARRA, C. M. et al. **Especiação de arsênio – uma revisão**. Química Nova, v. 23, n. 1, p. 58-70, 2000.

BELLO, F. H.; GUANDIQUE, M. E. G. **Diagnóstico ambiental do meio aquático do rio Ipanema, Sorocaba/SP**. Holos Environment, v. 11, n. 2, p. 94. 2011.

BIGARDI. **Fate of anionic surfactants in na aerated lagoon sedimentation pond WWTP**. Revista Engenharia Sanitária e Ambiental. v.8, p. 45-48. 2003.

BRAGA, B.; HESPANHOL, I.; CONEJO, J. G. L.; MIERZWA, J. C.; BARROS, M. T. L. de; SPENCER, M.; PORTO, M.; NUCCI, N.; JULIANO, N.; EIGER, S. **Introdução à engenharia ambiental**. São Paulo: Pearson Prentice Hall. p. 306. 2005.

CACCIA, V.G., MILLERO, F.J., PALANQUES, A. The distribution of trace metals in Florida Bay sediments. **Marine Pollution Bulletin** v. 4611, p. 1420–1433. 2003

CALMANO, W.; HONG, J.; FÖRSTNER, U. **Binding and mobilization of heavy metals in contaminated sediments affected by pH and redox potential**. v. 28 (8-9), p. 53-58. 1993.

CÂMARA, G.; MEDEIROS, J., S. **Geoprocessamento para projetos ambientais**. 2.ed. São José dos Campos, 2001. Disponível em:<<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/cap10aplicacoesambientais.pdf>> Acesso em: 31, mai. 2013.

CARLSON, R. E. A trophic state index for lakes. **Limnol. and Oceanogr.**, v.2, n.2, p. 361-369. 1977.

CARVALHO, T. M. **Técnicas de medição de vazão por meios convencionais e não convencionais**. RBGF – Revista Brasileira de Geografia Física. Recife, PE. Vol. 01 n.01 Mai/Ago, p. 73-85, 2008.

CEPAGRI – **Clima dos municípios paulistas**. 2013. Disponível em: <[http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima-dos\\_municipiospaulistas.html](http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima-dos_municipiospaulistas.html)> Acesso em: 10 abr. 2014.

CHIBA, W. A. C.; PASSERINI, M. D.; BAIO, J. A. F.; TORRES, J. C.; TUNDISI, J. G. **Seasonal study of contamination by metal in water and sediment in a sub-basin in the southeast of Brazil**. Braz. J. Biol. v.71, n. 4. São Carlos, SP. 2011.

CODE PERMANENT: ENVIRONNEMENT ET NUISANCES. **Éditions législatives et administratives**. Paris, França. Vol.1, 2. ed, p. 1784. 1986.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL – CETESB. (2008a). **Variáveis de qualidade das águas**. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/Agua/rios/variaveis.asp>>, Acesso em: 16 abr. 2014.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL – CETESB. **Índice de Qualidade das Águas Interiores Do estado de São Paulo – Anexo III: Índice de Qualidade das Águas**. São Paulo, SP. 2007. Disponível em: <<http://pt.scribd.com/doc/32168020/Anexo-III#download>> Acesso em: 05 abr. 2013.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL – CETESB. **Variáveis de qualidade das águas**. 2008. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/Agua/rios/variaveis.asp>>, Acesso em: 20 abr. 2013.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamentos de efluentes, e da outras providências. Resolução n. 357 de 17 de março de 2005. **Resoluções do CONAMA**: resoluções vigentes publicadas entre julho de 1984 e novembro de 2008. Brasília, 2. ed., p. 928. 2008.

CRUZEIRO DO SUL. **Sabesp planeja ter esgoto tratado até maio de 2015**. Disponível em: <<http://www.cruzeirosul.inf.br/materia/534278/sabesp-planeja-ter-esgoto-tratado-ate-maio-de-2015>> Acesso em: 10 nov. 2014.

CULLEN, J. J. The deep Chlorophyll maximum: Comparing vertical profiles of chlorophyll a. **Aquatic Science** v. 39, p.791-803. 1982.

DAVIS, M. L; CORNWELL, D. A. **Introduction to environmental engineering**. 3a ed., Singapore: McGraw-Hill, p. 917. 1998

EGWARI, L.; ABOABA, O. O. Environmental impact on the bacteriological quality of domestic water supplies in Lagos, Nigeria. **Revista Saúde Pública**, v.36, p. 513-520. 2002.

FEEMA; **Poluição hídrica da Baía de Guanabara por metais pesados cromo e zinco**. Rio de Janeiro, Brasil, 1992.

FUNDAÇÃO FLORESTAL. **Plano de Manejo da APA Itupararanga**. Disponível em: <[http://www.fflorestal.sp.gov.br/media/uploads/planosmanejo/APAitupararanga/PM\\_%20APA\\_itup\\_final.pdf](http://www.fflorestal.sp.gov.br/media/uploads/planosmanejo/APAitupararanga/PM_%20APA_itup_final.pdf)> Acesso em 19 mai. 2012.

FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Mapa Municipal Estatístico de Alumínio - Censo 2010**. Disponível em: <[ftp://geofp.ibge.gov.br/mapas\\_estatisticos/censo\\_2010/mapa\\_municipal\\_estatistico/sp/aluminio\\_v2.pdf](ftp://geofp.ibge.gov.br/mapas_estatisticos/censo_2010/mapa_municipal_estatistico/sp/aluminio_v2.pdf)>

FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **População de Alumínio, SP – Censo 2010**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>> Acesso em: 06 abr. 2012.

GARCEZ, L. N. **Manual de procedimentos e técnicas laboratoriais voltado para análises de águas e esgotos sanitário e industrial**. USP (Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária – Laboratório de Saneamento), p. 105, 2004.

GOMES, J. & SANTOS, I. Análise comparativa de campanhas de medição de descarga líquida pelos métodos convencional e acústico. In: **XIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, p.32-36. 2003.

GOVEIA, D.; REBELO, A.; LORO, A. P.; SASSO, G. D.; DA ROCHA T. N. F.; DOMPIERI, T. P.; CARLOS, V. M. **Uso de índices de qualidade para avaliação da água em ambiente lêntico**. Brazilian Journal of Biosystems Engineering v. 8(2): 104-111. 2014.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS - IPT. **Relatório Técnico Nº 91 265-205**. USP. São Paulo, SP. 2006.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS - IPT. **Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo**. V.1. Publicação 1183. 1981.

JONNALAGADDA, S.B.; MHERE, G. Water Quality of the Odzi river in the eastern highlands of Zimbabwe. **Water Research**, v. 35, p. 2371-2376. 2001.

JULIO, M.; FILHO, A., G., A.; WIECHETECK, G., K.; BUSCH, O., M., D.; HINSCHING, M., A., O.; PILATTI, F. **Diagnóstico sobre a disposição do esgoto doméstico na Bacia do Manancial Alagados, Ponta Grossa/PR**. 2008. Disponível em < [http://www.4eetcg.uepg.br/oral/37\\_1.pdf](http://www.4eetcg.uepg.br/oral/37_1.pdf) > Acesso em: 28 abr. 2012.

JUNIOR, F., R.; CARVALHO, S., L. **Avaliação da Qualidade das Águas na Microbacia Hidrográfica dos Córregos Gavanhery e Lambary no Município de Getulina, SP**. Disponível em <<http://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/holos/article/viewFile/4726/3754> > Acesso em: 28 abr. 2012.

LAMPARELLI, M.C. **Grau de trofia em corpos d'água do Estado de São Paulo: avaliação dos métodos de monitoramento**. Tese de doutorado. Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo. p. 238. 2004.

LEGENDRE, P.; LEGENDRE, L. **Numerical Ecology**. Amsterdam: Elsevier Science. P. 853. 1998.

MANAHAN, S. E. **Environmental Chemistry**. 8a ed., Boca Raton: CRC Press. p. 783. 2005.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - MMA. **Política Nacional do Meio Ambiente** **6938/81**. Disponível em: < [http://www.mma.gov.br/estruturas/sqa\\_pnla/\\_arquivos/46\\_10112008050406.pdf](http://www.mma.gov.br/estruturas/sqa_pnla/_arquivos/46_10112008050406.pdf) >. Acesso em: 15 mai. 2012.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - MMA. **Política Nacional dos Recursos Hídricos** **9433/97**. Disponível em: < [http://www.mma.gov.br/estruturas/161/\\_publicacao/161\\_publicacao16032012065259.pdf](http://www.mma.gov.br/estruturas/161/_publicacao/161_publicacao16032012065259.pdf) >. Acesso em: 15 mai. 2012.

MORAES, E. C. F.; SZNELWAR, R. B.; FERNÍCOLA, N. A. G. G. **Manual de toxicologia analítica**. São Paulo: Roca, 1991.

NASELLI-FLORES, L. **Limnological aspects of Sicilian reservoirs: a comparative, ecosystemic approach**. In: TUNDISI, J. G; STRASKRABA, M. (Eds). Theoretical reservoir ecology and its applications. Neatherlands, Buckhuys, p. 283-311, 1999.

OLIVEIRA, A. T. R. A. Comunidade fitoplanctônica no monitoramento de rios do estado de São Paulo. Dissertação (Mestrado). São Paulo: Faculdade de Saúde Pública, USP. 2012.

PEREIRA, R. S. Identificação e caracterização das fontes de poluição em sistemas hídricos. **Revista Eletrônica de Recursos Hídricos**, v. 1, p. 23 – 40. 2004.

PETRY, C. F. **Determinação de Elementos Traço em Amosgras Ambientais por ICP OES**. Porto Alegre, 2005. Dissertação (Mestrado em Química) – Programa de Pós Graduação em Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre – RS, 2005.

PRADO, R. B.; NOVO, E. M. L. M.; PEREIRA, M. N. Anais do 11o Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Belo Horizonte – MG, p. 2565 – 2567. 2003

QURESHI, A.; MACLEOD, M.; SCHERINGER, M.; HUNGERBÜHLER, K. Mercury cycling and species mass balances in four North American lakes. Safety and Environmental Technology Group, Institute for Chemical and Bioengineering, ETH Zürich, CH-8093 Zürich. **Environmental Pollution** v.157, p. 452–462. 2009

REFOSCO, J., C. **Ecologia da Paisagem e o Sistema de Informações Geográficas no Estudo da Interferência da Paisagem na Concentração de Sólidos Totais no Reservatório da Usina de Barra Bonita – SP**. São Carlos, 1996. 129f. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos - SP. 1996.

RIBEIRO. G. M., MAIA. C.E., MEDEIROS. J.F. **Uso da Regressão linear para estimativa da relação entre a condutividade elétrica e a composição iônica da água de irrigação**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. Vol. 9. Nº1. p.15-22, 2004.

ROSA, A. H., FRACETO, L. F., CARLOS, V. M. Meio Ambiente e Sustentabilidade. **Cap. 5 – Recursos Hídricos e indicadores hidrológicos**. Porto Alegre, Bookman p. 103 – 125., 2012.

ROSA, A. H., et al. **Relatório Científico Edital mct/cnpq/ct-hidro – Nº 044/2006/ Proc. 555539/2006-7**. Diagnóstico ambiental e avaliação de uso e ocupação do solo visando a sustentabilidade de importante área úmida da Bacia do Médio Tietê. UNESP - Sorocaba, SP. p.124. 2009.

ROSA, A.H.; ROCHA, J.C.; CARDOSO, A.A. **Introdução à Química Ambiental**. Porto Alegre, Bookman, 2004.

SALOMONS, W.; FÖRSTNER, U. **Metals in the hydrocycle**. Springer-Verlag. p. 349. 1984.

SAMPAIO, S. C.; SILVESTRO M. G.; FRIGO, E. P.; BORGES, C. M. **Relação entre série de sólidos e condutividade elétrica em diferentes águas residuárias**. Irriga, Botucatu. v. 12, n. 4, p. 557-562, 2007.

SANTOS, R. F. dos. **Planejamento Ambiental: teoria e prática**. São Paulo – Oficina de Textos, 2004.

SCWARTZ, M. E.; KRULL, I. S. Validação de métodos cromatográficos. **Pharmaceutical Technology**. v. 2, n.3, p.12-20, 1998.

SHUKLA, O.P.; RAI, U.N.; DUBEY, S. Involvement and interaction of microbial communities in the transformation and stabilization of chromium during the composting of tannery effluent treated biomass of *Vallisneria spiralis* L. **Ecotoxicology and Bioremediation Group**, National Botanical Research Institute, Rana Pratap Marg, Lucknow 226 001, India, 2008.

SILVA, E. R.; ASSIS, O. B. G. Evaluation of electrochemical technique for removal of organic waste from water by using a laboratory scale unit. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental** v.9, p.193-196. 2004.

SILVA, G. A.; GALEMBECK, T., M., B.; GALEMBECK, O. **Disponibilidades Hídricas Subterrânea e Superficial na Sub-Bacia Hidrográfica no Rio Pirajibu,**

**Região de Sorocaba-SP.** VIII Simpósio de Geologia do Sudeste. São Pedro, SP. 2003.

SOARES, F. B. **Planejamento ambiental da bacia do balneário da amizade nos municípios de Álvares Machado e Presidente Prudente – São Paulo.** Artigo acadêmico completo. Disponível em: <[http://bacias.fct.unesp.br/gadis/DOCUMENTOS/GestaoDasAguas/Artigos/Artigo\\_completo\\_VII%20Forum%20Ambiental%20da%20Alta%20Paulista-3.pdf](http://bacias.fct.unesp.br/gadis/DOCUMENTOS/GestaoDasAguas/Artigos/Artigo_completo_VII%20Forum%20Ambiental%20da%20Alta%20Paulista-3.pdf)> Acesso em: 23 mai. 2012.

SMITH, W. S; PETRERE Jr. M.; BARRELLA, W. **As comunidades de peixes da bacia do Rio Sorocaba, Estado de São Paulo, Brasil em diferentes habitats (São Paulo, Brasil).** Disponível em <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S151969842009000500005&nr=iso&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S151969842009000500005&nr=iso&tlng=pt)> Acesso em: 15 mai. 2012.

SMITH, W. S.; SALMAZZI, B.A.; POSSOMATO, H.M.; OLIVEIRA L.C.A.; ALMEIDA, M.A.G; PUPO, R.H.; TAVARES, T.A. A bacia do rio Sorocaba: caracterização e principais impactos. **Revista Científica do IMAPES** v. 3, p.110-113. 2005

SOUZA, V.V. Net throughfall quality assessment in a spontaneous forest ecosystem (Mata Atlântica) in Viçosa, MG, Brazil. **Revista Árvore** v.31, p.737-743. 2007.

TUNDISI, J.G.; MATSUMURA-TUNDISI, T.. **Limnologia.** São Paulo, SP: Oficina de Textos, p. 632. 2008.

U.S. ENVIRONMENT PROTECTION AGENCY. (2009a). **Actions You Can Take To Reduce Lead In Drinking Water.** Disponível em: <[www.epa.gov/ogwdw/lead/lead1.html](http://www.epa.gov/ogwdw/lead/lead1.html)>. Acessado em 05 de maio de 2013.

ULLRICH, S.M., TANTON, T.W., ABDRAHITOVA, S.A. Mercury in the aquatic environment: a review of factors affecting methylation. **Critical Reviews in Environmental Science and Technology** v. 31, p. 241–293. 2001

USEPA (United States Environmental Protection Agency). **Water Quality Criteria Summary.** Office of Science and Technology, Washington, DC, May, 1991.

VALLS, M. e LORENZO, V. Exploiting the genetic and biochemical capacities of bacteria for remediation of heavy metal pollution. **FEMS Microbiology Reviews**, v. 26, p. 327- 338. 2002.

WETZEL, R. G.; LIKENS, G. E. ***Limnological Analyses***. 20 ed., Springer-Verlag. 391 p., 1991.

YANG, M.; SANUDO-WILHELMY, S.A. Cadmium and manganese distributions in the Hudson River Estuary: *interannual and seasonal variability*. **Earth and Planetary Science Letters** v. 160, p. 403–418. 1998

ZACHARIAS, A. A. A representação gráfica das unidades de Paisagem no zoneamento ambiental: um estudo De caso no município de Ourinhos-SP. **Tese de Doutorado**. Universidade Estadual Paulista, Rio Claro. p. 192. 2006.