



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS**  
**INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA**



**TESE DE DOUTORADO**

**Investigação geoquímica como instrumento de gestão ambiental – sub-bacia do córrego Sarandi, Minas Gerais.**

**AUTOR: Selma Maria de Oliveira Lopes Cabaleiro**

**ORIENTAÇÃO: Prof. Dr. Adolf Heinrich Horn**

Nº

**BELO HORIZONTE**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA**

Selma Maria de Oliveira Lopes Cabaleiro

**Investigação geoquímica como instrumento de gestão ambiental –  
sub-bacia do córrego Sarandi, Minas Gerais.**

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Geologia do Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais como requisito para obtenção do título de Doutor em Geologia. Área de concentração: Geologia Econômica e Aplicada.

Orientador: Prof. Dr. Adolf Heinrich Horn

**BELO HORIZONTE**  
20/10/2010

Tese defendida e aprovada, em 20 de outubro de 2010, pela Banca examinadora constituída pelos professores:

---

Prof. Dr. Adolf Heinrich Horn – orientador

---

Prof. Dr. Antônio Pereira Júnior

---

Prof. Dr. Hermínio Arias Nalini Júnior

---

Prof. Dr. Hubert Mathias Peter Roeser

---

Prof. Dr. René Rodrigues

*...E disse Deus: ajuntem-se num só lugar as águas que estão debaixo do céu, e apareça o elemento seco. E assim foi. Chamou Deus ao elemento seco **terra**, e ao ajuntamento das águas mares. E viu Deus que isso era bom. E disse Deus: Produza a terra relva, ervas que dêem semente, e árvores frutíferas que, segundo as suas espécies, dêem fruto que tenha em si a sua semente, sobre a terra. E assim foi. A terra, pois, produziu **relva**, ervas que davam semente segundo as suas espécies, e **árvores** que davam fruto que tinha em si a sua **semente**, segundo as suas espécies. E viu Deus que isso era bom...*

*(Gênesis I, 9-10)*



*A todos aquellos que amo.*

## AGRADECIMENTOS

Ao chegar ao final deste trabalho, percebi quão gratificante foi ter percorrido este caminho ao lado destas pessoas, a quem agradeço de coração.

Agradeço ao Prof. Dr. Adolf Heinrich Horn pelo companheirismo e orientação.

Aos professores do IGC-UFMG, pelos fundamentos oferecidos nas aulas.

À Banca Examinadora do Exame de Qualificação, pelas observações precisas que nortearam meus passos.

A CPRM, na pessoa do engenheiro geólogo Décio A. Beato, pela cessão de direitos de uso de mapas e figuras da CPRM.

Ao CDTN/CNEN pela disponibilização dos recursos laboratoriais do setor de Radioquímica e Absorção Atômica, onde foram realizadas parte das análises químicas.

A UNIMONTES pelo empréstimo dos instrumentos de campo necessários a esta pesquisa.

Ao professor Allaoua Saadi pela colaboração valiosa na área da geografia, tão importante no contexto deste estudo.

Aos funcionários do Departamento de Geologia, pelo auxílio na rotina dos trabalhos, em especial à Paula, pelas inúmeras vezes que me auxiliou nas atividades de registro acadêmico e relação com o Colegiado.

Ao CPMTC, na pessoa de William Santos, pelas análises químicas e suporte aos ensaios físicos.

Ao Laboratório de difratometria do IGC, em especial à Amanda e Cássia.

Aos colegas virtuais das Universidades do Rio Grande do Sul, Fluminense, Viçosa, Minas Gerais, pela disponibilização documentos e registros, enriquecendo este trabalho.

Ao Humberto Reis pela valiosa ajuda nas etapas de amostragem.

Ao Brenner Rodrigues, pela elaboração dos mapas e suporte na geografia.

Ao Leonardo Santana pelos aconselhamentos finais.

.Aos companheiros de doutorado, pela vivência e compartilhamento de nossos sonhos.

Ao Porfírio, pelo seu conhecimento e disponibilidade na discussão das diversas etapas do estudo, sobretudo por sua ajuda na análise dos dados, dando condições de concluir de forma tão brilhante.

Aos colegas da CODEMIG, que participaram do meu dia a dia na busca pelo conhecimento.

A todos que auxiliaram para o sucesso desta pesquisa.

À Deus, pela luz que me fez persistir nos momentos de dificuldade.

## RESUMO

O estudo geoquímico da sub-bacia do Sarandi, espaço geográfico intensamente antropizado, apresenta-se como ferramenta de gestão público-ambiental. Foram utilizados dados de monitoramento das águas de seus afluentes - IGAM (2007- 2008) e dados obtidos de amostras de água e sedimentos coletados ao longo do córrego Sarandi no período de 2007 e 2008. As variáveis físico-químicas e os elementos-traço encontrados foram relacionados aos dados geológicos, geomorfológicos, elementos de vegetação e uso e ocupação do solo conduzindo ao entendimento das causas da contaminação na área de estudo. Os Fatores de Contaminação de Hakanson foram determinados nas amostras de sedimentos finos do córrego Sarandi. A elaboração do mapa de vulnerabilidade ambiental consistiu na integração lógica dos dados e conjunto de informações disponíveis, gerando uma base de dados georreferenciados em SIG (Sistema de Informações Geográficas), o que possibilitou uma análise sistemática de cada elemento dos mapas temáticos, permitindo definir áreas de vulnerabilidade ambiental na extensão da sub-bacia do Sarandi. A qualidade da água, Ruim ou Muito Ruim, pelos valores de IQA, foi constatada em quase todos os afluentes da sub-bacia, confirmados pelos valores de turbidez, fósforo e amônia em desacordo com a legislação, que sugerem a presença de grande quantidade de matéria orgânica em decomposição. O alto consumo de oxigênio das águas dos córregos se explica pelo lançamento de esgotos sanitários e dos efluentes industriais, considerando que a sub-bacia encontra-se ocupada não somente por loteamentos urbanos como por diversas indústrias. Os valores de condutividade elétrica, variando entre 250 e 1550  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , e a relação DQO/DBO  $>3,0$  evidenciam a presença de efluentes industriais com características de toxicidade nas águas dos afluentes da sub-bacia, corroborando para expectativa de contaminação por elementos tóxicos dessa sub-bacia. As águas dos afluentes da sub-bacia do Sarandi encontram-se contaminadas pelos elementos Cu, Cr, Cd, Pb, Zn, Mn e Fe, sendo que os elementos Cd, Pb, Zn e Mn encontrados nos sedimentos correspondem a cerca de 65% da contaminação metálica. Ressalta-se que grande parte dos sedimentos gerados na sub-bacia do Sarandi termina na Lagoa da Pampulha, onde a interação água-sedimento fino-metal é favorecida (Bandeira 2004). Identificaram-se as fontes pontuais de poluição: polo industrial (CINCO) e seu Lixão desativado e *cluster de* pequenas indústrias metalúrgicas. A preponderância dos fatores antrópicos sobre os naturais é evidenciada pela alta densidade de ocupação (68.% da área da sub-bacia), sobressaindo população de baixa renda; restritas ações de saneamento; alto coeficiente de impermeabilização e presença significativa de indústrias

com potencial de poluição. Na determinação da vulnerabilidade ambiental, por sua característica de sub-bacia urbanizada, foram considerados os seguintes fatores: presença da fonte de contaminação, posição da área em relação à fonte e nível de ocupação urbana. Pode-se concluir que apenas 11% da sub-bacia apresentam nível alto relativo à vulnerabilidade por elementos-traço (Cu, Cr, Cd, Pb, Zn, Mn e Fe). A baixa solubilidade dos elementos-traço na água e sua afinidade pelos sedimentos sugerem que o monitoramento do sistema aquático inclua os sedimentos como parâmetro de controle, colaborando para a identificação das causas e compreensão da contaminação da sub-bacia por esses elementos, além do que, esses elementos apresentam pequena variação temporal e espacial. A poluição orgânica, presente em toda sub-bacia, ainda é um problema a ser combatido, resultado da restrita abrangência da rede coletora de esgoto. Ressalta-se a importância do monitoramento das águas, instrumento valioso na interpretação da qualidade ambiental, que merece ser trabalhado em todas as perspectivas, seja do ponto de vista a garantir a qualidade da água para os diversos usos, seja para tornar o licenciamento ambiental efetivo, e principalmente ser o alicerce na tomada de decisões ou no delineamento de estratégias no âmbito urbano-ambiental. Esse estudo geoquímico ambiental reflete a preocupação com as fontes de desequilíbrio da natureza, originado nos problemas sócio-políticos de superpopulação, urbanização e industrialização, e busca o entendimento da natureza e sua relação com o homem, sob a ótica holística e interdisciplinar.

**Palavras– chave:** Contaminação da água, metais pesados, elementos-traço, gestão ambiental pública.

## ABSTRACT

The geochemical study is presented as a tool for public environmental management. Monitoring data of the tributaries waters of the Sarandi's sub-basin - IGAM (2007 - 2008) were used, and data obtained from water samples and sediments collected along the Sarandi stream in the period ranging from 2007 to 2008. The physic-chemical and metallic elements were related to geology, geomorphology, vegetation elements, and landing uses, driving to the understanding of the causes of heavy metal contamination in the study area. The Hakanson Factors of Contamination were determined in fine sediment samples from the Sarandi's stream. The assembling of the environmental vulnerability map consisted of the logical integration of the data and information set available, creating a georeferenced GIS database (Geographic Information System), which allowed a systematic analysis of each element in thematic maps allowing defining the environmental vulnerability areas in the extent of the Sarandi's sub-basin of. The poor water quality, defined by the values of the IQA, is seen in almost all the tributaries of the sub-basin, and is confirmed by the values of turbidity, phosphorus and ammonia. It also suggests the presence of *large* amounts of decaying organic matter, which is clearly in violation of the law. The high oxygen consumption of water from streams is explained by the release of sewage and industrial effluent, noticing that the sub-basin is occupied not only by urban lots but various industries. The electrical conductivity values ranging between 250  $\mu\text{S}/\text{cm}$  and 1550  $\mu\text{S} / \text{cm}$  and the  $\text{DQO}/\text{DBO} > 3.0$  show the presence of industrial effluents with water toxicity which confirms the author's hypothesis. The results of this study indicated that the waters of the Sarandi's sub-basin are contaminated by heavy metals like Cu, Cr, Cd, Pb, Zn, Mn and Fe. The elements Cd, Pb, Zn and Mn found in sediments corresponding to about 65% of metal contamination. It is worthy of mentioning that most of the sediment generated in the sub-basin of Sarandi flows to the Pampulha Lake, where the interaction of water with metal sediment is favoured (Bandeira 2004). The following sources of pollution were identified, they are: the industrial hub (CINCO) including its Dump Off, and a cluster of small metallurgic industries. It was concluded by a preponderance of anthropogenic factors over the naturals, as evidenced by the high density area (68% sub-basin), highlighting the poor population, limited water supply and sanitation, low coefficient of permeability and presence of industries with significant pollution potential. The characteristic of sub-basin urbanization led to consider, in determining environmental vulnerability, the following factors: the presence of contamination source, position of the area relating to the contamination source, and high level of population density. It can be concluded that only 11% of the sub-basin shows a high level on the vulnerability of heavy metals (Cu,

Cr, Cd, Pb, Zn, Mn and Fe). The low solubility of heavy metals in water and their affinity to the sediment suggests that the monitoring system should include aquatic sediments as a control parameter, contributing to the identification and understanding of the contamination causes of the sub-basin by these elements, in addition, exhibit small temporal and spatial variation. The current organic pollution in the entire sub-basin is still a problem to be tackled as a result of the limited scope of the sewage disposal system. We stress highlight the importance of water monitoring, valuable tool in the interpretation of environmental quality that deserves to be worked on all perspectives, whether from the standpoint of ensuring the quality of water for various uses, or making effective environmental licensing, and became the basis of decision making or design strategies within the urban environment. This geochemical study reflects the concern with environmental sources of imbalance in nature, originated in the social and political problems of overpopulation, urbanization and industrialization, and seeks the understanding of nature and its relationship with the man, from the perspective holistic and interdisciplinary.

**Keywords:** Water contamination, heavy metals, trace elements; public environmental management.

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>6</b>
<b>3</b>	<b>JUSTIFICATIVA.....</b>	<b>6</b>
<b>4</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>7</b>
<b>4.1</b>	<b>Entendendo a geoquímica ambiental.....</b>	<b>7</b>
<b>4.2</b>	<b>Elementos traço.....</b>	<b>10</b>
4.2.1	Conceitos.....	10
4.2.2	Toxicidade e bioacumulação dos elementos metálicos.....	18
4.2.3	Comportamento do elemento-traço na água e sedimento.....	19
4.2.4	Geoquímica dos sedimentos.....	22
<b>4.3</b>	<b>Influências do uso e cobertura do solo na qualidade da água.....</b>	<b>29</b>
<b>4.4</b>	<b>Gestão de bacias hidrográficas.....</b>	<b>31</b>
<b>4.5</b>	<b>Qualidade das águas superficiais como ferramenta de gestão ambiental.....</b>	<b>33</b>
4.5.1	Monitoramento da qualidade das águas superficiais realizado no Estado de Minas Gerais.....	34
<b>4.6</b>	<b>Arcabouço legal sobre recursos hídricos no Brasil.....</b>	<b>46</b>
4.6.1	Evolução legal.....	47
4.6.2	Considerações.....	52
<b>5</b>	<b>CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....</b>	<b>53</b>
<b>5.1</b>	<b>Localização da área de estudo.....</b>	<b>53</b>
<b>5.2</b>	<b>Aspectos fisiográficos da área de estudo.....</b>	<b>58</b>
5.2.1	Geologia Regional.....	58
5.2.2	Geologia local.....	61
5.2.3	Geomorfologia.....	64
5.2.4	Geologia estrutural.....	69
5.2.5	Hidrologia.....	71
5.2.6	Hidrogeologia.....	71
5.2.7	Hidroquímica.....	73
5.2.8	Pedologia.....	74
5.2.9	Climatologia.....	75
5.2.10	Uso e ocupação do solo.....	77
5.2.11	Ações de saneamento básico.....	80
5.2.12	Qualidade das águas superficiais da bacia do Rio das Velhas e seus afluentes – relatório anual 2007 (IGAM).....	82
<b>6</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>84</b>
<b>6.1</b>	<b>Definição dos pontos de amostragem.....</b>	<b>85</b>

6.1.1	Etapas de amostragem .....	87
<b>6.2</b>	<b>Descrição da coleta e preparação de amostras .....</b>	<b>88</b>
<b>6.3</b>	<b>Definição dos elementos químicos e parâmetros físico-químicos.....</b>	<b>90</b>
<b>6.4</b>	<b>Métodos de análises químicas .....</b>	<b>90</b>
6.4.1	Espectrometria de Massa Acoplada a uma Fonte de Plasma (ICP-MS) .....	90
6.4.2	ICP-OES Espectrômetro de Emissão Atômica com Plasma Indutivamente Acoplado.....	91
6.4.3	Absorção atômica .....	92
<b>6.5</b>	<b>Análise granulométrica .....</b>	<b>93</b>
<b>6.6</b>	<b>Análise difratométrica .....</b>	<b>93</b>
<b>6.7</b>	<b>Análises de matéria orgânica .....</b>	<b>93</b>
<b>6.8</b>	<b>Elaboração de mapas .....</b>	<b>93</b>
<b>6.9</b>	<b>Determinação dos fatores de contaminação para os sedimentos e definição do <i>background</i> .....</b>	<b>94</b>
<b>6.10</b>	<b>Tratamento dos dados.....</b>	<b>95</b>
6.10.1	Base de dados .....	95
6.10.2	Sequência de ações para interpretação dos dados .....	95
6.10.3	Determinação da vulnerabilidade ambiental da sub-bacia do Sarandi .....	96
<b>7</b>	<b>ANÁLISE DOS DADOS DE MONITORAMENTO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS DA SUB-BACIA DO SARANDI (IGAM 2007-2008) .....</b>	<b>98</b>
<b>7.1</b>	<b>Análise espacial dos dados.....</b>	<b>98</b>
7.1.1	Análise dos parâmetros físico-químicos .....	101
7.1.2	Análise dos elementos metálicos investigados.....	118
7.1.3	Comportamento dos elemento-traço presentes nas amostras de água dos afluentes da sub-bacia do Sarandi, em função de alguns fatores físico-químicos .....	130
<b>8</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>142</b>
<b>8.1</b>	<b>Resultados analíticos da 1<sup>a</sup>. campanha de amostragem .....</b>	<b>142</b>
<b>8.1</b>	<b>Resultados analíticos da 2a. campanha de amostragem .....</b>	<b>145</b>
8.1.1	Variação espacial– Água .....	145
8.1.2	Comportamento dos metais em função dos fatores físico-químicos .....	154
8.1.3	Comportamento dos elementos-traço nos sedimentos do córrego Sarandi.....	159
<b>8.2</b>	<b>Análise difratométrica dos sedimentos coletados no córrego Sarandi - fração fina (&lt;0,074mm).....</b>	<b>162</b>
<b>8.3</b>	<b>Distribuição granulométrica dos sedimentos coletados no córrego Sarandi.....</b>	<b>162</b>
<b>8.4</b>	<b>Caracterização do uso e ocupação do solo da sub-bacia do Sarandi.....</b>	<b>164</b>
<b>8.5</b>	<b>Determinação da vulnerabilidade ambiental por tóxicos da sub-bacia do Sarandi.....</b>	<b>165</b>
<b>9</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>174</b>



<b>10</b>	<b>RECOMENDAÇÕES.....</b>	<b>177</b>
<b>11</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>178</b>

**ANEXOS**

## LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

AABB – Associação Atlética do Banco do Brasil  
Ag – Prata  
ANEEL- Agência Nacional de Energia Elétrica  
Al – Alumínio  
As – Arsênio  
ASTER – Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection  
Au – Ouro  
Ba – Bário  
Be – Berílio  
Bi- Bismuto  
Br – Bromo  
Ca – Cálcio  
C – Carbono  
CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior  
 $C_B$  é a concentração média de *background* geoquímico do elemento  
Cd - Cádmiio  
CDTN – Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear  
CEASA- Centrais de Abastecimento de Minas Gerais S.A  
CEMIG – Companhia Energética de Minas Gerais  
CERH – Conselho Estadual de Recursos Hídricos  
CETESB- Companhia Ambiental do Estado de São Paulo  
CF- Constituição Federal  
CINCO– Centro Industrial de Contagem  
Cl - Cloro  
NOCl - Cloreto Nitrosyl  
CMMAD – Conferência Mundial do Meio Ambiente e Desenvolvimento  
 $C_N$  - é a concentração do elemento  
CNEN- Comissão Nacional de Energia Nuclear  
CNPQ – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico  
CNRH – Conselho Nacional de Recursos Hídricos  
Co - Cobalto

CODEMIG- Companhia de Desenvolvimento Econômico de Minas Gerais  
CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente  
COPAM – Conselho de Política Ambiental  
COPASA- Companhia de Saneamento de Minas Gerais  
CPMTC- Centro de Pesquisa Manuel Teixeira da Costa  
CPRM - Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais  
Cr- Cromo  
CT- Índice de Contaminação por Tóxicos  
Cu- Cobre  
DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio  
DQO – Demanda Química de Oxigênio  
E - Leste  
EBCT- Empresa Brasileira de Correios e Telégrafos  
ETE- Estação de Tratamento de Efluentes  
F<sub>C</sub> - Fator de Contaminação  
Fe – Ferro  
F- Fluor  
FEAM- Fundação Estadual do Meio Ambiente  
Ga- Gálio  
GIS - Geographic Information System  
G<sub>C</sub>. Grau de Contaminação  
Hf – Háfnio  
H – Hidrogênio  
Hg - Mercúrio  
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística  
ICP-MS - Espectrometria de Massa Acoplada a uma Fonte de Plasma  
ICP-OES- Espectrômetro de Emissão Atômica com Plasma Indutivamente Acoplado  
IEPHA- Instituto Estadual do Patrimônio Histórico E Artístico–  
IGA- Instituto de Geografia Aplicada  
IGAM- Instituto Mineiro de Gestão das Águas  
IGC – Instituto de Geociências  
IGEO – Índice de Geoacumulação  
IMA – Instituto Mineiro de Agropecuária

IQA – Índice de Qualidade de Água  
IUPAC- International Union of Pure and Applied Chemistry  
Ir – Irídio  
K - Potássio  
La- Lantânio  
L- Leste  
LEDS - Diodo Emissor de Luz  
Li- Lítio  
M – massa atômica  
MDT- Modelo Digital de Terreno  
Mg – Magnésio  
Mn – Manganês  
N –Nitrogênio  
N – Norte  
Na – Sódio  
Nb – Nióbio  
NBN- Nível de Base Natural  
NE – Nordeste  
NH<sub>3</sub> – Gas amônia  
NH<sub>4</sub><sup>+</sup> - Íon amônio  
Ni - Níquel  
NRGG- Nível de Referência Geológico Geral  
NTU- Unidade Nefelométrica de Turbidez  
NW - Noroeste  
O - Oxigênio  
OD – Oxigênio Disponível  
ONU – Organização das Nações Unidas  
Os- Osmio  
P - Fósforo  
Pb – Chumbo  
Pd – Paládio  
pH – Potencial Hidrogeniônico  
PLAMBEL – Planejamento da Região Metropolitana de Belo Horizonte.

PMS – Plano Municipal de Saneamento de Belo Horizonte  
PNMA Política Nacional do Meio Ambiente  
PMBH – Prefeitura Municipal de Belo Horizonte  
PNRH – Política Nacional de Recursos Hídricos  
ppb - partículas por bilhão  
ppm - partículas por milhão  
ppt – partícula por trilhão  
PROPAM – Programa de Recuperação e Desenvolvimento Ambiental da Bacia da Pampulha  
Pt – Platina  
Rb- Rubídio  
Re – Rênio  
Ru – Rutênio  
Rh- Rhodio  
RMBH – Região Metropolitana de Belo Horizonte  
S – Enxofre  
S- Sul  
Sb – Antimônio  
Se – Selênio  
Sn – Estanho  
SE- Sudeste  
Si – Silício  
SIG- Sistema de Informações Georreferenciadas  
SLU – Serviço de Limpeza Urbana  
SNGRH – Sistema Nacional de Gestão de Recursos Hídricos  
Sr- Estrôncio  
SW - Sudoeste  
Ta- Tântalo  
Te – Telúrio  
Tl – Tálho  
Ti – Titânio  
TTG - Tonalito- Trondhjemito-Granodiorito  
UFMG – Universidade Federal de Minas Gerais

UNIMONTES- Universidade Estadual de Montes Claros

UPGRH – Unidade de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos

UTM – Universal Transversa de Mercator

W – Oeste

Z – número atômico

Zn – Zinco

Zr – Zircônio

W – Wolfrâmio

WMO -World Meteorological Organization

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Mapa de localização da área de estudo.....	5
Figura 4.1 - Tabela periódica, segundo Leygonie (1993) .....	11
Figura 4.2 - Elementos traços essenciais. Fonte: Batley (1989). .....	12
Figura 5.1 - Mapa das sub-bacias que compõem a Bacia hidrográfica da Pampulha. Fonte: CPRM (2001). .....	56
Figura 5.2 - Mapa geológico regional destacando a sub-bacia do Sarandi. Fonte: Projeto Eixo Norte/RMBH 2008.....	59
Figura 5.3 - Mapa geológico da sub-bacia do Sarandi. Fonte: Projeto Eixo Norte/RMBH 2008.....	63
Figura 5.4 - Modelo Digital do Terreno- MDT da sub-bacia do Sarandi. Fonte: ASTER Global Digital Elevation Map Announcement 2009.....	66
Figura 5.5 - Mapa de declividade da sub-bacia do Sarandi. Fonte: ASTER Global Digital Elevation Map Announcement 2009.....	68
Figura 5.6 - Balanço hídrico mensal. Fonte: CPRM 2001.....	76
Figura 5.7 - Mapa de Uso e Ocupação do solo da sub-bacia do Sarandi. ....	79
Figura 5.8 - Mapa de acesso a rede esgoto sanitário. Fonte: IBGE 2000. ....	81
Figura 6.1 - Mapa da localização dos pontos de amostragem ao longo do córrego Sarandi. ..	86
Figura 7.1 - Localização dos pontos de monitoramento dos afluentes da sub-bacia do Sarandi (IGAM-2007-2008).....	100
Figura 7.2- Variação do pH nos afluentes da sub-bacia do Sarandi (IGAM 2007) .....	102
Figura 7.3- Variação da Temperatura nos afluentes da sub-bacia do Sarandi (IGAM 2007).103	
Figura 7.4 - Variação da Condutividade elétrica nos afluentes da sub-bacia do Sarandi (IGAM 2007).....	104
Figura 7.5 - Variação da Turbidez nos afluentes da sub-bacia do Sarandi (IGAM 2007).....	106
Figura 7.6 - Variação dos Sólidos totais nos afluentes da sub-bacia do Sarandi (IGAM 2007). .....	107
Figura 7.7 - Variação dos Sólidos suspensos nos afluentes da sub-bacia do Sarandi (IGAM 2007).....	108
Figura 7.8 - Variação de Cloreto nos afluentes da sub-bacia do Sarandi (IGAM 2007) .....	109

Figura 7.9 - Variação de Fósforo nos afluentes da sub-bacia do Sarandi (IGAM 2007).....	110
Figura 7.10- Variação de Nitrogênio amoniacal nos afluentes da sub-bacia do Sarandi (IGAM 2007).....	111
Figura 7.11- Variação de Oxigênio disponível nos afluentes da sub-bacia do Sarandi (IGAM 2007).....	112
Figura 7.12- Variação da Demanda Bioquímica de Oxigênio nos afluentes da sub-bacia do Sarandi (IGAM 2007) .....	113
Figura 7.13- Variação de Demanda Química de Oxigênio nos afluentes da sub-bacia do Sarandi (IGAM 2007). .....	114
Figura 7.14 - Variação da relação DQO/DBO nos afluentes da sub-bacia do Sarandi (IGAM 2007).....	115
Figura 7.15 - Variação de Coliformes termotolerantes nos afluentes da sub-bacia do Sarandi (IGAM 2007).....	116
Figura 7.16 - Variação de IQA nos afluentes da sub-bacia do Sarandi (IGAM 2007), .....	117
Figura 7.17 - Variação do Arsênio nos afluentes da sub-bacia do Sarandi (IGAM 2007). ...	118
Figura 7.18 - Variação do Cádmio nos afluentes da sub-bacia do Sarandi (IGAM 2007). ...	119
Figura 7.19 - Variação do Chumbo nos afluentes da sub-bacia do Sarandi (IGAM 2007). ..	120
Figura 7.20 - Variação do Cobre dissolvido nos afluentes da sub-bacia do Sarandi (IGAM 2007).....	121
Figura 7.21 - Variação do Cromo total nos afluentes da sub-bacia do Sarandi (IGAM 2007) .....	122
Figura 7.22 - Variação do Estanho total nos afluentes da sub-bacia do Sarandi (IGAM 2007). .....	123
Figura 7.23 - Variação do Ferro dissolvido nos afluentes da sub-bacia do Sarandi (IGAM 2007).....	124
Figura 7.24 - Variação do Manganês total nos afluentes da sub-bacia do Sarandi (IGAM 2007),.....	125
Figura 7.25 - Variação do Níquel nos afluentes da sub-bacia do Sarandi (IGAM 2007),. ....	126
Figura 7.26 - Variação do Zinco total nos afluentes da sub-bacia do Sarandi.....	127
Figura 7.27 - Variação do índice CT – Contaminação por Tóxicos (IGAM 2007) nos afluentes da sub-bacia do Sarandi.....	128
Figura 7.28 - Comportamento dos metais Cd, Pb, Cu e Ni em função da Condutividade elétrica. ....	130



Figura 7.29 - Comportamento dos metais Cr e Mn em função da Condutividade elétrica...	131
Figura 7.30 - Comportamento dos metais Fe e Zn em função da Condutividade elétrica....	131
Figura 7.31 - Comportamento dos metais Cd, Pb, Cu, Ni em função do pH.....	132
Figura 7.32 - Comportamento dos metais Cr e Mn em função do pH.....	132
Figura 7.33 - Comportamento dos metais Fe e Zn em função do pH.....	133
Figura 7.34 - Comportamento dos metais Fe e Zn em função do OD.....	133
Figura 7.35 - Comportamento dos metais Cr e Mn em função do OD.....	134
Figura 7.36 - Comportamento dos metais Fe e Zn presentes em função do OD.....	134
Figura 7.37 - Comportamento dos metais Cd, Pb, Cu e Ni em função da DBO.....	135
Figura 7.38 - Comportamento dos metais Cr e Mn em função da DBO.....	135
Figura 7.39 - Comportamento dos metais Fe e Zn em função da DBO.....	136
Figura 7.40 - Comportamento dos metais Cd, Pb, Cu e Ni em função da turbidez.....	136
Figura 7.41 - Comportamento dos metais Cr e Mn em função da turbidez.....	137
Figura 7.42 - Comportamento dos metais Fe e Zn em função da turbidez.....	137
Figura 7.43 - Comportamento do Cobre presente nos afluentes da sub-bacia do Sarandi em função dos fatores físico-químicos.....	138
Figura 7.44 - Comportamento do Cromo presente nos afluentes da sub-bacia do Sarandi em função dos fatores físico-químicos.....	139
Figura 7.45 - Comportamento do Níquel presente nos afluentes da sub-bacia do Sarandi em função dos fatores físico-químicos.....	139
Figura 7.46 - Comportamento do Zinco presente nos afluentes da sub-bacia do Sarandi em função dos fatores físico-químicos.....	140
Figura 7.47 - Comportamento do Chumbo presente nos afluentes da sub-bacia do Sarandi em função dos fatores físico-químicos.....	140
Figura 7.48 - Comportamento do Cádmio nos afluentes da sub-bacia do Sarandi em função dos fatores físico-químicos.....	141
Figura 7.49 - Comportamento do Manganês presente nos afluentes da sub-bacia do Sarandi em função dos fatores físico-químicos.....	141
Figura 7.50 - Comportamento do Ferro dissolvido nos afluentes da sub-bacia do Sarandi em função dos fatores físico-químicos.....	142
Figura 8.1 - Variação do pH no córrego Sarandi comparando à de seus afluentes.....	145

Figura 8.2 - Variação da Temperatura da água do córrego Sarandi comparando à de seus afluentes. ....	146
Figura 8.3 - Variação da Condutividade elétrica no córrego Sarandi comparando à de seus afluentes. ....	147
Figura 8.4 - Variação da Turbidez no córrego Sarandi comparando à de seus afluentes. ....	148
Figura 8.5 - Variação de Oxigênio Disponível no córrego Sarandi comparando à de seus afluentes. ....	149
Figura 8.6 - Variação de Cobre dissolvido no córrego Sarandi comparando à de seus afluentes. ....	150
Figura 8.7 - Variação de Ferro no córrego Sarandi comparando à de seus afluentes. ....	151
Figura 8.8 - Variação de Manganês no córrego Sarandi comparando à de seus afluentes. ...	152
Figura 8.9 - Variação de Zinco no córrego Sarandi comparando à de seus afluentes. ....	153
Figura 8.10 - Comportamento dos metais Fe, Mn e Zn ao longo do córrego Sarandi em função do pH. ....	154
Figura 8.11 - Comportamento dos metais Fe, Mn e Zn em função da Condutividade elétrica. ....	155
Figura 8.12 - Comportamento dos metais Fe, Mn e Zn em função da Turbidez .....	155
Figura 8.13 - Comportamento dos metais Fe, Mn e Zn em função do Oxigênio Disponível. ....	156
Figura 8.14 - Comportamento do Ferro em função dos fatores físico-químicos .....	157
Figura 8.15 - Comportamento do Manganês em função dos fatores físico-químicos.....	158
Figura 8.16 - Comportamento do Zinco em função dos fatores físico-químicos.....	158
Figura 8.17 - Relação da concentração do metal no sedimento e na água do córrego Sarandi. ....	161
Figura 8.18 - Distribuição granulométrica dos sedimentos do córrego Sarandi em sua nascente. ....	162
Figura 8.19 - Distribuição granulométrica dos sedimentos do córrego Sarandi antes da confluência com o córrego Ressaca. ....	163
Figura 8.20 - Distribuição granulométrica dos sedimentos na Lagoa da Pampulha .....	163
Figura 8.21 - Mapa das áreas de drenagem dos pontos de amostragem das águas do córrego Sarandi (PTs).....	167
Figura 8.22 - Mapa das áreas de drenagem dos pontos de amostragem das águas dos afluentes da sub-bacia do Sarandi (PVs). ....	168

Figura 8.23 - Mapa de distribuição dos metais Fe, Mn, e Zn das amostras de água na sub-bacia do Sarandi. ....	169
Figura 8.24 - Mapa de distribuição dos metais Cu, Cd, Pb e Cr das amostras de água na sub-bacia do Sarandi. ....	170
Figura 8.25 - Mapa de distribuição dos parâmetros físico-químicos nas amostras de água da sub-bacia do Sarandi. ....	171
Figura 8.26 - Mapa de vulnerabilidade à contaminação por elementos-traço da sub-bacia do Sarandi.....	173

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Características das sub-bacias da Pampulha. Fontes: Prefeitura Municipal de Belo Horizonte (2000) e PLAMBEL (1975). .....	3
Tabela 4.1 - Características dos principais elementos traço, segundo Veado (1997). .....	14
Tabela 4.2 - Índice de geoacumulação de elementos-traço (Modificado de Müller 1979). .....	27
Tabela 4.3 - Fator de contaminação de Hakanson. ....	28
Tabela 4.4 - Grau de contaminação de Hakanson. ....	28
Tabela 4.5 - Critério de determinação do índice de Contaminação por tóxicos (Adaptado de IGAM 2007). .....	35
Tabela 5.1 - Vazões médias mensais ( $m^3/s$ ) estimadas para Fazenda Boa Vista. Modificado de CPRM 2001. ....	71
Tabela 5.2 - Resultados das análises físico-químicas das águas superficiais – background Fonte: Adaptado de CPRM (2001) .....	74
Tabela 5.3 - Parâmetros climatológicos (1997-2000). Modificado de CPRM (2001). .....	76
Tabela 6. - Localização dos pontos de coleta. ....	87
Tabela 6.2- Resumo das análises químicas e parâmetros físico-químicos objetos do estudo. ....	90
Tabela 6.3- Valores de Referência Global – Concentração peso seco - rocha sedimentar tipo Shale- Fonte: Turekian & Wedepohl (1961). .....	94
Tabela 6.4- Relação das áreas de contribuição por ponto de amostragem no córrego Sarandi. .....	97
Tabela 7.1- Relação dos pontos monitorados da área de estudo. ....	99
Tabela 7.2 - Resumo dos parâmetros físico-químicos e de elementos metálicos, em desacordo com o estabelecido em CONAMA 357/2005, nas amostras de água da sub-bacia do Sarandi - Dados IGAM (2007). .....	129
Tabela 8.1 - Teores dos elementos menores dos sedimentos coletados no córrego Sarandi. ....	142
Tabela 8.2 - Teores dos elementos maiores dos sedimentos coletados no córrego Sarandi. .	143
Tabela 8.3 - Teores dos elementos nas amostras de água ao longo do córrego Sarandi. ....	144
Tabela 8.4 - Teores dos sedimentos de fundo ao longo do córrego Sarandi. ....	159
Tabela 8.5 - Fatores de contaminação dos sedimentos de fundo ao longo do córrego Sarandi. .....	159

Tabela 8.6 - Principais elementos contaminantes presentes nos sedimentos do córrego Sarandi.....	161
Tabela 8.7 - Mineralogia da fração fina (<0,074 mm) dos sedimentos do córrego Sarandi..	162
Tabela 8.8 - Tamanho das áreas de contribuição por ponto de amostragem no córrego Sarandi. .....	165
Tabela 8.9 - Distribuição das áreas de vulnerabilidade à contaminação por tóxicos.....	172

# 1 INTRODUÇÃO

O crescimento da população acompanhado do processo de urbanização, e o desenvolvimento industrial acelerado modificaram as relações entre o homem e o meio ambiente. Esse cenário compromete a qualidade de vida da população, sobretudo nos centros urbanos, onde o homem se aglomera não obedecendo à dinâmica dos componentes da natureza. Os rios, fundos de vale, bairros residenciais dividem espaço com o lixo e a miséria.

A crescente quantidade de indústrias em operação, especialmente nos polos industriais, têm causado o acúmulo de concentrações de metais nos solos e corpos hídricos como rios, represas e nos mares costeiros, uma vez que parte das indústrias não trata adequadamente seus efluentes, antes de lançá-los no meio ambiente. Isso conduz a atenção do governo, acadêmicos e comunidades para o risco potencial dos poluentes metálicos nos sistemas aquáticos, não apenas por seu caráter acumulativo, mas por sua capacidade de translocação para diversos níveis tróficos da cadeia alimentar, culminando com a ocorrência de maiores taxas de contaminação nos níveis mais altos da teia trófica (consumidores secundários e terciários). Os efeitos do lançamento de desses efluentes na natureza são danosos e recaem principalmente na escassez, contaminação da água e aumento das doenças associadas à poluição ambiental.

A exploração dos recursos naturais e a falta de planejamento do uso e ocupação do solo, também, contribuem para a deterioração da qualidade das águas e degradação e contaminação do solo. A água é afetada por agentes de origem inorgânica ou orgânica, e o solo, castigado pelo desmatamento desordenado, pelas queimadas que o desprotege e reduz sua fertilidade (Sousa, 1998), com consequentes erosões que causam assoreamento de rios, dos lagos e também das represas, além dos pesticidas e rejeitos industriais que nele se depositam impactando as comunidades biológicas desse ecossistema.

O comportamento dos elementos-traço na água se diferencia em função do meio, dos constituintes, da capacidade de adsorção desses elementos pelos demais elementos presentes, e evidentemente de sua concentração, fatores que vêm a interferir na toxicidade, que por sua vez, é função de cada espécie.

A geoquímica ambiental reflete a preocupação com o desequilíbrio da natureza, cujas fontes se originam basicamente de problemas sócio-políticos: superpopulação, urbanização e industrialização (Rohde 2004). Esta ciência estuda os processos geoquímicos da antroposfera,

produzidos pela ação do homem e suas influências sobre os demais compartimentos terrestres (litosfera, pedosfera, hidrosfera, criosfera, atmosfera e biosfera). A investigação das causas que impactam o meio ambiente deve perpassar pelo conhecimento das rochas, vegetação, solos, águas superficiais e subterrâneas, cujos resultados permitem aos gestores públicos, definir e elaborar instrumentos de planejamento urbano e de gestão ambiental necessários, urgentes e mais eficazes.

Os rios revelam, na qualidade de suas águas a qualidade dos usos realizados nas terras que drenam. Por isso, monitorar as águas de um rio permite conhecer as atividades desenvolvidas nesse espaço geográfico e os tratamentos que os habitantes fazem em suas terras.

A Bacia hidrográfica da Pampulha apresenta-se em estágio avançado de degradação. Os principais problemas encontrados estão relacionados ao uso do solo por atividades agrícolas, industriais e minerais, extrativismo vegetal e urbanização que provocam erosão do solo e contaminação da água (CPRM 2001). A poluição orgânica e contaminação por tóxicos das águas que compõem a bacia atingem níveis altos (IGAM 2003-2007). A implantação das Estações de Tratamento de Esgoto – ETE no Alto do Rio das Velhas- ETE Arrudas e ETE Onça- minimizam os problemas de poluição orgânica das águas superficiais, entretanto, a contaminação por elementos-traço ainda aguarda por ações que efetivamente reduzam os níveis de elementos tóxicos.

A Lagoa da Pampulha, que teve seu tombamento decretado pelo Instituto Estadual do Patrimônio Histórico e artístico (IEPHA 1984), integra a bacia hidrográfica da Pampulha. Essa bacia possui cerca de 94 km<sup>2</sup>, estendendo-se pelos municípios de Belo Horizonte (44%) e Contagem (56%), sendo os principais tributários diretos os córregos Mergulhão, Tijuco, Bandeirantes, Ressaca, Sarandi, Bom Jesus ou Água Funda, Baraúna, Garças, AABB, Olhos d'Água ou Paracatu, que se caracterizam por parâmetros que os individualizam (Tab. 2.1).

Tabela 2.1 - Características das sub-bacias da Pampulha. Fontes: Prefeitura Municipal de Belo Horizonte (2000) e PLAMBEL (1975).

Curso d'água da bacia hidrográfica da Pampulha	Extensão do talvegue principal (km)	Área da sub-bacia (km <sup>2</sup> )	% a bacia hidrográfica da Pampulha	Q max (m <sup>3</sup> /s)*
Mergulhão	3,6	3,4	3,62	40
Tijuco	1,6	1,77	1,88	29
Ressaca	9,5	20,61	21,91	204
Sarandi	14,5	40,91	43,5	
Bom Jesus ou Água Funda	7,8	16,95	18,02	85
Baraúna	2,6	1,9	2,02	23
Olhos d'Água ou Paracatu	2,9	2,91	3,09	28
Contribuição direta e afluentes menores	–	5,6	5,95	–
TOTAL		94,05	100	–
* Q <sub>máx</sub> = Vazão máxima calculada para tempo de recorrência de 100 anos				

Com a evolução desordenada da urbanização da região, o evidente processo de erosão resultou no contínuo assoreamento da Lagoa. Estudos anteriores desses processos dinâmicos (erosão e assoreamento) (Silva *et al.* 1994) destacavam como causa a componente antrópica relacionada ao uso e ocupação do solo, cabendo observar que os sedimentos são apenas parcialmente retidos nos tributários da bacia, e parte substancial da carga sedimentar é favorecida pela remoção das rugosidades naturais inerente à urbanização que, por fim, atinge o reservatório.

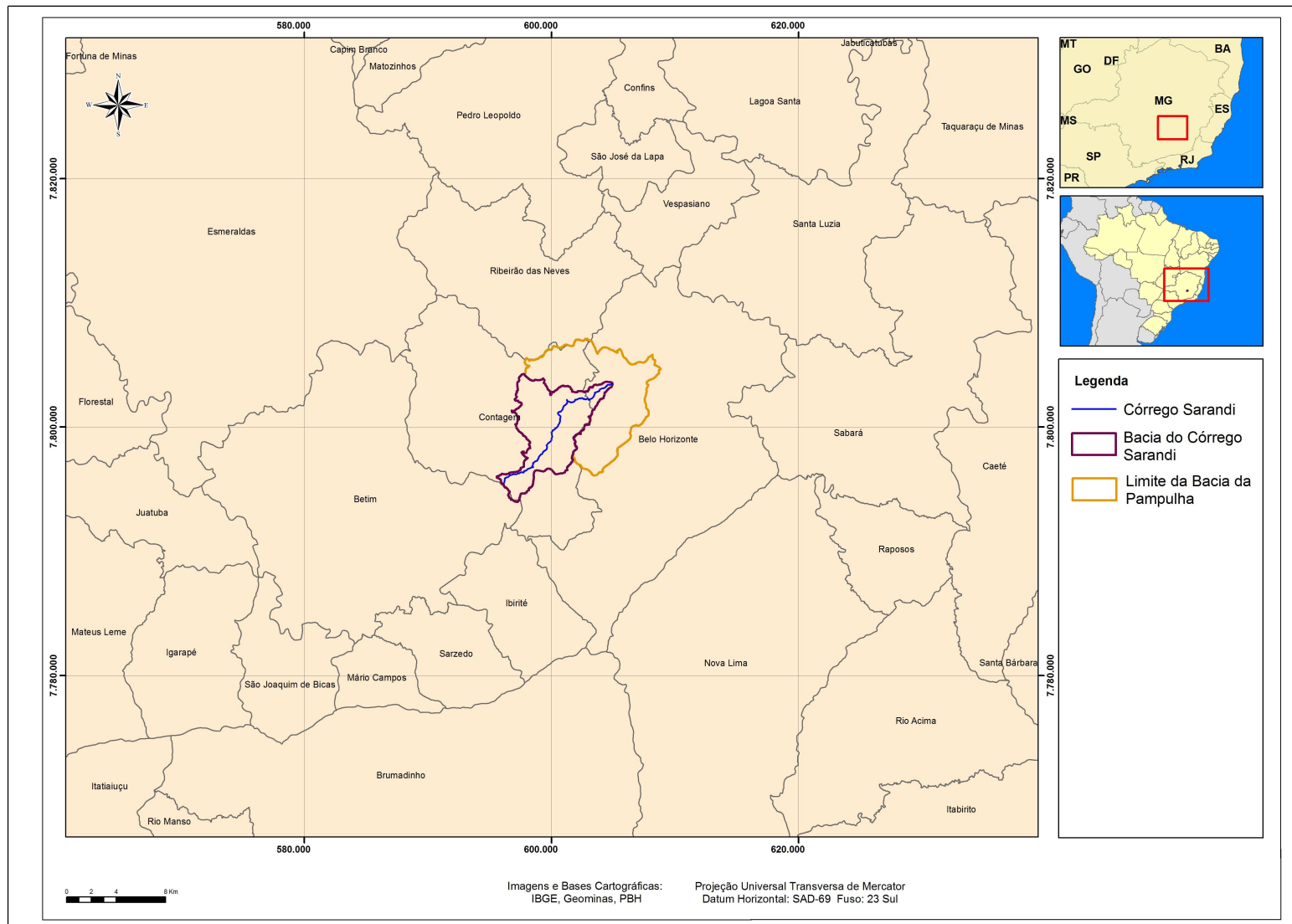
A sub-bacia do córrego Sarandi (Fig.2.1) é a principal fonte de poluentes e sedimentos da Lagoa da Pampulha oriundos do Centro Industrial de Contagem (CINCO). Índices de contaminação do solo e das águas superficiais com impacto direto na saúde da população da área de abrangência confirmam esta afirmativa (CPRM 2001). A presença de elementos tóxicos, Al, As, Ba, Cd, Pb, Co, Cu, Cr, Fe, Hg, Mn, Ni e Zn, foi constatada nas amostras de águas superficiais e subterrâneas, sedimentos de fundo e borda e chorume do córrego Bitácula, afluente do córrego Sarandi, situado às margens do Lixão de Contagem (Cabaleiro 2006).

O desenvolvimento de ações de planejamento ambiental, considerando como unidade de planejamento a bacia hidrográfica, é o primeiro passo na busca da solução para os problemas ambientais. O Plano Diretor de Recursos Hídricos da bacia do Rio das Velhas



(2005) estabeleceu como meta a melhoria da qualidade do Rio das Velhas (Meta 2010). Ações previstas para o cumprimento dessa meta, como obras de saneamento, eliminação de lançamentos de esgoto em redes pluviais ou córregos, ampliação da coleta de esgotos, implantação de Estações de Tratamento de Esgoto, revitalização de fundos de vales, são medidas corretivas, necessárias e urgentes, mas não atuam nos fatores causadores do problema e tampouco adotam ações que visem à não contaminação por tóxicos.

Nesse estudo apresenta-se a avaliação ambiental da sub-bacia do Sarandi, área de intensa intervenção antrópica e importante sub-bacia no contexto da bacia hidrográfica da Pampulha. Dados de monitoramento das águas superficiais realizado pelo IGAM (2007-2008), que definem estratégias para conservação, recuperação e uso racional dos recursos hídricos, e os dados obtidos de amostras de água e sedimentos coletados ao longo do córrego Sarandi no período de 2007 e 2008, deram suporte na identificação das causas de degradação e contaminação orgânica e por elementos-traço, conduzindo à determinação da vulnerabilidade ambiental à contaminação por elementos-traço dessa sub-bacia.



*Figura 2.1 - Mapa de localização da área de estudo.*

## 2 OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivo apresentar o estudo geoquímico como ferramenta de gestão público-ambiental, usando como modelo a sub-bacia do córrego Sarandi, localizada em uma região urbano-industrial fortemente antropizada.

Neste contexto, buscam-se como objetivos específicos:

- ✓ Avaliação da contaminação orgânica e por elementos-traço da sub-bacia do Sarandi;
- ✓ Identificação das fontes pontuais de contaminação por elementos-traço
- ✓ Análise dos fatores físicos e naturais (geológicos, geográficos, hidrogeológicos, pedológicos e geomorfológicos) que favorecem a contaminação por elementos-traço;
- ✓ Determinação dos fatores antrópicos responsáveis pela contaminação por elementos-traço;
- ✓ Determinação dos índices de contaminação de elementos-traço nos sedimentos do córrego Sarandi;
- ✓ Determinação da vulnerabilidade ambiental por elementos-traço da sub-bacia do Sarandi;

## 3 JUSTIFICATIVA

Para enfrentar as questões que envolvem os recursos naturais e a manutenção da qualidade ambiental desejável, é necessário compreender a mudança global como uma modificação antropogênica nos ciclos biogeoquímicos que, por sua vez, produzem implicações no clima da terra. Isto enseja a necessidade de estudos científicos abrangentes, e em especial geoquímicos, que respondam a essas questões, identificando e dimensionando os impactos ambientais da forma mais adequada.

Os recursos hídricos são diretamente afetados em sua qualidade e quantidade, revelando o uso e cobertura do solo, suas características pedológicas, geológicas, geomorfológicas. O monitoramento das águas de uma bacia hidrográfica é uma ferramenta valiosa do ponto de vista ambiental, pois possibilita, não apenas conhecer a qualidade das águas, mas, também, identificar atividades econômicas desenvolvidas nesse espaço, a qualidade da urbanização e os impactos ambientais advindos dessas atividades. Essas

informações, confrontadas às condições do meio natural constituem o alicerce para elaboração de instrumentos de gestão ambiental.

A sub-bacia do Sarandi, objeto desse estudo, caracteriza-se por densa urbanização, falta de planejamento no uso e ocupação, com extensa área impermeabilizada, respondendo, em grande parte, pela poluição da Bacia da Pampulha e conseqüentemente da Bacia do Rio das Velhas, esta, de grande importância histórica e ambiental. A presença, na sub-bacia, de um número significativo de indústrias poluentes e potencialmente poluentes, e a presença do Lixão, mesmo desativado, sugerem a contaminação por elementos-traço da sub-bacia, confirmado em CPRM (2001) e Cabaleiro (2006).

A análise do meio físico natural, juntamente com os dados de qualidade das águas superficiais e os fatores antrópicos dão suporte à gestão pública na definição de estratégias de conservação, recuperação e uso racional dos recursos hídricos, por meio de instrumentos de gestão que venham reduzir os conflitos e implementar o disciplinamento das atividades econômicas. A elaboração destes instrumentos, com base no estudo geoquímico traz benefícios importantes à natureza.

## **4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **4.1 Entendendo a geoquímica ambiental**

A geoquímica clássica, definida por Rohde (2004) considera a realidade dividida em compartimentos, que vão desde o cosmo até os solos, passando pelas rochas. A integração destes compartimentos, do ponto de vista geoquímico, é feita pelo ciclo geoquímico, centrando-se nas questões de abundância, distribuição e valores limiares dos elementos químicos nos diversos compartimentos terrestres.

“Fazer Geoquímica” não é precisamente “fazer química” de materiais geológicos, mas ter uma postura de estudar as leis que governam as relações de abundância, de dispersão e de concentração de elementos isótopos nas diversas esferas das geoquímicas da Terra. A unidade fundamental da geoquímica é o elemento químico, desde a definição clássica de Goldschmidt, e não a substância mineral. Seu campo de ação é o planeta Terra, particularmente, a crosta observável, mas não exclusivamente, já que analisa meteoritos, dados astrofísicos de composição de outros corpos cósmicos e dados geofísicos para inferir sobre a natureza do interior do planeta (Goldschmidt 1954). A geoquímica busca entender as propriedades dos

elementos e íons, seu comportamento sob as condições dinâmicas e físico-químicas responsáveis por um processo de migração observado (Rankama & Sahama 1950).

No fim do século XIX, a perspectiva de esgotamento dos combustíveis fósseis e as conseqüências da superpopulação levaram a humanidade a uma crise de escassez de recursos naturais, impulsionando o homem no sentido de desafio de novas alternativas. Fez-se, então, necessário o embasamento em conhecimentos aplicáveis pelo homem para uma convivência mais harmônica com a natureza. A Geoquímica Clássica, então, defronta-se com a ciência extraordinária, ao verificar que os ciclos hidrobiogeoquímicos possuem notável contribuição de origem antropúrgica, isto é, antropogênica e antrópica, ocorrendo a mudança de paradigma. O ingresso da Geoquímica no paradigma ambiental ocorre no momento em que se verifica a previsão de Vernadsky (1945) de que a humanidade somada em seu todo se torna a força geológica em larga escala, e a noosfera aparece como fenômeno geológico. Este fato pode ser verificado cientificamente, do ponto de vista geoquímico, na quantificação das interações da Geosfera, na emissão global antropogênica de elementos-traço para atmosfera, na imensa contribuição antropogênica para o ciclo atmosférico do mercúrio, na quantificação comparada das cinzas de carvão e vulcânicas emitidas para atmosfera.

As sociedades pré-industriais foram pouco destrutivas, pelo pequeno número de indivíduos e a limitação muscular, fazendo com que as agressões ao meio ambiente permanecessem limitadas espacialmente, e em geral, passíveis de recuperação, pelos processos naturais. Entretanto, já havia danos irreversíveis, antes do advento da revolução industrial, as florestas nativas da Inglaterra já estavam reduzidas a 3% do original (Thomas 1988), o que bem demonstra o padrão da atitude humana frente à natureza como fonte de recursos. No entanto, a partir dos últimos cem anos, o crescimento exponencial da população do planeta, gerou aumento da necessidade de energia, da produção de alimentos, da industrialização e urbanização, problemas que o homem vem solucionando a curto e médio prazos com o aumento da pressão sobre os compartimentos da ecosfera. Dessa forma, a demanda sobre os combustíveis fósseis, sobre o solo agricultável, e as matérias-primas minerais e vegetais dão origem à poluição do solo, da água e ar. A ocupação desorganizada de espaços causa desmatamento, erosão e extinção das espécies. Os grandes aglomerados urbanos que viabilizaram as relações econômicas da sociedade industrial são grandes consumidores de energia de recursos em geral, dificultando a reciclagem de seus resíduos, causando também poluição (Odum 1986). Dentro deste ciclo antropocêntrico, alimentado pela

superpopulação, sobressaem como sinal de baixa eficiência do sistema, o aumento da pobreza e a perda da qualidade de vida o homem.

A origem desses desequilíbrios é de duas naturezas:

1. A expansão das atividades humanas, historicamente aceitas como naturais, como exemplo, a queima de combustíveis fósseis em quantidades que tornam a atmosfera localmente tóxica, e globalmente provocam o efeito estufa; agricultura intensiva, que se viabiliza pelo uso de agrotóxicos mal reciclados pelo ambiente, acelerando as taxas de erosão e de intemperismo; atividades de mineração e a ciclagem de resíduos domésticos e industriais.
2. A outra fonte de desequilíbrio é a não-natural: introdução na água, solo, e atmosfera de novos compostos tóxicos, como pesticidas, fluorcarbonetos, os isótopos radioativos, sintetizados para usos específicos e dificilmente reciclados pelos ecossistemas essenciais.

A preocupação com a qualidade de vida do homem e o equilíbrio natural antropocêntrico norteia os objetivos da Geoquímica ambiental, dentre os quais se destacam:

- ✓ Em nível empírico, determinar a existência, a concentração, a especiação, a mobilidade potencial e a efetiva migração dos elementos e substância de origem antrópica e antropogênica dentro dos diversos compartimentos terrestres (Rohde 2004)
- ✓ Entender de forma sistêmica os processos e ciclos modificados pela ação humana, incluindo a temática da mudança global (Albarède 1995);
- ✓ Avaliar o impacto humano (indústria em expansão) na geoquímica de superfície terrestre, evitando o empobrecimento biológico e sócio-econômico; determinar o real impacto das alterações humanas em ambientes naturais, cuja base teórica pressupõe os seres humanos como força geológica agindo em escala planetária (Fortescue 1980)
- ✓ Subsidiar critérios para abordagens legais, reguladoras e de planejamento ambiental e questões de saúde pública relacionadas com o ambiente;

Resumindo, a geoquímica ambiental, como ciência, trata das condições, influências ou forças circundantes que interferem ou modificam: o complexo total de fatores climáticos, edáficos e bióticos que atuam sobre um organismo ou uma comunidade geológica e determinam sua forma e sobrevivência; ocupa seu espaço no seio da geologia ambiental e da química ambiental, assume o estudo dos processos geoquímicos da antroposfera, a partir do reconhecimento e explicação desses processos, predizendo seus efeitos. O método é

necessariamente holístico e interdisciplinar, usando basicamente os métodos da geoquímica analítica, com base nas análises de variações temporais e espaciais, adotando uma abordagem e postura da ecologia (Fortescue 1980). A geoquímica ambiental reflete a preocupação de desequilíbrio da natureza, e sua perspectiva é, junto às demais ciências naturais e ambientais, a continuação da busca milenar do entendimento de como funciona a natureza nas suas relações com o homem (CMMAD 1988).

## **4.2 Elementos- traço**

### **4.2.1 Conceitos**

Elementos traço, em geoquímica, são aqueles que possuem concentração  $< 1000$  ppm ou 0,1% da composição de uma rocha. Na biologia e medicina, fazem parte de uma divisão que compreendem os majoritários, traços e micro-traços. Na Química Ambiental, o termo se refere àqueles elementos que ocorrem naturalmente em níveis de parte por milhão ou abaixo disso. Entretanto, o termo mais apropriado seria substância-traço, pois envolve tanto os elementos quanto os compostos químicos.

Este termo foi usado pela primeira vez em 1936, no livro de química inorgânica escrito pelo dinamarquês Bjerrum (1936) que definiu esta classe de elementos em função da densidade. Segundo este autor, para ser metal pesado o elemento deveria ter densidade  $> 4$  g  $\text{cm}^{-3}$ . Atualmente, a designação para metal pesado é muito variável, sendo possível encontrar diversas definições para o termo. Dentre elas, uma seria um caso particular que compreende os metais que possuem toxicidade ao homem. Destacam-se alguns metais de transição, como o chumbo e estanho, arsênio, selênio e antimônio.

No Webster (1986), metal pesado é definido como metal com alta densidade; ou melhor, um metal que tem densidade de 5,0 ou maior. Entretanto, na tabela periódica existem 112 elementos dos quais 70 elementos possuem densidade  $> 4$  g  $\text{cm}^{-3}$  e somente 10 elementos são definidos como metais pesados!.

No dicionário de Ecologia e Ciências Ambientais (1998), metais pesados são aqueles metais com número atômicos de médio e altos, como o cobre, o cádmio, a prata, o arsênio, o cromo e o mercúrio, sendo tóxicos em concentrações relativamente baixas, persistem no ambiente e podem se acumular em níveis que interrompem o crescimento das plantas e interferem na vida animal. Os rejeitos de atividades mineradoras e industriais e o lodo de esgoto são fontes de concentrações de metais pesados potencialmente prejudiciais.

É possível encontrar outras definições, como: “*metais pesados* são definidos convencionalmente como elementos com propriedades metálicas (ductibilidade, condutividade, estabilidade como cátions, etc.) e um número atômico > 20”.

No congresso de Heidelberg (1983), Os elementos ditos “*metais pesados*” foram definidos como sendo os elementos de densidade superior a 5,0 g/cm<sup>3</sup> (Minear; Keith 1982). Por outro lado vários autores tomam o hábito de designar os “*metais pesados*”, como todos os elementos que tenham conotação tóxica. A figura 4.1 apresenta a tabela periódica que identifica os elementos “*metais pesados*” como aqueles situados dentro do polígono em destaque e os elementos considerados tóxicos nos diversos documentos científicos e convenções internacionais e pela Organização Mundial da Saúde, hachurados em negrito.

Vários elementos tóxicos estão fora do polígono destacado, alguns deles de densidade média: Se (4,28 g/cm<sup>3</sup>), As (5,75 g/cm<sup>3</sup>), Te (6,24 g/cm<sup>3</sup>). O elemento, Be (1,85 g/cm<sup>3</sup>) é um elemento leve, porém muito tóxico. Pode-se notar também que os lantanídeos são em geral considerados como elementos pouco tóxicos, enquanto que os actinídeos, como o urânio, são ao contrário, muito tóxicos (toxidez bioquímica e radiológica).

1	H																	He		
	1.0079																	4.0026		
2	<sup>3</sup> Li	<sup>4</sup> Be													<sup>5</sup> B	<sup>6</sup> C	<sup>7</sup> N	<sup>8</sup> O	<sup>9</sup> F	<sup>10</sup> Ne
	6.939	9.0122													10.811	12.011	14.006	15.999	18.998	20.183
3	<sup>11</sup> Na	<sup>12</sup> Mg													<sup>13</sup> Al	<sup>14</sup> Si	<sup>15</sup> P	<sup>16</sup> S	<sup>17</sup> Cl	<sup>18</sup> Ar
	22.989	24.312													26.981	28.086	30.973	32.064	35.453	39.948
4	<sup>19</sup> K	<sup>20</sup> Ca	<sup>21</sup> Sc	<sup>22</sup> Ti	<sup>23</sup> V	<sup>24</sup> Cr	<sup>25</sup> Mn	<sup>26</sup> Fe	<sup>27</sup> Co	<sup>28</sup> Ni	<sup>29</sup> Cu	<sup>30</sup> Zn	<sup>31</sup> Ga	<sup>32</sup> Ge	<sup>33</sup> As	<sup>34</sup> Se	<sup>35</sup> Br	<sup>36</sup> Kr		
	39.102	40.08	44.956	47.88	50.942	51.996	54.938	55.847	58.933	58.71	63.546	65.37	69.72	72.59	74.922	78.96	79.909	83.8		
5	<sup>37</sup> Rb	<sup>38</sup> Sr	<sup>39</sup> Y	<sup>40</sup> Zr	<sup>41</sup> Nb	<sup>42</sup> Mo	<sup>43</sup> Tc	<sup>44</sup> Ru	<sup>45</sup> Rh	<sup>46</sup> Pd	<sup>47</sup> Ag	<sup>48</sup> Cd	<sup>49</sup> In	<sup>50</sup> Sn	<sup>51</sup> Sb	<sup>52</sup> Te	<sup>53</sup> I	<sup>54</sup> Xe		
	85.47	87.62	88.905	91.22	92.906	95.94	99	101.107	102.905	109.4	107.87	112.4	114.82	118.7	121.76	127.6	126.9	131.3		
6	<sup>55</sup> Cs	<sup>56</sup> Ba	<sup>57</sup> La	<sup>72</sup> Hf	<sup>73</sup> Ta	<sup>74</sup> W	<sup>75</sup> Re	<sup>76</sup> Os	<sup>77</sup> Ir	<sup>78</sup> Pt	<sup>79</sup> Au	<sup>80</sup> Hg	<sup>81</sup> Tl	<sup>82</sup> Pb	<sup>83</sup> Bi	<sup>84</sup> Po	<sup>85</sup> At	<sup>86</sup> Rn		
	132.9	137.34	138.91	178.49	180.94	183.85	186.22	190.2	192.2	195.09	196.97	200.59	204.37	208.98	210	210	210	222		
7	<sup>87</sup> Fr	<sup>88</sup> Ra	<sup>89</sup> Ac	<sup>104</sup> Rf	<sup>105</sup> Ha															
	223	226	227																	
<b>Lantanídeos</b>					<sup>59</sup> Pr	<sup>60</sup> Nd	<sup>61</sup> Pm	<sup>62</sup> Sm	<sup>63</sup> Eu	<sup>64</sup> Gd	<sup>65</sup> Tb	<sup>66</sup> Dy	<sup>67</sup> Ho	<sup>68</sup> Er	<sup>69</sup> Tm	<sup>70</sup> Yb	<sup>71</sup> Lu			
<b>Actinídeos</b>					140.92	144.24	147	150.37	151.19	157.25	158.92	162.5	164.93	167.26	168.93	173.04	174.7			
					<sup>90</sup> Th	<sup>91</sup> Pa	<sup>92</sup> U	<sup>93</sup> Np	<sup>94</sup> Pu	<sup>95</sup> Am	<sup>96</sup> Cm	<sup>97</sup> Bk	<sup>98</sup> Cf	<sup>99</sup> Es	<sup>100</sup> Fm	<sup>101</sup> Md	<sup>102</sup> No	<sup>103</sup> Lw		
					232.038	231	238.0289	237	242	243	195.09	249	251	253	254	208.98	210	210		

Figura 4.1 - Tabela periódica, segundo Leygonie (1993)



Consideram-se essencial à vida cerca de 30 elementos químicos, divididos como 11 elementos maiores e 19 elementos traços, como estão representados por Batley (1989) na figura 4.2.

H																			He
Li	Be												B	C	N	O	F		Ne
Na	Mg												Al	Si	P	S	Cl		Ar
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn		Ga	Ge	As	Se	Br		Kr
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd		In	Sn	Sb	Te	I		Xe
Cs	Ba		Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg		Tl	Pb	Bi	Po	At		Rn
Fr	Ra																		

actnídeos

actinídeos

Elementos Maiores

Elementos traços

Figura 4.2 - Elementos traços essenciais. Fonte: Batley (1989).

Chappuis (1991) considera como oligo-elementos todos os elementos encontrados dentro do organismo além dos elementos maiores. Porém, suas presenças têm significâncias diferentes. Por exemplo, o autor faz menção ao papel importante dos elementos cobre, zinco e selênio para as enzimas; ao iodo para os hormônios; ao cobalto para as vitaminas; ao silício, rubídio e estrôncio no plasma; ao ferro nas hemoglobinas; e mesmo ao mercúrio que se encontra nos organismos vivos, quando detectado com técnicas mais sensíveis.

Os elementos metálicos são classificados por Förstner & Wittmann (1981) segundo os três critérios abaixo:

- ✓ Não críticos: Na - K - Mg - Ca - H - O - N - C - P - Fe - S - Cl - Br - F - Li - Rb - Sr - Al - Si;
- ✓ Tóxicos, porém muito insolúveis ou raros: Ti - Hf - Zr - W - Nb - Ta - Re - Ga - La - Os - Rh - Ir - Ru - Ba;
- ✓ Muito tóxicos: Be - Co - Ni - Cu - Zn - Sn - As - Se - Te - Pd - Ag - Cd - Pt - Au - Hg - Tl - Pb - Sb - Bi.

As conseqüências toxicológicas específicas de um elemento dependem da concentração do elemento, das diferentes formas em que ocorre na natureza, do estado de oxidação e a natureza da fonte (Tab.4.1).

O termo elemento traço tem sido preferido em diversas publicações que trata de assunto relacionados a metal pesado, devido ao fato de que nenhum órgão oficial na área de química, como a IUPAC- International Union of Pure and Applied Chemistry - o tenha

definido. Em 2002, essa instituição publicou artigo sobre essa discussão, tendo considerado que o termo "metal pesado", muitas vezes, é usado para nomear um grupo de metais e metalóides associados à contaminação e potencialidade tóxica ou ecotóxica, entretanto, o termo metal se refere ao elemento puro, que possui propriedades físicas e químicas bem características, e não dos seus compostos, cujas propriedades físicas, químicas, biológicas e toxicológicas são muitas vezes diferentes, e concluiu, recomendando a proibição do termo, alegando que se trata de uma nova classificação de elementos na tabela periódica. Nesse estudo adotar-se-á o termo elemento traço ao se referir à elementos químicos de concentração em níveis abaixo de partes por milhão e que apresentam toxicidade.

Tabela 4.1 - Características dos principais elementos traço, segundo Veado (1997).

<u>Elemento</u>	<u>Forma na natureza</u>	<u>Estado de Oxidação</u>	<u>Fontes</u> * natural ** poluição	<u>Considerações Toxicológicas</u>
<b>Sb</b>	Raramente é encontrado em seu estado puro. Está principalmente associado com a sulfa, S, como Sb <sub>2</sub> S <sub>3</sub> ou com óxidos como Sb <sub>2</sub> O <sub>4</sub> , Sb <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .	Sb. (III)  Sb (V)	*Encontrado no carvão sob a forma de sulfa muito volátil. Encontra-se em rochas ígneas, galenas e calcões. Pode também ser encontrado em certas formas de vida marinha em concentrações 300 vezes maiores que na água.  **Está frequentemente associado às minas de Hg, Ag, Pb, e Cu.	O antimônio não é considerado como elemento essencial à nutrição humana. É um elemento utilizado como emético, mas em doses baixas (100 mg) pode ser fatal. Pode causar problemas cardíacos, erupções cutâneas e pneumonias.
<b>As</b>	Encontrado ocasionalmente em estado puro, mas está frequentemente associado com S, Se, Te, Co, Cu, Fe, Ni e Sn. A forma As <sub>2</sub> O <sub>3</sub> é recuperada na extração destes metais.	As (III)  As(V)	*Solo (~ > 500 mg/kg); Fontes minerais: FeAsS, As <sub>2</sub> S <sub>3</sub> , AsO <sub>2</sub> , FeAs <sub>2</sub> , As <sub>4</sub> S <sub>4</sub> .  Alimentos (frutas e vegetais naturais).  ** Carvão (16 mg de As/kg de Carvão); Indústrias minerais em geral, principalmente de ouro, cobre, petróleo, detergentes, pesticidas, fertilizantes, e herbicidas.	O arsênio III é muito tóxico em solução (ingestão de 100 mg = envenenamento; 130 mg = dose letal). O Arsênio V é menos tóxico.  Pode causar câncer da pele e do fígado. Suas formas orgânicas são muito menos tóxicas que as formas minerais.
<b>Ba</b>	Ele se encontra principalmente sob a forma de sulfato (BaSO <sub>4</sub> ) e Carbonato (BaCO <sub>3</sub> ).	Ba (II)	*Sua fonte mineral natural é o Carbonato de Bário.  **Minerais de chumbo e zinco. Pode também ser encontrado em teor de traço no carvão.	O bário não é encontrado em concentrações significativas em soluções, pois seus carbonatos e sulfatos são insolúveis. O bário produz um efeito estimulante nos músculos, incluindo o coração. Causa excreção na saliva, diarreia e pressão arterial alta.
<b>Be</b>	A forma mais abundante é o Berílio (3BeO.Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .6SiO <sub>2</sub> )	Be (II)	*Silicatos minerais. Rochas cristalinas. Algumas plantas.  **Extração de Berílio, produção e rejeitos de lâmpadas fluorescentes, tubo de raios X, indústrias nucleares e metalúrgicas.	O Be (II) não é encontrado em sistema aquoso. Causa tumor de ossos e de pulmões nos animais e no homem. O Óxido de berílio é particularmente tóxico.

<u>Elemento</u>	<u>Forma na natureza</u>	<u>Estado de Oxidação</u>	<u>Fontes</u> * natural ** poluição	<u>Considerações Toxicológicas</u>
<b>Cd</b>	É um elemento raro na natureza. Encontram-se nos minerais e em minas de chumbo e zinco.	Cd(II)	*Pode ser encontrado como impureza em vários minerais: CdCO <sub>3</sub> , CdS, CdO. **A fonte mais importante de poluição é o refino de zinco.  Os fertilizantes têm uma concentração 9 a 36 ppm.  Pode ser encontrado também em canalizações de zinco, e na galvanização dos tubos de ferro. A emissão atmosférica é proveniente da incineração e da transformação de certos produtos, tais como radiadores de veículos, rejeitos de aços, garrafas plásticas, assentos de veículos, materiais com pigmentação e fotográficos.	O cádmio age nos rins. As competições das interações entre Zn e Cd nos tecidos animais mostram uma correlação com a arteriosclerose. É muito tóxico para o homem, mas os efeitos de doses de longa duração não são ainda conhecidos.
<b>Cr</b>	O cromo não se encontra sob forma livre. Encontra-se principalmente sob a forma de (MgFe)O(Cr,AlFe) <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .	Cr (III)  Cr (VI)	*Rochas sedimentares onde há concentração de fosfitos e fosfatos. Fonte mineral: Fe <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>4</sub> . Pode ser encontrado nos solos e plantas. **Galvanização de metais e indústrias de tintas.	O Cr (VI) e seus compostos são os mais tóxicos. Estes são irritantes, corrosivos e tóxicos para os tecidos humanos. Pode causar câncer de pulmão.
<b>Cu</b>	Encontra-se sob forma de sulfato, CuFeS <sub>2</sub> . É o mineral mais importante nas sulfas primárias e complexas de Sb, As, Bi.	Cu(I)  Cu(II)  Cu(III)	*A quantidade de cobre nos solos é muito variável, porém nos minerais as concentrações são altas (1-50 ppm).  **Indústrias de cigarro, de tubulação e de tratamentos agrícolas.	O cobre não é considerado como tóxico por acumulação como o Pb e o Hg, pois o cobre ingerido pode ser excretado pelo corpo humano sem ser retido, porém altas doses podem causar câncer de problemas gastrointestinais.
<b>Pb</b>	Os minerais galenos têm a maior porção na natureza em concentração do elemento chumbo. Os elementos que podem estar associados com o chumbo são: Fe, Zn, Ag, Cu, Au, Cd, Sb, As e Bi.	Pb (II)	*O chumbo se encontra no solo em concentrações muito variáveis (2-200 ppm). As fontes minerais são: PbO, PbS, PbCO <sub>3</sub> , PbSO <sub>4</sub> .  **A maior fonte poluidora é a emissão pelos automóveis, navios e munições.	O chumbo pode se acumular nos pulmões, e causar danos à circulação sanguínea, aos intestinos, ao sistema nervoso, aos rins e ao coração.

<u>Elemento</u>	<u>Forma na natureza</u>	<u>Estado de Oxidação</u>	<u>Fontes</u> * natural ** poluição	<u>Considerações Toxicológicas</u>
Manganês <b>Mn</b>	Elemento encontrado na forma de MnO <sub>2</sub> na crosta terrestre e sob a forma de óxidos minerais.	Mn (II) Mn (IV)	**A produção de ferro e aço são as fontes de poluição do ar e das águas em manganês.	A toxicologia do manganês não é muito significativa. Em altas doses, ele afeta o sistema nervoso central, causando desordem de memória e alucinações.
Mercurio <b>Hg</b>	A forma mais comum é HgS.	Hg (I) Hg (II)	*A combustão do carvão, as evaporações naturais, erupções vulcânicas, são as fontes mais importantes dentro da atmosfera. Fontes Minerais: Hg <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub> , HgS, HgO.  **Fabricação de cloro. Indústrias eletrônicas. Pesticidas e Fungicidas.	Na água se encontra na forma Hg (II) Sob a forma de metil, ele penetra facilmente nos peixes, alimentos e conseqüentemente ao homem, onde ele se instala lentamente nos glóbulos vermelhos, destruindo as células do cérebro que controlam a coordenação. O mercúrio é considerado um dos poluentes muito tóxicos.
Níquel <b>Ni</b>	Os compostos de níquel existem dentro de diversas fontes minerais. Sua principal forma (Ni,Fe) <sub>8</sub> S <sub>8</sub>	Ni (II)	*Elemento encontrado principalmente em água, pois seus sais são muito solúveis.  **A poluição vem principalmente de incinerações do carvão, do petróleo e seus derivados.	O níquel e seus compostos são tóxicos em teores de concentrações muito mais elevados que aqueles encontrados em água. Sua toxidez ainda não é muito conhecida.
Selênio <b>Se</b>	O selênio é encontrado sob a forma de sais com Ni, Co, Mo, Cu.	Se(II) Se(IV) Se(VI)	*Carvão, "Black shales". Depósitos sulfovulcânicos.  **Encontra-se em refinarias de Cu, Pb, Au, Ni e Ag.	Elemento considerado como muito tóxico. Pode provocar: anemia, depressão e problemas do sistema nervoso, quando atinge o fígado, tornando a pele com coloração amarela. Existe risco de causar cáries dentárias e gengivites.
Prata <b>Ag</b>	A prata é encontrada principalmente como sulfato Ag <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ou associada com Pb e Cu. Este elemento forma complexos solúveis com amoníaco, bisulfato, cianeto e sulfatos.	Ag (I) Ag (III)	*Fontes minerais: Ag <sub>2</sub> O, AgCl, Ag <sub>2</sub> S, AgF.  **O nitrato de prata é muito utilizado na indústria: fotográfica, de tintas, colorantes para porcelana. É também utilizado como anti-séptico e para a conservação dos alimentos e de bebidas.	A prata não é considerada como um poluente significativo em águas naturais. Tendi em vista o seu custo, as indústrias utilizam sistemas de recuperação.
Zinco <b>Zn</b>	O zinco se encontra sob forma de sulfa: ZnS. Este elemento pode estar associado com outros metais tais como: Pb, Cu, Cd e Fe.	Zn (II)	**A maior parte a poluição em zinco, vem de fertilizantes. Os sais de Zn são utilizados para a galvanização de tubulações.	O zinco solúvel não está em concentrações significantes em águas naturais. Em água de torneira, pode ser encontrado de 3 à 2100 µg/l.

<u>Elemento</u>	<u>Forma na natureza</u>	<u>Estado de Oxidação</u>	<u>Fontes</u> * natural ** poluição	<u>Considerações Toxicológicas</u>
Boro <b>B</b>	Encontra-se sob forma de borato em fontes de águas quentes, e lagos de regiões vulcânicas, onde este elemento forma complexos voláteis.	B(III)	* Este elemento é encontrado em fontes térmicas e em ventos vulcânicos. **O boro está concentrado em águas de campos petrolíferos, de carvão e em rejeitos de plantas e animais.	O boro é bioquimicamente importante, pois ele substitui o carbono nas moléculas de gordura e de açúcar. Sabe-se que a ingestão excessiva de ácido bórico ou de borato causa náuseas e convulsões.
Flúor <b>F</b>	Os minerais mais comuns, onde flúor é encontrado, são: $F_2Ca$ , $Na_3AlF_6$ , $Ca_{10}F_2(PO_4)_6$ . Os gases vulcânicos são também ricos HF.		*É encontrado em rochas metamórficas: apatita e mica. **A maior fonte poluidora em flúor vem dos fertilizantes, fosfatos, plantas e combustão do carvão. O flúor pode ser proveniente de indústrias de alumínio, aço e cerâmica.	A excessiva quantidade de flúor é responsável pelo efeito tóxico conhecido como “fluorose dental” Pode causar danos ao esqueleto e reumatismo. A ingestão contínua pode causar danos aos rins
Tório <b>Th</b>	Elemento radioativo encontrado em vários depósitos.	Th (II) Th (III) Th (IV)	Usado em mantas de gás incandescentes, e em liga de combustível em reatores nucleares.	Muito perigoso devido a sua radioatividade
Urânio <b>U</b>	Metal Radioativo encontrado em vários depósitos	U(II) U(III) U(IV)  U(V) U (VI)	* Crosta Terrestre = 2ppm Água do mar= 0,0003ppm ** Combustível Nuclear, bombas nucleares.	Muito perigoso devido à sua radioatividade.
Radônio <b>Rn</b>	Gás produzido pelo $^{226}Ra$ .  Encontrado na forma $RnF_2$	Rn (II)	*Atmosfera em teor de traço; Crosta terrestre= $1,7 \cdot 10^{-10}$ ; água do mar= $9 \cdot 10^{-15}$	Tóxico devido à sua radioatividade.

#### 4.2.2 Toxicidade e bioacumulação dos elementos metálicos

O mercúrio (Hg), chumbo (Pb), cádmio (Cd), e arsênio (As) são elementos que apresentam grandes riscos ambientais, em função da dosagem, de seu intenso uso, toxicidade e ampla distribuição. Até o momento, nenhum metal invadiu o ambiente a ponto de constituir um perigo difundido por toda parte. Contudo, foi descoberto que cada um deles ocorre em níveis tóxicos em determinados locais nos últimos tempos. Os metais diferenciam-se dos compostos orgânicos tóxicos por serem não-degradáveis, de maneira que podem acumular-se nos componentes do ambiente onde manifestam sua toxicidade. Os locais de fixação final dos elementos-traço são os solos e sedimentos.

A toxicidade destes elementos depende em grande parte da forma química do elemento, isto é, de sua especiação. As formas, quase totalmente insolúveis, passam através do corpo humano sem causar grandes danos. As formas mais devastadoras dos metais são as que provocam doenças imediatas ou morte (como óxido de arsênio em dose suficientemente elevada), já que a terapia não pode exercer seus efeitos em um tempo tão curto, e aquelas que podem passar através da membrana protetora do cérebro - a barreira sangue-cérebro, ou da que protege o feto em desenvolvimento. Para alguns elementos traço, como o mercúrio, a forma mais tóxica é a que tem grupos alquila ligados ao metal, dado que muitos destes compostos são solúveis nos tecidos animais e atravessam as membranas biológicas. A toxicidade de uma dada concentração de um metal pesado presente em um curso de água natural depende do pH e da quantidade de carbono absorvido e em suspensão, já que as interações como complexação e adsorção podem remover, de forma satisfatória, alguns íons metálicos e eliminar sua atividade biológica potencial (Baird 2002).

Embora o vapor de mercúrio seja altamente tóxico, os quatro metais, Hg, Pb, Cd e As, nas suas formas de elementos livres condensados, não são particularmente tóxicas. Porém os quatro são perigosos nas suas formas catiônicas e também quando ligados a cadeias curtas de átomos de carbono. Do ponto de vista bioquímico, o mecanismo de sua ação tóxica deriva da forte afinidade de cátions pelo enxofre.

Sabe-se que algumas substâncias experimentam o fenômeno da biomagnificação: suas concentrações aumentam progressivamente ao longo de uma cadeia alimentar ecológica. Desses metais que é capaz, indiscutivelmente, de apresentar o fenômeno de biomagnificação, é o mercúrio. Entretanto, muitos organismos aquáticos podem bioconcentrar elementos traço, como por exemplo, ostras e mexilhões que podem conter níveis de mercúrio e cádmio cem

mil vezes maior que os das águas nas quais vivem (Baird 2002).

A liberação de contaminantes devido à disposição inadequada de resíduos no solo e águas é reconhecida como um dos graves problemas contemporâneos. Os efeitos do lançamento de rejeitos na natureza são incalculáveis e recaem principalmente na escassez, contaminação da água e aumento das doenças associadas à poluição ambiental.

#### **4.2.3 Comportamento do elemento-traço na água e sedimento**

A água é essencial à vida, entretanto, pesquisas mostram que, apesar de todos os esforços, sua qualidade está se deteriorando cada vez mais rápido, devido à crescente concentração populacional, falta de saneamento básico, poluição industrial, transporte de petróleo e também pela contaminação por elementos metálicos (traço) nos diversos ambientes.

Os estuários e as regiões costeiras são muito utilizados para a disposição de efluentes urbanos e industriais, acarretando a contaminação das águas e da vida marinha por diversos poluentes. Pode-se verificar, mundialmente, aumento nos níveis desses contaminantes, e isso tem levado à formulação de estratégias para diminuir o impacto causado nesses ecossistemas que sustentam a maior parte da biodiversidade marinha, os principais recursos pesqueiros e as reservas mundiais. Do ponto de vista da saúde, o grau de contaminação desses ecossistemas pode colocar em risco a saúde das populações ribeirinhas que utilizam essas águas tanto para a pesca quanto para o lazer.

A intervenção humana pode ser considerada como a maior responsável pela magnitude e frequência da disposição dos metais, uma vez que a sua geração como subproduto nas atividades industriais ocorre em escala exponencial, gerando diversos impactos em nível local e global, levando a um estresse contínuo na natureza e, conseqüentemente, a efeitos agudos ou crônicos à saúde dos ecossistemas e do homem (Brayner 1998).

A importância da preservação dos recursos hídricos tem levado à necessidade de monitorar e controlar a contaminação destes ambientes, e os elementos-traço estão entre os contaminantes mais tóxicos e persistentes do ambiente aquático. Portanto, suas fontes, transporte e destino precisam ser avaliados (Campos 2002).

A descarga desses elementos em corpos aquáticos pode promover alterações significativas nos comportamentos físicos, químicos e biológicos, tanto do corpo receptor, como do próprio metal (Vega *et al.* 1998). Essas alterações podem ser divididas em duas amplas categorias: efeito do ambiente sobre o metal e efeito do metal sobre o ambiente. A primeira categoria enfatiza condições nas quais as águas receptoras podem influenciar o



comportamento e a toxicidade dos metais. O efeito do metal na resposta biológica é enfatizado na segunda categoria. Dependendo das condições ambientais, o metal pode influenciar a densidade, a diversidade, a estrutura da comunidade e a composição das espécies de populações existentes no ambiente aquático. O grau de variação dependerá amplamente da concentração de metais na água e, igualmente, no sedimento. As mudanças nas características do meio aquático pelo aporte de espécies metálicas antropogênicas podem provocar efeitos deletérios à biota aquática (Hudson 1998).

Em ambientes aquáticos, os elementos-traço existem em solução na forma de íons hidratados livres ou complexados por ligantes orgânicos e inorgânicos. Podem ainda estar presentes na forma sólida, devido a várias associações com sedimentos ou material particulado suspenso (Stumm & Morgan 1996).

Visto que os organismos aquáticos tendem a acumular esses elementos e contaminantes orgânicos em seus tecidos, mesmo quando a água possui níveis desses compostos abaixo da concentração máxima tolerada pela legislação, há grandes riscos de contaminação dentro da cadeia trófica. No caso de peixes, a ingestão de alimentos e água é a rota principal de entrada de contaminantes nesses organismos. Animais filtradores como os mexilhões, filtram vários litros de água por hora, e conseqüentemente podem concentrar de 10 a  $10^5$  vezes vários contaminantes em seus tecidos, com relação à água do mar (Widdows & Donkin 1992).

A importância do monitoramento dos sedimentos no manejo do ecossistema aquático é comprovada por inúmeros estudos científicos. O número de fatores físico-químicos (distribuição do tamanho do grão, pH, potencial redox, alcalinidade e dureza, salinidade, matéria orgânica) afeta a biodisponibilidade e toxicidade dos contaminantes nos sedimentos, sendo que estes fatores variam espacialmente e temporalmente dentro e entre os sedimentos. Mudanças nas condições físico-químicas, como resultado de processo natural ou antropogênico, podem conduzir a mudanças na biodisponibilidade de contaminantes (Buckley 2003).

Elementos-traço presentes nos efluentes se acumulam no sedimento de fundo causando efeito negativo na qualidade de água manifestando uma poluição secundária vinculada à exportação de micro elementos desses sedimentos para coluna de água e para os organismos bênticos. Os sedimentos, como parte integral do ecossistema aquático, são habitat de uma faixa extensa de organismos bióticos, bem como proporcionam estoque de vida química para atender a manutenção da estabilidade química do ambiente aquático. Efeitos

deletérios de excessiva carga de sedimentos no sistema aquático tornam-se evidentes como asfixia da biota, acúmulo de ecotoxicantes como os elementos metálicos em níveis de traço, pesticidas e solventes, acúmulo de ecomodificadores como os nutrientes ou matéria orgânica natural.

O papel dominante dos sedimentos, na saúde do sistema aquático interfere na tomada de decisão em operações de dragagem de lagos, lagoas e rios. A contaminação dos sedimentos traz custos, não somente à qualidade da água, do ponto de vista biológico e estético, mas também à comunidade do entorno, sob a ótica econômica e social, isto é, os sedimentos assoreiam rios, lagos, além de abrigar contaminantes tóxicos (Velasquez *et al.* 2002; Witters 1998).

A baixa solubilidade de alguns contaminantes no meio aquático e a baixa partição para matéria orgânica são argumentos favoráveis ao uso de sedimento como indicador imediato da saúde do ecossistema, e no decorrer do tempo, os sedimentos podem servir de fonte de muitos contaminantes para a água, dependendo das condições físico-químicas, podendo liberar os contaminantes para a coluna de água. Por serem alimentos dos organismos bênticos, o impacto nesses seres vivos é maior que na água.

Considerando que a biodisponibilidade dos contaminantes é função do processo se alóctone ou autóctone, estudos de *background* e conhecimento de mecanismos de adsorção destes contaminantes é de significativa importância na interpretação da análise dos sedimentos dentro do ecossistema.

Sly (1976) estudou ambientes sedimentares dos Grandes Lagos e verificou que a distribuição dos sedimentos é dominada por processos físicos e que a geoquímica dos sedimentos é fortemente influenciada pelo caráter do material fonte, o qual pode ser modificado por processos diagenéticos ou autogenéticos, e concluiu que em muitos ambientes, as ações antrópicas podem superimpor mudanças na composição de sedimentos recentes.

Arackel (1995), em seus estudos sobre adsorção de sedimentos na Austrália, observou comportamentos distintos nos sedimentos e relacionou as diferenças a fatores sazonais, padrões de chuva, nível de urbanização.

Lijklema *et al.* (1993) abordaram a dinâmica e comportamento dos contaminantes nos lagos e concluíram que os sedimentos desempenham papel de limpeza das águas em relação aos poluentes, especialmente quando seu coeficiente de distribuição e o tempo de retenção hidráulica são altos e uma quantidade de adsorventes está disponível; além disso, constataram que a redistribuição nos sedimentos ocorre devido à mineralização da matéria orgânica e

mudanças de pH e potencial redox, processos que podem conduzir a remobilização dos contaminantes de sedimentos para coluna de água, sobretudo se influenciado por bioturbulência por ondas e correntes.

Partículas de sedimentos incluem material derivado de erosão das rochas e solo, resíduos, descarga atmosférica e material orgânico produzido biologicamente. Estas partículas incluem carbonatos, quartzo, feldspato, e sólidos orgânicos, sendo geralmente recobertas com minerais de argila, hidróxido de manganês e óxidos de ferro ou substâncias orgânicas, o que é importante na regulação do movimento de material dentro e fora de sedimentos, e conseqüentemente contribuem para impactar a qualidade da água. Muitos elementos químicos antropogênicos são ativamente adsorvidos sobre partículas finas, sobre óxidos e matéria orgânica. A afinidade de metal pelas partículas finas acontece pela alta relação da área superficial/volume, e a biodisponibilidade pode ser menor nas frações finas quando comparado às frações grossas.

#### **4.2.4 Geoquímica dos sedimentos**

A importância dos sedimentos no estudo do sistema aquático e a sua complexidade em relação à afinidade com os elementos-traço conduzem à busca pela definição do papel que desempenha, respondendo às questões quanto à qualidade ambiental de um determinado curso d'água.

Power & Chapman (1992) descrevem sedimento como sendo uma matriz de detritos, de material orgânico e inorgânico, sendo quatro os constituintes dos sedimentos:

- ✓ Água intersticial, que ocupa aproximadamente 50% em volume da superfície dos sedimentos;
- ✓ Fase inorgânica, a qual inclui rochas e fragmentos de concha e grãos resultantes de processo de erosão de material não contaminado;
- ✓ Matéria orgânica, a qual ocupa somente pequeno volume, mas sua importância é relevante, pois o efeito decorrente de sua presença responde pela regulação de sorção e biodisponibilidade dos contaminantes;
- ✓ Materiais oriundos de atividade antropogênica, que inclui material contaminado de indústrias e *top soil* erodido contaminado por químicos da agricultura.

Além destes quatro componentes abióticos, cabe registrar os componentes bióticos presentes nos sedimentos que são os organismos vivos, como algas, macrófitas, invertebrados bêmicos e bactérias. Todos estes grupos têm potencial para alterar as condições físico-químicas do ambiente dentro dos sedimentos.

Hart (1982) define sedimentos como sendo a mistura complexa de fases sólidas, incluindo argila, sílica, matéria orgânica, óxidos metálicos (FeOH, MnO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), carbonatos, sulfetos, minerais e uma população bacteriológica. A SedNet, European Sediment Research Network (2003), define sedimentos como sólidos constituídos por matéria orgânica e/ou inorgânica, suspensos ou depositados, atuando como principal componente de uma matriz que é susceptível de ser transportada pela água.

A matéria formadora do sedimento é proveniente da atmosfera, do solo transportado pelas águas e dos organismos vivos ou degradados do sistema aquático. O tamanho da partícula nos sedimentos é classificado nas seguintes categorias: argila (<4 µm), silte (4- 64 µm), areia (62- 2000 µm), e cascalho (>2000 µm). As frações < 4 µm são chamadas de fração pelítica, são usualmente mais pobres em quartzo e feldspato potássico, porém mais ricas em argilas minerais como caulinita, montmorilonita, muscovita e paragonita. A fração pelítica é também enriquecida em ferro, tanto minerais de óxido de ferro como ferro associado a argilas e em matéria orgânica (Warren 1981).

Calvert (1976) considera o sedimento como composto de três componentes:

- ✓ Componente detrítico ou alotígeno: fragmentos de rocha e minerais derivados da terra pelo intemperismo e fornecidos aos lagos e oceanos por rios, gelo e vento.
- ✓ Componente biogênico: esqueleto inorgânico remanescente de organismos e matéria orgânica produzida pela degradação de tecidos orgânicos.
- ✓ Componente autigênico: precipitados de origem inorgânica, que são formados na água, mas que podem ser formados após deposição no sedimento.

As partículas do componente detrítico são comumente grãos de quartzo, feldspato, ilita, montmorilonita, caulinita e minerais pesados, tais como turmalina, zircônia, rutilo e ilmenita. As argilas minerais compostas de óxi-hidróxidos de ferro, manganês e alumínio e os minerais pesados são os que retêm a maioria dos elementos metálicos como Pb, Cd, Zn no componente autigênico. Quartzo sendo usualmente o mineral dominante no componente detrítico pode ser considerado como diluente, pois não contém metal pesado de origem natural. O compartimento biogênico pode conter material proveniente do esqueleto calcário ou silicoso, matéria orgânica finamente dispersa e populações de microorganismos. Neste compartimento, os microorganismos tendem a colonizar na superfície do particulado por substâncias poliméricas extracelulares, formando um biofilme, que recobre o particulado, funcionando como um ecossistema estável constituído de uma mistura complexa com capacidade de reagir com poluentes na interface com a água.

Os metais podem estar associados a várias fases do sedimento: adsorvidos nas partículas de superfície (argilas, ácidos húmicos e óxi-hidróxidos metálicos), ora ligados a carbonato, sulfetos, alumino silicatos ou matéria orgânica, ora ocluídos nos óxi-hidróxidos de ferro e/ou manganês.

O risco de contaminação da biota está relacionado, sobretudo, com a fração fracamente ligada dos metais, que é basicamente composta de metais absorvidos às superfícies por forças iônicas, além da parte do conteúdo metálico coprecipitado em hidróxidos e carbonatos, e parte do incorporado à matéria orgânica e sulfetos (Salomons 1980). Presume-se que metais ligados a óxidos e materiais orgânicos refratários, e os que fazem parte da estrutura cristalina dos minerais, estão presos por ligações extremamente fortes que não são rompidas pelas atividades metabólicas, tanto por plantas como por animais

Um dos parâmetros que mais afetam as interações entre o metal e o sedimento no ciclo biogeoquímico é o tamanho da partícula do sedimento. Elementos traços de origem antropogênica e natural estão principalmente concentrados nas frações argila e silte do sedimento, que são as partículas com tamanho de grão  $<63\mu\text{m}$  (Förstner 1977). O enriquecimento de contaminantes da fração argila/silte se deve à grande superfície específica desta fração e ao forte poder de sorção das argilas minerais. Entretanto, Krumgalz *et al.* (1992) constatou o enriquecimento de metal e matéria orgânica em frações de sedimento com tamanho e partícula maior que  $250\mu\text{m}$ , o que foi explicado como resultado da formação de grandes aglomerados (“clusters”) de partículas de sedimentos menores enriquecidas por estes metais.

Quando se estuda a contaminação em sedimentos devem ser consideradas as diferentes texturas e mineralogias das amostras coletadas em regiões distintas, bem como a partição dos metais de origem antropogênica nas diversas frações e componentes do sedimento. Como o tamanho do grão é um dos maiores problemas que afetam os dados analíticos, faz-se necessário um procedimento normalizador de modo que as frações mais grossas, nas quais a concentração desses metais é baixa e a distribuição é randômica, não exerçam efeito diluidor na amostra do sedimento. A literatura sugere diversos métodos para minimizar o efeito do tamanho da partícula. Todos eles baseiam-se essencialmente na suposição de que os metais de origem antropogênica são adsorvidos predominantemente nas frações mais finas, fração esta que se equivale ao material carregado em suspensão, principal modo de transporte do sedimento (Förstner & Salomons 1980).

O folhelho (“*shale*”), genericamente, é uma rocha sedimentar folheada de granulometria finíssima semelhante às argilas. Como os sedimentos de fundo são

majoritariamente constituídos de partículas finas, esse tipo de rocha tem sido usada como referência em muitas pesquisas que tratam a avaliação da qualidade de sedimentos. Diversas tabelas de distribuição geoquímica da crosta foram publicadas. Os valores compilados de Turekian & Wedephol (1961) são os mais utilizados em função da quantidade de fontes utilizadas para compor a distribuição geoquímica global. Entretanto, deve-se salientar que face às diferenças litológicas existentes na crosta, essas tabelas não são as mais adequadas como referência geral e irrestrita, e seu uso se explica, sobretudo, pela falta de condições técnicas e econômicas em se determinar os valores da região de estudo (Mozeto *et al* 2003).

Um dos meios para se avaliar o grau de impacto por *input* antropogênico ou natural em uma área é a determinação da concentração de elementos químicos, principalmente elementos-traço, nos sedimentos (Santschi *et al.* 1984). Considerando que os sedimentos são produtos de degradação física e química em grande escala, faz-se necessário o máximo de informações sobre sua origem, suas características mineralógicas e físico-químicas, bem como os fatores ambientais que controlam os processos de intemperismo, transporte e deposição (Prohic & Juracic 1989). Portanto, a simples realização de análises químicas de sedimentos, sem levar em conta a origem de composição química da rocha-mãe pode conduzir a uma superestimação da contribuição antrópica de um determinado metal.

Förstner & Salomons (1980), Förstner & Wittman (1981) sugerem que a análise de elementos-traço seja obtida nas frações granulométricas mais finas dos sedimentos. Isto porque se observa maior afinidade metais com estas frações e, conseqüentemente, constituem-se em bons indicadores do grau de poluição dos sedimentos.

A matéria orgânica desempenha um importante papel no meio aquático, através da formação de complexos estáveis com os elementos metálicos (Agemian & Chau 1976). Portanto, sua determinação nas frações finas subsidia a interpretação do comportamento de alguns metais no sistema água – sedimento. A matéria orgânica tem sua origem nos detritos orgânicos, vegetação marginal e fitoplâncton, além das fontes antropogênicas, como os efluentes domésticos.

No contexto ambiental, valores de referência ou de “*background*” para concentração de metais e metalóides é uma questão central em todas as pesquisas que tratam dos sedimentos como indicadores de poluição, pois é a partir dele que se determinam índices de contaminação e conseqüentemente se estabelecem valores ou critérios de qualidade de sedimento.

A literatura registra três modos distintos para obtenção de valores de referencia: (1) Níveis de Referência Geológicos Global (NRGG), que são valores médios mundiais; (2)

valores de referência correspondentes ao período pré-industrialização em amostras de testemunhos; (3) valores obtidos de amostras coletadas de lagos, nascentes, córregos, ribeirões e rios tributários, teoricamente imunes à contaminação antropogênica, em locais próximos à área de estudo.

A avaliação dos efeitos da poluição com base nos NRRG não é, muitas vezes, satisfatória devido à presença de anomalias regionais na litologia (Förstner 1977). A aplicação do NRRG implica que todas as variações locais são ignoradas, ou seja, as características geoquímicas regionais não são consideradas. Dessa forma, há o risco de se atribuir falsamente um fator ou índice de contaminação ao ambiente em estudo, visto que as concentrações determinadas podem ter valores naturais típicos da região. Postula-se que valores de referência regionais são mais apropriados para subsidiar estudos ambientais e geoquímicos devido às peculiaridades litológicas que alteram a abundância elementar para diferentes regiões do globo, devendo ser sempre preferido em situações em que estão definidos.

A análise do sedimento de fundo, capaz de registrar eventos de poluição, possibilita identificar processos de deposição e acumulação do metal, passível de lento reprocessamento e biodisponibilização ou de transporte para outros corpos hídricos. Mesmo depois de cessada a descarga de poluentes e de ocorrerem significativas melhorias na qualidade da água, o sedimento contaminado permanece como fonte contínua de risco aos organismos aquáticos, existindo a chance de remobilização do elemento poluente por ação de microorganismos e alterações físico-químicas do meio circundante.

Índices de contaminação demonstram serem ferramentas exploratórias, úteis na caracterização de um evento atual ou pretérito de poluição, no rastreamento da fonte de contribuição e na avaliação do processo de deslocamento e dispersão dos poluentes presentes na fração fina dos sedimentos, ao longo dos cursos d'água. Por utilizarem um valor referencial correspondente à concentração de *background* na área de estudo, permitem a comparação de resultados obtidos em dois corpos hídricos distintos, ou da evolução da contaminação por um determinado elemento.

Como a legislação brasileira não tem estabelecido padrões de qualidade ambiental definidos para sedimentos fluviais, o emprego desses índices torna-se importante ferramenta para classificar as amostras investigadas quanto ao grau de poluição, tornando possível uma comparação com outros estudos semelhantes. Entretanto, esses índices não devem ser usados isoladamente, pois não consideram os efeitos toxicológicos causados pela presença de metais, que são os relacionados não apenas com a magnitude da concentração, mas também com a forma e a toxicidade específica do poluente, a sensibilidade do meio e a ocorrência de

sinergismo (Laybauer 1999).

Müller (1979) classificou os ambientes de acordo com o nível de contaminação dos metais por meio do modelo chamado “*background*”, Este modelo foi um dos primeiros utilizados como método quantitativo para medir a poluição de metais em sedimentos aquáticos.

O Índice de Geoacumulação de Müller é uma proposta de avaliação da intensidade de contaminação dos sedimentos, ou o enriquecimento do substrato geológico, aplicando-se apenas os atributos químicos calculados para classificar a intensidade de poluição. Este índice estabelece a relação entre os teores de metais encontrados na região em análise e um valor referencial equivalente à média mundial para metais associados às argilas. É calculado por meio da fórmula:

$$I_{geo} = \log_2 C_n / (1,5 \times C_b),$$

Onde :

$C_n$  é a concentração do elemento  $N$  na fração fina FF < 0,062 mm do sedimento;

$C_b$  é a concentração média de *background* geoquímico do elemento;

1,5 é o fator usado para minimizar variações do *background* causadas por diferenças litológicas.

O valor obtido permite classificar os níveis de enriquecimento dos metais em sete extratos, com intensidades progressivas de contaminação. O *Igeo* consiste em sete intervalos distintos, que variam de 0 a 6, e estão relacionados com o grau crescente de contaminação (Tab. 5.2), onde o valor mais elevado corresponde a um enriquecimento de aproximadamente 100 vezes em relação ao nível de *background*.

Tabela 4.2 - Índice de geoacumulação de elementos-traço (Modificado de Müller 1979).

Intensidade de poluição	Igeo	Classe do Igeo
muito fortemente poluído	> 5	6
forte a muito fortemente poluído	4 < Igeo < 5	5
fortemente poluído	3 < Igeo < 4	4
moderadamente a fortemente poluído	2 < Igeo < 3	3
moderadamente poluído	1 < Igeo < 2	2
pouco a moderadamente poluído	0 < Igeo < 1	1
não poluído	0	0

Hakanson (1980), em seu modelo para quantificar a contaminação nos sedimentos por esses elementos, estabeleceu um índice de risco potencial com base em fatores de



enriquecimento das substâncias e “fatores de resposta tóxico” das mesmas, esses fatores formulados em base puramente empírica.

O Fator de Contaminação ( $F_c$ ) de Hakanson permite estimar a contribuição antrópica dos elementos-traço e estabelecer seções ao longo do leito fluvial onde a contaminação do sedimento seja significativa. O Fator de contaminação dos sedimentos é calculado através da razão entre a concentração do elemento no sedimento superficial e a concentração do seu nível de base natural (NBN) ou *background local*. Isso permite verificar em que ordem de grandeza o nível natural dos metais foi excedido, indicando o enriquecimento ou, caso contrário, o empobrecimento do elemento no sedimento. A classificação de Hakanson relaciona valores de Fator de Contaminação com a intensidade de poluição, conforme apresentado na tabela 4.3.

Tabela 4.3 - Fator de contaminação de Hakanson.

Nível de contaminação	fator de Contaminação
Baixo	$< 1$
Moderado	$1 \leq F_c < 3$
Alto	$3 \leq F_c < 6$
Muito alto	$F_c \geq 6$

À soma de todos os fatores de contaminação Hakanson denominou Grau de contaminação ( $G_c$ ), cuja classificação é apresentada na tabela 4.4 a seguir:

Tabela 4.4 - Grau de contaminação de Hakanson.

Intensidade de poluição	Grau de contaminação
Baixa contaminação	$< 12$
Moderada	$12 \leq G_c < 36$
Alta	$36 \leq G_c < 72$
Muito alta	$G_c \geq 72$

Förstner *et al.*(1993) argumentam que o fator tóxico no modelo de Hakanson, é formulado a partir de uma série de suposições muito complexas, sendo que este fator poderia ser obtido de um modo mais simples, por exemplo por meio de bioensaios. Quanto ao Modelo de Müller, esses autores fazem críticas no que se refere a não inclusão do fator toxicidade relativa dos poluentes.

Em se comparando os dois modelos, a vantagem do Modelo de Hakanson está no fato de que este modelo incorpora os fatores de risco ecológico potencial, mesmo que utilize dados empíricos.

### 4.3 Influências do uso e cobertura do solo na qualidade da água

Contaminação e poluição são conceitos que por vezes se confundem, ou são confundidos resultando em entendimento diverso daquele que se pretende.

Por sua importância no tema a ser discutido descrevemos os conceitos extraídos de Mazzini (2004), a seguir:

Poluição: Diz-se da adição ou do lançamento de qualquer substância ou forma de energia no meio ambiente em quantidades que ultrapassem as concentrações naturalmente encontradas. Entendendo-se por poluição como sendo a degradação ambiental resultante de atividades que, direta ou indiretamente, causem:

- ✓ Prejuízo à saúde, segurança e bem-estar da população;
- ✓ Condições adversas às atividades sociais e econômica;
- ✓ Danos à biota;
- ✓ Condições estéticas ou sanitárias em desacordo ao meio ambiente;
- ✓ Lançamento de matérias ou energia em desacordo com os padrões ambientais estabelecidos.

Contaminação: Caso particular de poluição em que há introdução no meio ambiente, de substâncias tóxicas, organismos patogênicos, ou outros elementos, em concentrações que possam causar danos à saúde dos seres vivos.

A deterioração dos recursos hídricos é sabido de todos que decorrem do crescimento demográfico desenfreado, expansão das atividades econômicas e do aumento do consumo de produtos manufaturados, que causam a exploração excessiva dos recursos naturais e a degradação do meio ambiente. As atividades econômicas constituem fontes pontuais e difusas de poluição ao lançarem efluentes domésticos, industriais e deflúvios superficiais agrícolas. A inter-relação existente entre os sistemas solo e água faz com que todas as modificações realizadas no solo reflitam na qualidade da água.

Almeida e Schwarzbald (2003) observaram dois fatores relevantes que interferem na qualidade da água: o espacial e o sazonal. O fator espacial está associado à localização geográfica dos usos impactantes, por exemplo: indústrias, centros urbanos, áreas agrícolas, isto se explica pela ocorrência de altos índices na qualidade da água em regiões preservadas e baixos índices em regiões de usos intensos e degradantes. Já o fator sazonal está associado às variações na pluviosidade e vazão dos rios. Altos índices de pluviosidade alteram os níveis de vazão, influenciando e variáveis como turbidez, pH, sólidos totais e em suspensão. Para

Borges *et al.* (2003), a vazão interfere na turbulência, no fluxo do rio, e consequente no transporte de materiais.

A intensidade da alteração dos solos e das águas tem sua magnitude e abrangência regulada pelo tipo de atividade desenvolvida (agricultura, pecuária, mineração, industrialização, etc.) e pela forma como são conduzidas (com ou sem práticas de conservação), isto explica a razão de duas bacias hidrográficas, com igual atividade econômica, apresentarem níveis de degradação distintos. Sperling & Möller (1995) afirma que o solo é prejudicado, principalmente pela poluição resultante de atividades antrópicas (deposição de resíduos sólidos e líquidos, urbanização, atividades agropecuárias e acidentes no transporte de cargas) que alteram suas características naturais, provocando mudanças em sua estrutura física e química.

As mudanças na estrutura física dos solos decorrentes das atividades do homem tornam-os vulneráveis a vários tipos de problemas como: perda de produtividade, erosão acelerada e movimentos de massa. Os principais fatores de degradação do solo são: o desmatamento (para fins de agricultura, florestas comerciais, construções de estrada e urbanização), o superpastejo da vegetação, bem como sua exploração intensa para fins domésticos, e atividades agrícolas e industriais poluentes, que por atingirem grandes extensões de terra se sobrepõem aos impactos decorrentes da mineração (Logan 1995).

Os danos provocados pela ausência da cobertura vegetal se explicam por que as gotas de chuva caindo diretamente sobre o solo, causam ruptura dos agregados (efeito *splash*), o que resulta na individualização das partículas, que transportadas, contribuem para a selagem da superfície do solo. Com o preenchimento dos poros, há a formação de crostas e consequentemente diminuição da capacidade de infiltração da água, aumentando o escoamento superficial, lixiviando os nutrientes e disponibilizando sedimentos, que carregados pelas águas superficiais, respondem pelo assoreamento dos cursos d'água. (Bertoni & Lombardi Neto 1999).

A manutenção da mata ribeirinha necessária para fornecer estabilidade das margens dos rios, controlam a temperatura da água por intermédio de sombreamento, regulam a capacidade de armazenamento da água, além de exercer a função de barreira física entre os sedimentos, resíduos de adubos, defensivos agrícolas e os cursos d'água.

Ainda neste contexto, o cultivo de eucalipto provoca impactos como redução da biodiversidade da flora, fauna, aumenta o consumo de água e de nutrientes, perda da fertilidade dos solos e redução da matéria orgânica, devido ao rápido crescimento. A paisagem natural cria um ambiente homogêneo e susceptível ao aparecimento de pragas,

levando ao consumo de fertilizantes e de agrotóxicos, especialmente herbicidas, inseticidas e formicidas, o que prejudica a integridade dos rios e ameaça à saúde humana.

As queimadas, comuns na área de plantio, inicialmente auxiliam a liberação de nutrientes nos solos. Entretanto, em um segundo momento, há perdas desses nutrientes, que não são retidos na superfície em razão da volatilização. Altas temperaturas destroem a vida microbiológica dos solos, fundamental para estabilidade e manutenção da fertilidade (Barbieri *et al.* 1997). Outra atividade que causa degradação de extensas áreas é a pecuária. De acordo com Griffith *et al.* (2000), o superpastejo e a ausência de adubação são fatores determinantes na degradação do solo, pois o excessivo pisoteio do gado contribui para sua compactação e para iniciação de focos erosivos, além do contato direto do gado com as águas do rio para dessedentação, ocorre a contaminação microbiológica dos cursos d'água por estreptococos e coliformes fecais.

A mineração, que retira a vegetação, altera a paisagem natural, provoca erosão e por vezes, utiliza metais em seu beneficiamento, também é responsável por parte da degradação ambiental. Cabe lembrar, que o grau de impacto é função do porte da mineração, localização geográfica, tecnologia empregada. Por exemplo, as lavras do tipo dragagem contribuem de forma significativa para alteração na morfologia dos leitos dos corpos d'água, o desmatamento das matas ciliares torna as margens vulneráveis à erosão. Na mineração subterrânea, os impactos na água derivam do lançamento dos sólidos sedimentáveis e dissolvidos, no aumento de turbidez, chegando mesmo a mudança de pH.

Nos centros urbanos, a retirada da vegetação e a impermeabilização do solo resultam na diminuição da infiltração das águas e no aumento do escoamento superficial concentrado, provocando erosão, seguida de assoreamento dos rios. Não se pode deixar de enfatizar que além do impacto ambiental nos ecossistemas, a poluição hídrica compromete a qualidade de vida humana. A disposição final de resíduos sólidos é outro grave problema. Os lixões comprometem a integridade dos solos e, por consequência, das águas, lembrando que o chorume, oriundo da matéria orgânica, constitui a principal fonte de poluição.

As atividades industriais são potenciais lançadores de poluentes químicos tóxicos nas águas e nos solos, contaminando-os e inviabilizando, por vezes, outras atividades humanas, impedindo a existência da biota.

#### **4.4 Gestão de bacias hidrográficas**

A gestão de recursos hídricos baseada no recorte territorial das bacias hidrográficas ganhou força no início dos anos 1990 quando os Princípios de Dublin foram acordados na

reunião preparatória à Rio-92. Diz o Princípio no.1 que a gestão dos recursos hídricos, para ser efetiva, deve ser integrada e considerar todos os aspectos, físicos, sociais e econômicos. Para que essa integração tenha o foco adequado, sugere-se que a gestão esteja baseada nas bacias hidrográficas (WMO, 1992).

A questão central que deve reger a gestão é a integração dos vários aspectos que interferem no uso dos recursos hídricos e na sua proteção ambiental. A bacia hidrográfica permite essa abordagem integrada, uma vez que é o palco unitário de interação das águas com o meio físico, o meio biótico e o meio social, econômico e cultural.

A Lei n. 9.433 de 8 de janeiro 1997, deu ao Brasil uma política de recursos hídricos e organizou o sistema de gestão por bacias hidrográficas. Hoje no Brasil, os recursos hídricos têm sua gestão organizada por bacias hidrográficas em todo o território nacional, seja em corpos hídricos de titularidade da União ou dos Estados. Há certamente dificuldades em se lidar com esse recorte geográfico, uma vez que os recursos hídricos exigem a gestão compartilhada com a administração pública, órgãos de saneamento, instituições ligadas à atividade agrícola, gestão ambiental, entre outros, e a cada um desses setores corresponde uma divisão administrativa certamente distinta da bacia hidrográfica.

A bacia hidrográfica é uma área de captação natural da água de precipitação que faz convergir o escoamento para um único ponto de saída. Compõe-se de um conjunto de superfícies vertentes e de uma rede de drenagem formada por cursos de água que confluem até resultar em um leito único no seu exutório (Tucci 1997). Pode ser então, considerada um ente sistêmico, onde se realizam os balanços de entrada proveniente da chuva e saída de água através do exutório, permitindo que sejam delineadas bacias e sub-bacias, cuja interconexão se dá pelos sistemas hídricos.

A questão da escala a ser utilizada depende do problema a ser solucionado. Diz-se que o tamanho ideal de bacia hidrográfica é aquele que incorpora toda a problemática de interesse. Pode-se ter interesse em uma pequena bacia de 0,5 km<sup>2</sup> numa área urbana, como na bacia do Rio São Francisco, com mais de seus 600.000 km<sup>2</sup> de área. Esse conceito sistêmico adapta-se muito bem aos sistemas de gestão de recursos hídricos.

Sobre o território definido como bacia hidrográfica é que se desenvolvem as atividades humanas. Todas as áreas urbanas, industriais, agrícolas ou de preservação fazem parte de alguma bacia hidrográfica. Pode-se dizer que, no seu exutório, estarão representados todos os processos que fazem parte do seu sistema. O que ali ocorre é consequência das formas de ocupação do território e da utilização das águas que para ali convergem.

As atividades dos usuários de água em uma bacia hidrográfica são competitivas e se

acirram à medida que diminui a disponibilidade hídrica per capita. A forma de dar sustentabilidade e equidade a essa competição foi definida pela Lei n. 9.433/97 e acontece por meio do instrumento de outorga.

Uma gestão sustentável dos recursos hídricos necessita de um conjunto mínimo de instrumentos principais: uma base de dados e informações socialmente acessível, a definição dos direitos de uso, o controle dos impactos sobre os sistemas hídricos e o processo de tomada de decisão. Os instrumentos de gestão possuem objetivos de aplicação distintos e devem ser utilizados para alcançar diferentes fins. Por exemplo, os instrumentos de disciplinamento (outorga), os instrumentos de incentivo (cobrança) e os instrumentos de apoio (sistemas de informação). Todos com suas respectivas facilidades/dificuldades e vantagens/desvantagens, não são excludentes entre si. Embora não seja trivial sua implantação conjunta e de modo articulado, a maior eficácia certamente virá da aplicação conjunta dos diversos instrumentos, utilizando-os de acordo com sua potencialidade para melhor resolver o problema em questão.

Os instrumentos da Lei n. 9.433/97 que têm por objetivo a construção de consensos na bacia hidrográfica, são o Plano de Recursos Hídricos e o Enquadramento de Recursos Hídricos, que ampliam as possibilidades do planejamento tradicional, mediante processos participativos de construção de consensos, abrindo espaços para inserção da sociedade civil e de agentes econômicos com interesses particulares (públicos e privados) em tais processos de negociação. Possuem papel relevante numa das fronteiras de integração mais difíceis para a gestão de recursos hídricos que é sua articulação com a gestão territorial. Ao serem definidas as aptidões da bacia hidrográfica em seu plano e os objetivos de qualidade da água, haverá, por consequência, um direcionamento da gestão territorial, pois algumas atividades poderão ser incentivadas e outras reprimidas, em função do impacto sobre os recursos hídricos.

O mecanismo de compensação a municípios é essencial, pois permite fazer a ligação entre os pontos críticos para a gestão das bacias hidrográficas, como dito anteriormente, que são a gestão dos recursos hídricos e a gestão territorial.

#### **4.5 Qualidade das águas superficiais como ferramenta de gestão ambiental**

Por ser um recurso natural e limitado, a água constitui bem de domínio público, necessitando de instrumentos de gestão a serem aplicados por bacia hidrográfica, unidade territorial fundamental. Estes instrumentos visam assegurar às atuais e futuras gerações água disponível em qualidade e quantidade adequadas, mediante seu uso racional e prevenir situações hidrológicas críticas, com vistas ao desenvolvimento sustentável.

#### 4.5.1 Monitoramento da qualidade das águas superficiais realizado no Estado de Minas Gerais

Em Minas Gerais, a Constituição Estadual/de 1989 delinea ações gerais para gerenciamento e proteção dos recursos hídricos mineiros. O IGAM - Instituto Mineiro de Gestão das Águas foi criado em 1997 com a finalidade de promover o gerenciamento das águas de Minas Gerais. Em 2001, esse órgão passa a ser responsável pelo Projeto Águas de Minas, que gerencia rede de monitoramento das águas superficiais, cujos dados e informações subsidiam decisões dos Comitês de Bacias Hidrográficas, dos órgãos governamentais, empresas, bem como da sociedade e entidades que lutam em prol da sustentabilidade, da qualidade de vida e da consolidação da gestão compartilhada e descentralizada dos recursos hídricos.

Cabe destacar alguns dentre os diversos objetivos do Projeto Águas de Minas:

- ✓ Avaliar as condições reais das águas superficiais mineiras por meio de análises in loco e em laboratório de amostras coletadas nas estações de monitoramento;
- ✓ Verificar as alterações espaciais e temporais na qualidade das águas, no intuito de ressaltar tendências observáveis; Correlacionar essas condições com as características de ocupação das diferentes bacias;
- ✓ Facilitar a identificação e a implementação de estratégias de aperfeiçoamento de instrumentos gerenciais;
- ✓ Definir bacias ou corpos de água onde o detalhamento da macro-rede mostre-se necessário, mediante redes dirigidas;

Assim foram definidas as análises químicas a serem realizadas nas amostras de água, coletadas nas campanhas completas (período chuvoso e estiagem), e seus parâmetros físico-químicos e microbiológicos usuais com ensaios de toxicidade.

Os parâmetros da qualidade das águas: pH, DBO, nitrato, fosfato total, temperatura da água, turbidez, oxigênio dissolvido, coliformes termotolerantes e sólidos totais são utilizados no cálculo do Índice de Qualidade de Água (IQA) multiplicativo, desenvolvido pela *National Sanitation Foundation* dos Estados Unidos.

$$IQA = \prod q_i^{w_i}, i \text{ variando de } 1 \text{ a } 9$$

Onde:

IQA = Índice de Qualidade de Água, variando de 0 a 100;

$q_i$  = qualidade do parâmetro  $i$  obtido através da curva média específica de qualidade;

$w_i$  = peso atribuído ao parâmetro, em função de sua importância na qualidade, entre 0 e 1.

O nível de qualidade é determinado em função do IQA, conforme Quadro a seguir

Nível de Qualidade	Faixa
<b>Excelente</b>	$90 < IQA \leq 100$
<b>Bom</b>	$70 < IQA \leq 90$
<b>Médio</b>	$50 < IQA \leq 70$
<b>Ruim</b>	$25 < IQA \leq 50$
<b>Muito Ruim</b>	$0 \leq IQA \leq 25$

Para determinação do índice de Contaminação por Tóxicos (CT), desenvolvido pela FEAM, tomou-se por base os limites de classe definidos na Resolução CONAMA 357/2005, adotando-se o critério da tabela 4.5. Ressalta-se que, se apenas um dos parâmetros tóxicos for encontrado em apenas uma estação de amostragem, em ao menos uma campanha no ano, as águas desse recurso hídrico serão consideradas contaminadas por esse elemento. Resumindo:

- ✓ Pelo menos um dos elementos viola a Norma 20% do limite estabelecido- toxicidade baixa;
- ✓ Pelo menos um dos elementos viola a Norma 100% do limite estabelecido - toxicidade média;
- ✓ Pelo menos um dos elementos viola a Norma mais que 100% do limite da Norma- toxicidade alta.

*Tabela 4.5 - Critério de determinação do índice de Contaminação por tóxicos (Adaptado de IGAM 2007)*

Contaminação	Concentração em relação à classe de enquadramento
<b>Baixa</b>	<b>Concentração <math>\leq 1,2 P</math></b>
<b>Média</b>	<b><math>1,2 P \leq \text{Concentração} \leq 2P</math></b>
<b>Alta</b>	<b>Concentração <math>\geq 2 P</math></b>

P= Limite de classe definido na resolução CONAMA 357/05

A poluição das águas tem como origem diversas fontes, pontuais e difusas, associadas ao tipo de uso e ocupação do solo, dentre as quais se destacam: efluentes domésticos, efluentes industriais, carga difusa urbana e agrossilvopastoril, mineração, natural e acidental. Cada uma das fontes citadas possui características próprias quanto aos poluentes. Os esgotos domésticos, por exemplo, apresentam compostos orgânicos biodegradáveis, nutrientes e microrganismos patogênicos; os efluentes industriais têm uma maior diversificação nos contaminantes lançados nos corpos de água em função dos tipos de matérias-primas e processos industriais utilizados; o deflúvio superficial urbano contém, geralmente, todos os poluentes que se depositam na superfície do solo; os materiais acumulados em valas, bueiros,



etc., são arrastados pelas águas pluviais para os corpos de água superficiais, constituindo-se numa fonte de poluição tanto maior quanto menos eficiente for à coleta de esgotos ou a limpeza pública; os resíduos decorrentes das atividades ligadas à agricultura, silvicultura e pecuária; atividade agrícola, com efeitos que dependem das práticas utilizadas em cada região e da época do ano em que se realizam as preparações do terreno para o plantio, assim como do uso intensivo dos defensivos agrícolas; a contribuição representada pelo material proveniente da erosão de solos intensificada quando da ocorrência de chuvas em áreas rurais; os agrotóxicos com alta solubilidade em água podem contaminar águas subterrâneas e superficiais através do seu transporte com o fluxo de água; a poluição natural associada à salinização, decomposição de vegetais e animais mortos que são carreados pelo escoamento superficial, enquanto que a acidental decorre de derramamentos acidentais de materiais na linha de produção ou transporte.

A qualidade das águas requer o conhecimento dos parâmetros físicos, químicos, microbiológicos, hidrobiológicos e bioensaios ecotoxicológicos descritos a seguir:

**Parâmetros Físicos:** temperatura, condutividade elétrica, sólidos totais, sólidos dissolvidos totais, sólidos suspensos totais, cor, turbidez.

**Parâmetros Químicos:** alcalinidade total, alcalinidade de bicarbonato, dureza de cálcio, dureza de magnésio, dureza total, pH, oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio (DBO<sub>5,20</sub>), demanda química de oxigênio (DQO), série de nitrogênio (orgânico, amoniacal, nitrato e nitrito), fósforo total, substâncias tenso ativas, óleos e graxas, cianeto livre, fenóis totais, cloreto, potássio, sódio, sulfato total, sulfetos, magnésio, ferro dissolvido, manganês total, alumínio total, alumínio dissolvido, zinco total, bário total, cádmio total, boro total, arsênio total, níquel total, chumbo total, cobre total, cobre dissolvido, cromo (III), cromo (VI), cromo total, selênio total e mercúrio total.

**Parâmetros microbiológicos:** coliformes termotolerantes, coliformes totais e estreptococos totais.

### **Significado Ambiental dos Parâmetros**

#### **Parâmetros Físicos**

##### **Condutividade Elétrica**

É a expressão numérica da capacidade de uma água conduzir a corrente elétrica. Depende das concentrações iônicas e da temperatura e indica a quantidade de sais existentes na coluna d'água e, portanto, representa uma medida indireta da concentração de poluentes. Em geral, níveis superiores a 100  $\mu\text{S}/\text{cm}$  indicam ambientes impactados. A condutividade também fornece uma boa indicação das modificações na composição de uma

água, especialmente na sua concentração mineral, mas não fornece nenhuma indicação das quantidades relativas dos vários componentes. A condutividade da água aumenta à medida que mais sólidos dissolvidos são adicionados. Altos valores podem indicar características corrosivas da água.

### Sólidos Totais

Todas as impurezas da água, com exceção dos gases dissolvidos, contribuem para a carga de sólidos presentes nos corpos de água. Os sólidos podem ser classificados de acordo com seu tamanho e características químicas. Os sólidos em suspensão, contidos em uma amostra de água, apresentam, em função do método analítico escolhido, características diferentes e, conseqüentemente, têm designações distintas. A unidade de medida é o peso dos sólidos filtráveis, expresso em mg/L de matéria seca. A partir dos sólidos filtrados pode ser determinado o resíduo calcinado (em % de matéria seca), que é considerado uma medida da parcela da matéria mineral. O restante indica a parcela de sólidos orgânicos, como matéria volátil. Dentro dos sólidos filtráveis encontram-se, além de uma parcela de sólidos turvos, também os seguintes tipos de sólidos/substâncias não dissolvidas: sólidos flutuantes, que em determinadas condições flutuam, e são determinados através de aparelhos adequados em forma de peso ou volume; sólidos sedimentáveis, que em determinadas condições afundam, sendo seu resultado apresentado como volume (ml/L) mais o tempo de formação; e sólidos não sedimentáveis, que não são sujeitos nem à flotação nem à sedimentação.

### Temperatura

A temperatura da água é um fator que influencia a grande maioria dos processos físicos, químicos e biológicos na água como, por exemplo, a solubilidade dos gases dissolvidos. Uma elevada temperatura diminui a solubilidade dos gases como, por exemplo, do oxigênio dissolvido, além de aumentar a taxa de transferência de gases, o que pode gerar mau cheiro, no caso da liberação de compostos com odores desagradáveis. Os organismos aquáticos possuem limites de tolerância térmica superior e inferior, temperaturas ótimas para crescimento, temperatura preferencial em gradientes térmicos e limitações de temperatura para migração, desova e incubação do ovo. As variações de temperatura fazem parte do regime climático normal e corpos de água naturais apresentam variações sazonais e diurnas, bem como estratificação vertical.

### Turbidez

A turbidez representa o grau de interferência com a passagem da luz através da água, conferindo uma aparência turva à mesma. A turbidez tem como origem natural a presença de matéria em suspensão como partículas de rocha, argila, silte, algas e outros microrganismos e

como fonte antropogênica os despejos domésticos, industriais e a erosão. A alta turbidez reduz a fotossíntese da vegetação enraizada submersa e das algas. Esse desenvolvimento reduzido de plantas pode, por sua vez, suprimir a produtividade de peixes. Logo, a turbidez pode influenciar nas comunidades biológicas aquáticas.

## **Parâmetros Químicos**

### Cloretos

As águas naturais, em menor ou maior escala, contêm íons resultantes da dissolução de minerais. Os íons cloretos são advindos da dissolução de sais. Um aumento no teor desses ânions na água é indicador de uma possível poluição por esgotos (através de excreção de cloreto pela urina) ou por despejos industriais, e acelera os processos de corrosão em tubulações de aço e de alumínio, além de alterar o sabor da água.

### Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)

É definida como a quantidade de oxigênio necessária para oxidar a matéria orgânica biodegradável sob condições aeróbicas, isto é, avalia a quantidade de oxigênio dissolvido, em mg/L, que será consumida pelos organismos aeróbios ao degradarem a matéria orgânica. Um período de tempo de 5 dias numa temperatura de incubação de 20° C é freqüentemente usado e referido como DBO<sub>5,20</sub>. Os maiores aumentos em termos de DBO em um corpo de água são provocados por despejos de origem predominantemente orgânica. A presença de um alto teor de matéria orgânica pode induzir à completa extinção do oxigênio na água, provocando o desaparecimento de peixes e outras formas de vida aquática. Um elevado valor da DBO pode indicar um incremento da micro-flora presente e interferir no equilíbrio da vida aquática, além de produzir sabores e odores desagradáveis e, ainda, poder obstruir os filtros de areia utilizados nas estações de tratamento de água.

### Demanda Química de Oxigênio (DQO)

É a quantidade de oxigênio necessária para oxidar a matéria orgânica através de um agente químico. Os valores da DQO normalmente são maiores que os da DBO, sendo o teste realizado num prazo menor e em primeiro lugar, orientando o teste da DBO. A análise da DQO é útil para detectar a presença de substâncias resistentes à degradação biológica. O aumento da concentração da DQO num corpo de água se deve principalmente a despejos de origem industrial.

### Fósforo Total

O fósforo é originado naturalmente da dissolução de compostos do solo e da decomposição da matéria orgânica. O aporte antropogênico é oriundo dos despejos

domésticos e industriais, além de detergentes, excrementos de animais e fertilizantes. A presença de fósforo nos corpos de água desencadeia o desenvolvimento de algas ou de plantas aquáticas indesejáveis, principalmente em reservatórios ou corpos de água parada.

#### Série de Nitrogênio (amônia, nitrato, nitrito e nitrogênio orgânico)

O nitrogênio pode ser encontrado na água nas formas de nitrogênio orgânico, amoniacal, nitrato e nitrito. A forma do nitrogênio predominante é um indicativo do período da poluição dos corpos hídricos. Resultados de análise da água com alteração de nitrogênio nas formas predominantemente reduzidas (nitrogênio orgânico e amoniacal) indicam que a fonte de poluição encontra-se próxima, ou seja, caracteriza-se por uma poluição recente, enquanto que a prevalência da forma oxidada (nitrato e nitrito) sugere que a fonte de contaminação esteja distante do ponto de coleta, sendo a poluição, portanto, remota. Nas zonas de autodepuração natural dos rios, observa-se a presença de nitrogênio orgânico na zona de degradação, nitrogênio amoniacal na zona de decomposição ativa, nitrito na zona de recuperação e nitrato na zona de águas limpas. A disponibilização do nitrogênio para o meio ambiente pode ocorrer de forma natural através de constituintes de proteínas, clorofila e compostos biológicos. As fontes antrópicas estão associadas aos despejos domésticos e industriais, excrementos de animais e fertilizantes. O nitrogênio é um elemento de destaque para a produtividade da água, pois contribui para o desenvolvimento do fito e zooplâncton. Como nutriente é exigido em grande quantidade pelas células vivas. Entretanto, o seu excesso em um corpo de água provoca o enriquecimento do meio e, conseqüentemente, o crescimento exagerado dos organismos, favorecendo a eutrofização.

#### Nitrogênio Orgânico

Está presente na água em forma de suspensão e é oriundo principalmente de fontes biogênicas (bactérias, plâncton, húmus, proteínas e intermediários de processos de decomposição). O nitrogênio orgânico, não apresenta efeitos tóxicos, todavia podem surgir preocupações de ordem higiênica.

#### Nitrogênio Amoniacal Total (amônia)

É uma substância tóxica não persistente e não cumulativa. Em baixas concentrações, como é comumente encontrada, não causa nenhum dano fisiológico aos seres humanos e animais. Por outro lado, grandes quantidades de amônia podem causar sufocamento de peixes. Como fontes de contribuição de nitrogênio amoniacal destacam-se o lançamento de efluentes domésticos e industriais químicos, petroquímicos, siderúrgicos, farmacêuticos, alimentícios, matadouros, frigoríficos e curtumes.

#### Nitrato

É a principal forma de nitrogênio encontrada nas águas. Concentrações de nitrato superiores a 10mg/L, conforme determinado pela Portaria 518/2004, do Ministério da Saúde, demonstram condições sanitárias inadequadas, pois as principais fontes de nitrogênio nitrato são dejetos humanos e animais. Os nitratos estimulam o desenvolvimento de plantas, sendo que organismos aquáticos, como algas, florescem na presença destes e, quando em elevadas concentrações em lagos e represas, pode conduzir a um crescimento exagerado, processo denominado de eutrofização. Em grandes quantidades o nitrato contribui como causa da metaemoglobinemia (síndrome do bebê azul).

#### Nitrito

É uma forma química do nitrogênio normalmente encontrada em quantidades diminutas nas águas superficiais, pois o nitrito é instável na presença do oxigênio, ocorrendo como uma forma intermediária. O íon nitrito pode ser utilizado pelas plantas como uma fonte de nitrogênio. A presença de nitritos em água indica processos biológicos ativos influenciados por poluição orgânica. A indústria também disponibiliza o nitrito através das unidades de decapagem e da têmpera.

#### Oxigênio Dissolvido (OD)

Essencial à manutenção dos seres aquáticos aeróbios, a concentração de oxigênio dissolvido na água varia segundo a temperatura e a altitude, sendo a sua introdução condicionada pelo ar atmosférico, a fotossíntese e a ação dos aeradores. O oxigênio dissolvido é essencial para a manutenção de processos de autodepuração em sistemas aquáticos naturais e estações de tratamento de esgotos. Durante a estabilização da matéria orgânica, as bactérias fazem uso do oxigênio nos seus processos respiratórios, podendo vir a causar uma redução de sua concentração no meio. Através da medição do teor de oxigênio dissolvido, os efeitos de resíduos oxidáveis sobre águas receptoras e a eficiência do tratamento dos esgotos durante a oxidação bioquímica, podem ser avaliados. Os níveis de oxigênio dissolvido também indicam a capacidade de um corpo de água natural em manter a vida aquática. O oxigênio proveniente da atmosfera dissolve-se nas águas naturais, devido à diferença de pressão parcial. Este mecanismo é regido pela Lei de Henry, que define a concentração de saturação de um gás na água, em função da temperatura, no caso o oxigênio, a concentração de saturação de oxigênio em uma água superficial é igual 9,2 mg/L.

#### Potencial Hidrogeniônico (pH)

O pH define o caráter ácido, básico ou neutro de uma solução aquosa. Sua origem natural está associada à dissolução de rochas, absorção de gases da atmosfera, oxidação da

matéria orgânica e a fotossíntese, enquanto sua origem antropogênica está relacionada aos despejos domésticos e industriais. Os organismos aquáticos estão geralmente adaptados às condições de neutralidade e, em consequência, alterações bruscas do pH de uma água afetam as taxas de crescimento de microorganismos e podem resultar no desaparecimento dos organismos presentes na mesma. Os valores fora das faixas recomendadas podem alterar o sabor da água e contribuir para corrosão do sistema de distribuição de água, ocorrendo, assim, uma possível extração do ferro, cobre, chumbo, zinco e cádmio e dificultar a descontaminação das águas.

#### Arsênio (As)

Devido às suas propriedades semi-metálicas, o arsênio é utilizado em metalurgia como um metal aditivo. A adição de cerca de 2% de arsênio ao chumbo permite melhorar a sua esfericidade, enquanto 3% de arsênio numa liga à base de chumbo melhoram as propriedades mecânicas e aperfeiçoam o seu comportamento às elevadas temperaturas. Pode também ser adicionado em pequenas quantidades às grelhas de chumbo das baterias para aumentar a sua rigidez. O arsênio, quando muito puro, é utilizado na tecnologia de semicondutores, para preparar arsenieto de gálio. Este composto é utilizado na fabricação de diodos, LEDs, transistores e lasers. A toxicidade do arsênio depende do seu estado químico. Enquanto o arsênio metálico e o sulfeto de arsênio são praticamente inertes, o gás  $AsH_3$  é extremamente tóxico. De um modo geral, os compostos de arsênio são perigosos, principalmente devido aos seus efeitos irritantes na pele. A toxicidade destes compostos se deve, principalmente, à ingestão e não à inalação, embora cuidados de ventilação em ambientes industriais que usem compostos de arsênio sejam necessários.

#### Bário (Ba)

Em geral, ocorre nas águas naturais em baixas concentrações, variando de 0,7 a  $900\mu g.L^{-1}$ . É normalmente utilizado nos processos de produção de pigmentos, fogos de artifício, vidros e praguicidas.

#### Cádmio (Cd)

O cádmio possui uma grande mobilidade em ambientes aquáticos, é bioacumulativo, isto é, acumula-se em organismos aquáticos, podendo entrar na cadeia alimentar, e é persistente no ambiente. Está presente em águas doces em concentrações-traço, geralmente inferiores a  $1\mu g.L^{-1}$ . Pode ser liberado para o ambiente através da queima de combustíveis fósseis e é utilizado na produção de pigmentos, baterias, soldas, equipamentos eletrônicos, lubrificantes, acessórios fotográficos, praguicidas etc. É um subproduto da mineração do zinco. O elemento e seus compostos são considerados potencialmente carcinogênicos e

podem ser fatores para vários processos patológicos no homem, incluindo disfunção renal, hipertensão, arteriosclerose, doenças crônicas em idosos e câncer. A principal via de exposição para a população não exposta ocupacionalmente ao cádmio e não fumante é a oral. A ingestão de alimentos ou água contendo altas concentrações de cádmio causa irritação no estômago, levando ao vômito, diarreia e, às vezes, morte. Na exposição crônica o cádmio pode danificar os rins. No Japão, na década de 60, a contaminação da água que irrigava as plantações de arroz causou a doença conhecida como “Itai-Itai”, caracterizada por extrema dor generalizada, dano renal e fragilidade óssea. Experimentos com animais demonstram que o metal produz efeitos tóxicos em vários órgãos, como fígado, rins, pulmão e pâncreas. É um metal que se acumula em organismos aquáticos, possibilitando sua entrada na cadeia alimentar. O padrão de potabilidade fixado pela Portaria no. 518 é de  $0,005 \text{ mg.L}^{-1}$ .

### Chumbo (Pb)

Em sistemas aquáticos, o comportamento dos compostos de chumbo é determinado principalmente pela hidrossolubilidade. Teores de chumbo acima de  $0,1 \text{ mg.L}^{-1}$  inibem a oxidação bioquímica de substâncias orgânicas e são prejudiciais para os organismos aquáticos inferiores. Concentrações de chumbo entre  $0,2$  e  $0,5 \text{ mg.L}^{-1}$  empobrecem a fauna e, a partir de  $0,5 \text{ mg.L}^{-1}$ , inibem a nitrificação na água, afetando a ciclagem do nitrogênio. A queima de combustíveis fósseis é uma das principais fontes de chumbo, além da sua utilização como aditivo anti-impacto na gasolina. Este metal é uma substância tóxica cumulativa e uma intoxicação crônica pode levar a uma doença denominada saturnismo, que ocorre, na maioria das vezes, em trabalhadores expostos em sua ocupação. Outros sintomas de uma exposição crônica ao chumbo, quando o sistema nervoso central é afetado, são tonturas, irritabilidade, dor de cabeça, perda de memória, entre outros. Quando o efeito ocorre no sistema periférico, o sintoma é a deficiência dos músculos extensores. A toxicidade do chumbo, quando aguda, é caracterizada por sede intensa, sabor metálico, inflamação gastrointestinal, vômitos e diarreias. O chumbo raramente é encontrado na água de torneira, exceto quando os encanamentos são à base de chumbo, ou soldas, acessórios ou outras conexões. A exposição da população em geral ocorre principalmente por ingestão de alimentos e bebidas contaminados. As doses letais para peixes variam de  $0,1$  a  $0,4 \text{ mg.L}^{-1}$ , embora alguns resistam até  $10 \text{ mg.L}^{-1}$  em condições experimentais.

### Cobre (Cu)

A disponibilização de cobre para o meio ambiente ocorre através da corrosão de tubulações de latão por águas ácidas, efluentes de estações de tratamento de esgotos, uso de compostos de cobre como algicidas aquáticos, escoamento superficial e contaminação da água

subterrânea devido a usos agrícolas do cobre como fungicida e pesticida no tratamento de solos e efluentes, além de precipitação atmosférica de fontes industriais. As principais fontes industriais são as minerações, fundições, refinarias de petróleo e têxteis. No homem, a ingestão de doses excessivamente altas pode acarretar em irritação e corrosão de mucosas, danos capilares generalizados, problemas hepáticos e renais e irritação do sistema nervoso central seguido de depressão. O cobre ocorre naturalmente em todas as plantas e animais e é um nutriente essencial em baixas doses. Estudos indicam que uma concentração de  $20 \text{ mg.L}^{-1}$  de cobre ou um teor total de  $100 \text{ mg.L}^{-1}$  por dia na água é capaz de produzir intoxicações no homem, com lesões no fígado. Concentrações acima de  $2,5 \text{ mg.L}^{-1}$  transmitem sabor amargo à água; acima de  $1 \text{ mg.L}^{-1}$  produz coloração em louças e sanitários. Para peixes, muito mais que para o homem, as doses elevadas de cobre são extremamente nocivas. Concentrações de  $0,5 \text{ mg.L}^{-1}$  são letais para trutas, carpas, bagres, peixes vermelhos de aquários ornamentais e outros. Os micro-organismos morrem em concentrações acima de  $1,0 \text{ mg.L}^{-1}$

#### Cromo (Cr)

O cromo está presente nas águas nas formas tri (III) e hexavalente (VI). Na forma trivalente, o cromo é essencial ao metabolismo humano e sua carência causa doenças. Já na forma hexavalente, é tóxico e cancerígeno. Atualmente, os limites máximos são estabelecidos basicamente em função do cromo total. Os organismos aquáticos inferiores podem ser prejudicados por concentrações de cromo acima de  $0,1 \text{ mg.L}^{-1}$  enquanto o crescimento de algas já está sendo inibido no âmbito de teores de cromo entre  $0,03$  e  $0,032 \text{ mg.L}^{-1}$ . O cromo, como outros metais, acumula-se nos sedimentos. É comumente utilizado em aplicações industriais e domésticas, como na produção de alumínio anodizado, aço inoxidável, tintas, pigmentos, explosivos, papel e fotografia. O cromo é utilizado na produção de ligas metálicas, estruturas da construção civil, fertilizantes, tintas, pigmentos, curtumes, preservativos para madeira, entre outros usos. A maioria das águas superficiais contem entre  $1$  e  $10 \mu\text{g.L}^{-1}$  de cromo. A concentração do metal na água subterrânea geralmente é baixa ( $< 1 \mu\text{g.L}^{-1}$ ). A Portaria 518 estabelece um valor máximo permitido de  $0,05 \text{ mg.L}^{-1}$  de cromo na água potável.

#### Ferro (Fe)

Em quantidade adequada, este metal é essencial ao sistema bioquímico das águas, podendo, em grandes quantidades, se tornar nocivo, dando sabor e cor desagradáveis à água, além de elevar a dureza, tornando-a inadequada ao uso doméstico e industrial. No tratamento de águas para abastecimento, deve-se destacar a influência da presença de ferro na etapa de coagulação e floculação. As águas que contêm ferro caracterizam-se por apresentar cor elevada e turbidez baixa. Os flocos formados geralmente são pequenos, ditos “pontuais”, com



velocidades de sedimentação muito baixa. Em muitas estações de tratamento de água, este problema só é resolvido mediante a aplicação de cloro, denominada de pré-cloração. Através da oxidação do ferro pelo cloro, os flocos tornam-se maiores e a estação passa a apresentar um funcionamento aceitável. No entanto, é conceito clássico que, por outro lado, a pré-cloração de águas deve ser evitada, pois em caso da existência de certos compostos orgânicos chamados precursores, o cloro reage com eles formando trihalometanos, associados ao desenvolvimento do câncer.

#### Manganês (Mn)

O manganês aparece, normalmente, da dissolução de compostos do solo e dos despejos industriais.. Sua presença, em quantidades excessivas, é indesejável em mananciais de abastecimento público devido ao seu efeito no sabor, no tingimento de instalações sanitárias, no aparecimento de manchas nas roupas lavadas e no acúmulo de depósitos em sistemas de distribuição. A água potável contaminada com manganês pode causar a doença denominada manganismo, com sintomas similares aos vistos em mineradores de manganês ou trabalhadores de plantas de aço.

#### Níquel (Ni)

O níquel é o 24º metal em abundância no meio ambiente, tendo sua ocorrência distribuída em vários minerais em diferentes formas. Ele está presente na superfície associado ao enxofre, ácido silícico, arsênio ou antimônio. A maior contribuição de níquel para o meio ambiente, através da atividade humana, é a queima de combustíveis fósseis. Além disso, as principais fontes são as atividades de mineração e fundição do metal, fusão e modelagem de ligas, indústrias de eletrodeposição e as fontes secundárias, como a fabricação de alimentos, produtos de panificadoras, refrigerantes e sorvetes aromatizados. Doses elevadas de níquel podem causar dermatites nos indivíduos mais sensíveis e afetar nervos cardíacos e respiratórios. Na água potável, a concentração do metal normalmente é menor que 0,02 mg. L-1, embora a liberação de níquel de torneiras e acessórios possa contribuir para valores acima de 1 mg L-1, acumulando-se no sedimento, em musgos e plantas aquáticas superiores. A principal via de exposição para a população, não fumante, é o consumo de alimentos. A ingestão de elevadas doses de sais causa irritação gástrica. O efeito adverso mais comum da exposição ao níquel é uma reação alérgica; cerca de 10 a 20% da população é sensível ao metal.

#### Zinco (Zn)

O zinco é oriundo de processos naturais e antropogênicos, dentre os quais se destacam produção de zinco primário, combustão de madeira, incineração de resíduos, siderurgias,

cimento, concreto, cal e gesso, indústrias têxteis, termoelétricas e produção de vapor, além dos efluentes domésticos. Alguns compostos orgânicos de zinco são aplicados como pesticidas. Quando disponível no ambiente aquático, acumula-se nos sedimentos. Na forma residual não é acessível para os organismos, entretanto, pode ser remobilizado do sedimento através de formadores de complexos. Por ser um elemento essencial para o ser humano, o zinco só se torna prejudicial à saúde quando ingerido em concentrações muito altas, podendo causar perturbações do trato gastrointestinal, irritações na pele, olhos e mucosas, deterioração dentária e câncer nos testículos. O zinco é um elemento essencial ao corpo humano em pequenas quantidades. A atividade da insulina e diversos compostos enzimáticos dependem da sua presença. O zinco só se torna prejudicial à saúde quando ingerido em concentrações muito elevadas, o que é extremamente raro, e, neste caso, pode acumular-se em outros tecidos do organismo humano. Nos animais, a deficiência em zinco pode conduzir ao atraso no crescimento. O valor máximo permitido de zinco na água potável é de 5 mg.L<sup>-1</sup>. A água com elevada concentração de zinco tem aparência leitosa e produz um sabor metálico ou adstringente quando aquecida.

## **Parâmetros Microbiológicos**

### Coliformes Totais

Conforme Portaria n° 518/2004 o grupo de coliformes totais é definido como bacilos gram-negativos, aeróbios ou anaeróbios facultativos, não formadores de esporos, oxidase negativos, capazes de desenvolver na presença de sais biliares ou agentes tensoativos que fermentam a lactose com produção de ácidos, gás e aldeídos a  $35,0 \pm 0,5^\circ\text{C}$  em 24-48 horas, e que podem apresentar atividade da enzima  $\beta$  - galactosidase. O grupo de coliformes totais constitui-se em um grande grupo de bactérias que têm sido isoladas de amostras de águas e solos poluídos e não poluídos, bem como em fezes de seres humanos e outros animais de sangue quente.

### Coliformes termo tolerantes

Segundo a Portaria 518/2004 do Ministério da Saúde, os coliformes termotolerantes são subgrupo das bactérias do grupo coliforme que fermentam a lactose a  $44,5 \pm 0,2^\circ\text{C}$  em 24 horas. As bactérias do grupo coliforme são alguns dos principais indicadores de contaminações fecais, originadas do trato intestinal humano e de outros animais. Essas bactérias reproduzem-se ativamente a  $44,5^\circ\text{C}$  e são capazes de fermentar o açúcar. A determinação da concentração dos coliformes assume importância como parâmetro indicativo

da possibilidade de existência de microorganismos patogênicos, responsáveis pela transmissão de doenças de veiculação hídrica, tais como febre tifóide, febre paratifóide, disenteria bacilar e cólera.

#### **4.6 Arcabouço legal sobre recursos hídricos no Brasil.**

Antes de discorrer sobre algumas normas que tratam da gestão dos recursos hídricos, cabe uma reflexão sobre o documento elaborado pela ONU em 22 de março de 1992 - intitulado "**Declaração Universal dos Direitos da Água**", texto que embasa muitas das normas legais que versam sobre este tema.

Ei-la:

- ✓ A água faz parte do patrimônio do planeta. Cada continente, cada povo, cada nação, cada região, cada cidade, cada cidadão, é plenamente responsável aos olhos de todos.
- ✓ A água é a seiva de nosso planeta. Ela é condição essencial de vida de todo vegetal, animal ou ser humano. Sem ela não poderíamos conceber como são a atmosfera, o clima, a vegetação, a cultura ou a agricultura
- ✓ Os recursos naturais de transformação da água em água potável são lentos, frágeis e muito limitados. Assim sendo, a água deve ser manipulada com racionalidade, precaução e parcimônia.
- ✓ O equilíbrio e o futuro de nosso planeta dependem da preservação da água e de seus ciclos. Estes devem permanecer intactos e funcionando normalmente para garantir a continuidade da vida sobre a Terra. Este equilíbrio depende em particular, da preservação dos mares e oceanos, por onde os ciclos começam.
- ✓ A água não é somente herança de nossos predecessores; ela é, sobretudo, um empréstimo aos nossos sucessores. Sua proteção constitui uma necessidade vital, assim como a obrigação moral do homem para com as gerações presentes e futuras.
- ✓ A água não é uma doação gratuita da natureza; ela tem um valor econômico: precisa-se saber que ela é, algumas vezes, rara e dispendiosa e que pode muito bem escassear em qualquer região do mundo.
- ✓ A água não deve ser desperdiçada, nem poluída, nem envenenada. De maneira geral, sua utilização deve ser feita com consciência e discernimento para que não se chegue a uma situação de esgotamento ou de deterioração da qualidade das reservas atualmente disponíveis.
- ✓ A utilização da água implica o respeito à lei. Sua proteção constitui uma obrigação jurídica para todo homem ou grupo social que a utiliza. Esta questão não deve ser

ignorada nem pelo homem nem pelo Estado.

- ✓ A gestão da água impõe um equilíbrio entre os imperativos de sua proteção e as necessidades de ordem econômica, sanitária e social.
- ✓ O planejamento da gestão da água deve levar em conta a solidariedade e o consenso em razão de sua distribuição desigual sobre a Terra.

Embora, somente na última década, os recursos hídricos tenham despertado maior atenção na esfera governamental pátria, o Brasil possui há décadas, normas legais e órgãos destinados a promover seu gerenciamento e tutela. Tão importante quanto o recurso é para a humanidade, também é o conhecimento e difusão dos meios legais e institucionais para sua proteção, recuperação e gestão.

#### **4.6.1 Evolução legal**

A normatização e a institucionalização evoluíram de acordo com as necessidades, interesses e objetivos de cada época. Neste contexto, verifica-se que as primeiras constituições brasileiras tutelaram os recursos hídricos para assegurar os direitos de navegação e pesca, tendo em vista a relevância econômica destas atividades para o país.

A partir da segunda metade do século XX, o desenvolvimento econômico acelerado sinalizou que a água passaria a ser utilizada de forma mais intensa e diversificada. Em 1934, nasce o Código de Águas devidamente regulamentado, passou a tutelar os recursos hídricos visando assegurar a produção energética.

A seguir algumas considerações sobre as normas legais que contribuíram de forma importante para gestão de recursos hídricos no Brasil.

##### I. Código de Águas, de 10/07/1934

O Código de Águas, objeto de decreto, em 10/07/1934, é o marco legal do gerenciamento dos recursos hídricos no Brasil, considerando que as constituições anteriores e demais normas legislaram sobre outros aspectos, tais como: domínio, propriedade e competências legislativas. Importante salientar que, apesar da edição de normas posteriores o mesmo ainda encontra-se vigente,

O Código estabeleceu uma política hídrica bastante moderna e complexa para a época, abrangendo vários aspectos, tais como: aplicação de penalidades, propriedade, domínio, aproveitamento das águas, navegação, força hidráulica e seu aproveitamento, concessões e autorizações, fiscalização, relações com o solo e sua propriedade, desapropriação, derivações e desobstrução (Granziera 2001). Considerado mundialmente como uma das mais completas

leis de águas já produzidas, cujos princípios nele constantes são invocados em diversos países como modelos a serem seguidos em legislações modernas, salientando-se, por exemplo, o princípio poluidor-pagador, introduzido na Europa como novidade na década de 70 (Pompeu 2002).

Muitos dos instrumentos de proteção, conservação e recuperação das águas previstas pelo Código de Águas e não implementados, foram adotados décadas mais tarde, por outras legislações brasileiras. É o caso da responsabilização penal, civil e administrativa, aplicada conjunta e independentemente ao mesmo crime, princípios do poluidor-pagador e usuário-pagador.

O princípio do usuário-pagador também estava previsto no Código de Águas, ainda que implicitamente. A cobrança, ou seja, o uso retribuído pela utilização das águas constitui-se num instrumento de fundamental importância para a gestão dos recursos hídricos nos aspectos quantitativos e qualitativos. Porém, como as demais medidas para a preservação, conservação e recuperação, esta tampouco foi implementada. A necessidade da cobrança, não se justifica pelo aspecto financeiro, proporcionando investimentos no setor, mas pela conscientização do valor econômico dos recursos naturais, difundindo a imprescindibilidade do uso racional.

Antevendo o uso intensivo dos recursos hídricos por várias atividades, o Código de Águas, em seu artigo 43 e seguintes, instituiu o regime de outorgas. Outorgar é "consentir, aprovar e conceder" (Granzieira 2001). O regime de outorga tem por objetivo administrar e controlar o uso dos recursos hídricos, garantindo sua disponibilidade aos inúmeros usuários, atuais e futuros, ou seja, visa à sustentabilidade hídrica.

O referido Código também disciplinou, de modo superficial, sobre as águas subterrâneas. Posteriormente, o Código de Mineração classificou-as como jazida determinando que se regeriam por lei especial.

## II. Código Florestal, de 15/09/1965

O Código Florestal, instituído pela Lei 4.771, de 15/09/1965, vem sendo alterado por sucessivas leis ordinárias e medidas provisórias. Em seu artigo 2º, ainda vigente, o referido Código concedeu *status* de área de preservação permanente para as mata ciliares, sendo estas as florestas e demais formas de vegetação natural, situadas ao longo dos rios ou de qualquer curso d'água a partir do seu nível mais alto, em faixa marginal, com larguras variáveis, dependendo da largura do rio. As matas ciliares são muito importantes para a conservação e

preservação dos recursos hídricos, tendo em vista que atuam como filtros, prevenindo a erosão do solo e assoreamento dos corpos d'água.

### III. Política Nacional do Meio Ambiente, de 31/08/1981

A Política Nacional do Meio Ambiente – PNMA foi instituída pela Lei 6.938 que posteriormente foi alterada pela Lei 7.804, de 18/07/1989. Considerada uma das regulamentações ambientais brasileiras mais importantes (Drummond 1999), seus princípios, inscritos no artigo 2º, têm profundas implicações na proteção jurídica das águas, quais sejam:

- i. Ação governamental na manutenção do equilíbrio ecológico;
- ii. Uso racional do solo, subsolo, da água e do ar;
- iii. Planejamento e fiscalização do uso dos recursos naturais;
- iv. Proteção dos ecossistemas;
- v. Controle e zoneamento das atividades potencial ou efetivamente poluidoras;
- vi. Incentivos ao estudo e à pesquisa de tecnologias orientadas para o uso racional e à proteção dos recursos naturais;
- vii. Acompanhamento ambiental do estado da qualidade ambiental;
- viii. recuperação das áreas degradadas;
- ix. Proteção das áreas ameaçadas de degradação;
- x. Educação ambiental.

A norma objetiva compatibilizar o desenvolvimento econômico-social com a preservação da qualidade do meio ambiente; estabelecer critérios e padrões da qualidade ambiental; e ainda, definir normas relativas ao uso e manejo sustentável dos recursos ambientais. Resgatou do Código de Águas os princípios "usuário-pagador" e "poluidor-pagador". Criou novas áreas ambientalmente protegidas, ou seja, as reservas ecológicas e as áreas de relevante interesse ecológico. Especificamente em relação ao setor hídrico, delegou ao CONAMA "estabelecer normas, critérios e padrões relativos ao controle e à manutenção da qualidade do meio ambiente com vistas ao uso racional dos recursos ambientais, principalmente os hídricos".

### IV. Constituição Federal, de 05/10/1988

As profundas alterações ocorridas na sociedade, na economia e no meio ambiente no século XX, tornaram indispensável à implementação de instrumentos de proteção, conservação e recuperação dos recursos naturais. Em razão disto a CF/88 destinou um

capítulo exclusivo ao meio ambiente. Uma das inovações mais relevantes, conferidas por esta Carta, foi extinguir o domínio privado das águas existentes no território brasileiro.

A citada constituição demarcou as competências legislativas, delegando à União, a competência para legislar sobre águas e energia.

Aos Estados, foi definida a competência para legislar sobre o aproveitamento e utilização dos recursos hídricos de seu domínio. Define como competência concorrente da União, Estados e do Distrito Federal para legislar sobre "florestas, caça, pesca, fauna, conservação da natureza, defesa do solo e dos recursos naturais, proteção do meio ambiente e controle da poluição". Num primeiro momento, as competências parecem conflitantes e confusas, mas não o são. Pois, à União, cabe legislar sobre o Direito de Águas, enquanto que aos Estados e Distrito Federal cabe legislar sobre as normas meramente administrativas, ou seja, que se destinam à gestão dos recursos de seu domínio e em combate à poluição. Portanto, sendo-lhes vedado criar, alterar ou extinguir direitos, ou seja, legislar sobre o Direito de Águas (Pompeu 2002).

A CF/88 também ampliou o domínio estadual concedendo-lhe o domínio das águas subterrâneas que anteriormente não tinham titular definido. A partir de então, pertencem aos Estados, além dos bens que já lhe pertenciam: as águas superficiais ou subterrâneas, fluentes, emergentes e em depósito (Granzieira 2001).

O domínio hídrico da União permaneceu inalterado, ou seja, continuam sendo bens da União: os lagos, rios, quaisquer correntes de água em terrenos de seu domínio, ou que banhem mais de um Estado, sirvam de limites com outros países, ou se estendam a território estrangeiro ou deles provenham, bem como os terrenos marginais e as praias fluviais.

Para o sucesso de uma política pública é indispensável que a legislação esteja dotada de instrumentos eficazes para promover sua implementação, neste sentido, a CF/88, delegou à União instituir o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SNGRH) e definiu critérios de outorga de direitos de seu uso que foi criado somente em 08/01/1997, com a edição da Lei 9.433/1997.

#### V. Lei 9.433, de 08/01/1997

Lei 9.433/1997 instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos - PNRH e criou o Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos – SNGRH.

A PNRH não é apenas uma lei disciplinadora do uso e gestão dos recursos hídricos, mas sim um instrumento inovador destinado e apto a promover a sustentabilidade hídrica.

São fundamentos da PNRH:

- i. A água é um bem de domínio público;
- ii. A água é um recurso natural limitado, dotado de valor econômico;
- iii. Em situações de escassez, o uso prioritário dos recursos hídricos é o consumo humano e a dessedentação de animais;
- iv. A gestão dos recursos hídricos deve sempre proporcionar o uso múltiplo das águas;
- v. A bacia hidrográfica é a unidade territorial para a implementação da PNRH e atuação do SNGRH;
- vi. A gestão dos recursos hídricos deve ser descentralizada e contar com a participação do Poder Público, dos usuários e das comunidades.

Embora a renovação da água seja cíclica, sua disponibilidade torna-se limitada e insuficiente para atender a demanda, haja vista o incremento da atividade antrópica que sucessivamente vem degradando as condições naturais de sua renovação, como também devido ao incremento populacional que por sua vez provoca a elevação da demanda hídrica em escala exponencial.

Por ser essencial à vida, um dos pilares da PNRH é a gestão dos recursos hídricos visando os usos múltiplos, adotando a bacia hidrográfica como unidade de planejamento e implantação dessa política e não as fronteiras administrativas e políticas dos entes federados. Além disso, adotou como um de seus fundamentos a gestão descentralizada e participativa por meio dos Comitês de bacia que promovem o debate das questões relacionadas a recursos hídricos e articulam a atuação das entidades intervenientes; arbitram em primeira instância os conflitos relacionados aos recursos hídricos, aprovam e acompanham a execução do plano de recursos hídricos da bacia, estabelecendo mecanismos de cobrança e sugerindo os valores a serem cobrados, dentre outras. Os comitês não podem adquirir direitos e contrair obrigações, assim sendo, as Agências de Água ou também denominadas de Agências de Bacia foram criadas, cuja função executiva que consiste em executar a cobrança pelo uso dos recursos hídricos e fornecer apoio técnico, financeiro e administrativo, enquanto que aos comitês compete a tarefa normativa – legislativa.

A PNRH condicionou a existência das Agências de Água, a existência prévia de um Comitê e a viabilidade financeira assegurada pela cobrança. Tem por objetivo promover a utilização sustentável dos recursos hídricos e a prevenção contra os eventos hidrológicos nocivos. Também prescreve as diretrizes gerais de ação que deverão nortear a gestão hídrica, as quais têm por escopo integrar e articular a gestão dos recursos hídricos com a gestão dos demais recursos naturais e do meio ambiente. Estabelece, ainda, que a gestão hídrica deve



ser realizada sem dissociação dos aspectos quantitativos e qualitativos, haja vista que o uso dos recursos hídricos afeta ambos os padrões.

São instrumentos da PNRH:

- ✓ Planos de recursos hídricos,
- ✓ Enquadramento dos corpos de água em classes segundo os usos preponderantes,
- ✓ Outorga dos direitos de uso dos recursos hídricos,
- ✓ Cobrança pelo uso dos recursos hídricos
- ✓ Sistema de informações sobre recursos hídricos.

#### VI. Resolução CONAMA No 357, de 17 de Março de 2005

Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes.

#### **4.6.2 Considerações**

Pode-se afirmar que os recursos hídricos sempre foram objeto da tutela legal, no Brasil, variando conforme o interesse econômico vislumbrado sobre o recurso: navegação pesca, hidroeletricidade.

A partir da década de 30, surgem os indícios da necessidade de uma gestão sustentável dos recursos hídricos, que culmina com a edição do Código de Águas. Embora vigente desde 1934, este se tornou inócuo na área destinada à gestão dos recursos hídricos, devido à primazia dos interesses econômicos – produção de energia hidráulica. Acrescenta-se ainda que, na época e até pouco tempo, os recursos hídricos eram tidos como de disponibilidade infinita, assim sendo julgava-se desnecessário o controle, planejamento, gerenciamento e racionalização do uso. Somente com o surgimento de conflitos reais em torno da quantidade e qualidade dos mananciais é que se impulsionou a edição das políticas estaduais e nacional de recursos hídricos, como também da reforma institucional do setor hídrico.

De um modo geral, os interesses econômicos e políticos têm primazia em detrimento dos ambientais e sociais. Entretanto, o histórico da legislação demonstra que o processo de implementação das políticas e estruturação dos sistemas estadual e nacional de recursos hídricos no Brasil vem ocorrendo, com avanços importantes fazendo vislumbrar um cenário mais promissor e sustentável.

## 5 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

### 5.1 Localização da área de estudo

O Rio das Velhas tem sua nascente principal na cachoeira das Andorinhas, Município de Ouro Preto, numa altitude de aproximadamente 1.500 m. Toda a bacia compreende uma área de 29.173 km<sup>2</sup>, onde estão localizados 51 municípios que abrigam uma população de aproximadamente 4,8 milhões de habitantes (destes, aproximadamente 89% residem em distritos e municípios integralmente inseridos na bacia), segundo os últimos dados estatísticos do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2000). O Rio das Velhas deságua no Rio São Francisco em barra do Guaicuí após quase 800 km, Distrito de Várzea da Palma, numa altitude de 478 m, com uma vazão média de 300 m<sup>3</sup>/s.

A bacia hidrográfica é dividida em trechos, segundo os cursos alto, médio e baixo (IGAM, 2007):

**Alto Rio das Velhas:** compreende toda a região denominada Quadrilátero Ferrífero, tendo o Município de Ouro Preto como o limite sul dessa região e os Municípios de Belo Horizonte, Contagem e Sabará como limite ao norte. Uma porção do Município de Caeté faz parte do alto rio das Velhas, tendo a Serra da Piedade como limite leste.

**Médio Rio das Velhas:** ao norte traça-se a linha de limite desse trecho da bacia coincidindo com o Rio Paraúna, o principal afluente do Rio das Velhas e, a partir de sua barra, segue-se para oeste, na mesma latitude do divisor de águas ao norte do córrego Salobinho, continuando pela linha divisória dos Municípios de Curvelo e Corinto.

**Baixo Rio das Velhas:** compreende, ao sul, a linha divisória entre os Municípios de Curvelo, Corinto, Monjolos, Gouveia e Presidente Kubitscheck e, ao norte, os Municípios de Buenópolis, Joaquim Felício, Várzea da Palma e Pirapora.

A densidade da rede de drenagem natural apresenta maior riqueza hidrográfica entre os afluentes da margem direita, fato associado às características geológicas da bacia. Apresenta regime de tipo pluvial, como, aliás, a quase totalidade dos rios brasileiros. No período de chuvas (outubro-março), verifica-se uma grande elevação no nível das águas (IGAM, 2007).

A bacia do Rio das Velhas caracteriza-se pela sua importância econômica, de grande diversidade, destacando seus bens minerais entre metálicos e não-metálicos, com importantes reservas minerais de ferro, manganês, cobre antimônio, arsênio, ouro, alumínio e urânio (alto

curso); exploração de calcário como matéria prima para a indústria de cimento e atividade agropecuária (médio curso); extração de areia em todo seu curso.

A diversidade e a tipologia de usos da água do Rio das Velhas impõem ao rio o decréscimo em sua qualidade, sobretudo após o recebimento das águas na região metropolitana de Belo Horizonte, revelado em seus Índices de Qualidade e Contaminação por tóxicos.

A bacia hidrográfica da Pampulha tem uma área de 97 km<sup>2</sup>, alimentada por 40 cursos d'água, distribuídos em oito sub-bacias principais, correspondentes aos tributários do ribeirão Pampulha. A Lagoa da Pampulha tem a finalidade de amortecer as enchentes nas áreas à jusante, além de proporcionar lazer à comunidade do entorno. A superfície da Lagoa da Pampulha (espelho d'água e ilhas) é de 2,7 km<sup>2</sup>, e a área de contribuição da orla é de 8,2 km<sup>2</sup> (CPRM 2001). Cerca de 60% da área da bacia estão localizados no município de Contagem, onde se localizam dois distritos industriais.

Os principais córregos da bacia hidrográfica da Pampulha são Sarandi e Ressaca, que juntos constituem o maior tributário, representando 70 % das águas que alimentam a represa. Ocupam uma área de 61,5 km<sup>2</sup> e recebem, além da poluição de fontes difusas, efluentes domésticos e industriais e resíduos sólidos, o que resulta em águas com elevada concentração de matéria orgânica e de nutrientes, que têm provocado a eutrofização da represa da Pampulha (Fig.5.1).

Os principais tributários da bacia Hidrográfica da Pampulha são (CPRM 2001):

- ✓ Córrego Baraúna: nasce na cota 850 m, em Belo horizonte, desaguando na Lagoa, após percorrer 2,5 km. Possui área de drenagem de 1,9 km<sup>2</sup>.
- ✓ Córrego AABB: nasce na cota 830 m, em Belo Horizonte em terreno da Associação Atlética do Banco do Brasil. Percorre apenas 0,9 km até desaguar na Lagoa. Área de drenagem: 1,2 km<sup>2</sup>
- ✓ Córrego Olhos d'Água: nasce na cota 850 m. em Belo Horizonte e possui comprimento de 3,1 km e área de drenagem de 2,9 km<sup>2</sup>.
- ✓ Córrego Água Funda: nasce na cota 920 m, em Contagem. Seu principal afluente é o córrego Bom Jesus, à margem direita. Percorre 8,2 km até desaguar na Lagoa. Área de drenagem: 16,8 km<sup>2</sup>.
- ✓ Córrego Sarandi: nasce na cota 940 m, em Contagem. Seus principais afluentes são: córregos Bitácula e Cabral, na margem esquerda e João Gomes, pela margem direita. Percorre 15 km até a confluência com o córrego Ressaca, posteriormente desaguando na Lagoa. Área de drenagem: 41,2 km<sup>2</sup>.

- ✓ Córrego Ressaca: nasce na cota 920 m, em Belo Horizonte. Percorre 8,8 km até a confluência com o córrego Sarandi. Seus principais afluentes são córregos Ipanema e do Coqueiro, pela margem esquerda, e Glória e Flor d'Água, pela margem direita. Área de drenagem: 20,6 km<sup>2</sup>.
- ✓ Córrego Tijuco: nasce na cota 830 m, em Belo Horizonte. Percorre 3,9 km até a Lagoa. Área de drenagem: 3,4 km<sup>2</sup>.

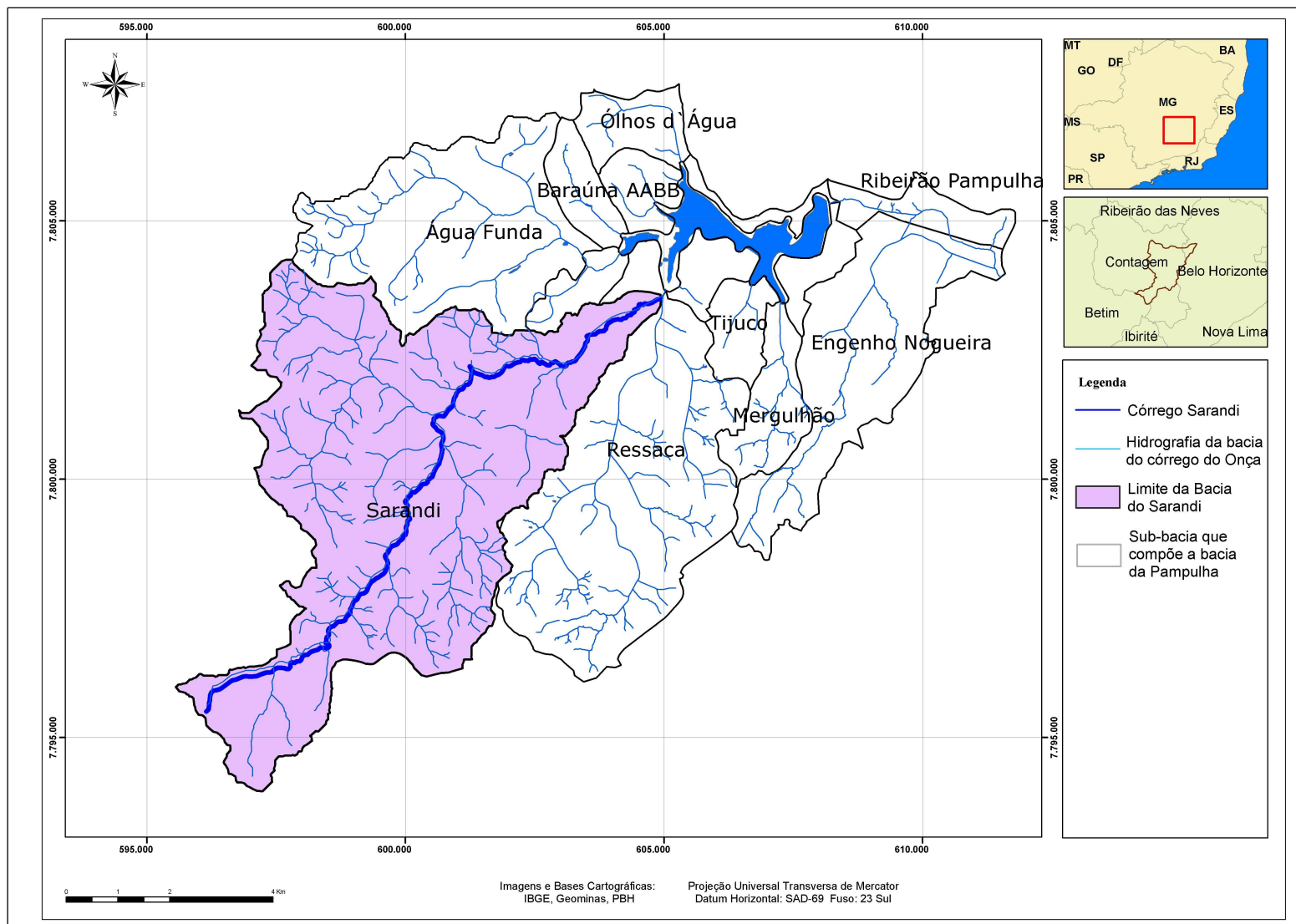


Figura 5.1 - Mapa das sub-bacias que compõem a Bacia hidrográfica da Pampulha. Fonte: CPRM (2001).

Esta bacia abriga a Lagoa da Pampulha, reservatório artificial construído na década de 30 e ampliado em 1943, no intuito de prover parte da cidade de Belo Horizonte de água potável e para recreação. Suas águas límpidas demarcaram seu potencial turístico e de lazer. Estes atributos, entretanto, em função da ocupação desordenada e crescente densidade populacional, foram dissipando-se ao longo do tempo pelos efeitos da degradação ambiental, consequência da falta de critérios rigorosos de ocupação e uso do solo nas áreas integrantes da bacia hidrográfica.

Atualmente, reside na bacia hidrográfica da Pampulha uma população de cerca de 350.000 pessoas, cujos esgotos ainda não se encontram totalmente coletados e interceptados. Estima-se que aproximadamente 50% desses efluentes ainda são lançados nos córregos, principalmente no Ressaca e no Sarandi. Com o programa “Caça esgotos”, implementado pela COPASA (Companhia de Saneamento de Minas Gerais), avanços têm sido alcançados na redução dos impactos dessa fonte de poluição pontual, por meio do aumento dos índices de coleta e interceptação, tanto dos esgotos domésticos, quanto dos efluentes industriais. Porém, pouco se tem avançado no controle das fontes de poluição difusas, tendo em vista as dificuldades de diagnóstico e a complexidade dessa ação. Assim sendo, diversos poluentes, principalmente nutrientes e sedimentos, ainda são carregados para a represa da Pampulha, oriundos dessas fontes, com destaque para as drenagens pluviais de áreas urbanizadas, as erosões e os lançamentos de resíduos sólidos nos cursos d’água e em bota-foras clandestinos. Ações outras, como modificações nos leitos dos córregos, dragagens, terraplenagens, desmatamentos das encostas, das matas ciliares e das áreas de nascentes são também responsáveis pela degradação da qualidade das águas dessa bacia (CPRM 2001). Especificamente com relação à bacia dos córregos Ressaca e Sarandi, é importante destacar que nela residem atualmente cerca de 250.000 pessoas, das quais aproximadamente 100.000 pessoas não dispõem de esgotamento sanitário adequado, com o lançamento dos esgotos sendo feito diretamente nesses cursos d’água, o que as torna responsáveis por 70 % da carga poluidora da represa da Pampulha (PROPAM 2000).

A sub-bacia do córrego Sarandi caracteriza-se por inadequada ocupação de áreas e o desmatamento, presença de aterros clandestinos e decapeamento do solo para loteamento e instalações industriais. As áreas inadequadas, ocupadas principalmente por população de baixa renda, estão às margens dos córregos, onde se percebe a erosão devido à retirada de vegetação e exposição do solo às chuvas. Os aterros clandestinos são encontrados ao longo

das ruas e avenidas e em canais de drenagens, que devido à disposição inadequada e à falta de compactação, torna fácil a erosão e o carreamento das águas, expondo o solo às forças das águas de chuva favorecendo escoamento torrencial, criando ravinas e voçorocas, fontes permanentes de sedimentos. O registro fotográfico (anexo II) apresenta o cenário atual da área de estudo.

## **5.2 Aspectos fisiográficos da área de estudo**

### **5.2.1 Geologia Regional**

A área de estudo está inserida na unidade geológica conhecida como Cráton do São Francisco, com ocorrência de rochas de composição granitóide e diques de composição variada. O Complexo granito-gnáissico-migmatítico possui idade arqueana e pode ser dividido em gnaisses, migmatitos, granitos e anfibolitos. Enxames de diques máficos são comuns e possuem orientação predominantemente noroeste-sudeste. Diques clásticos são esporádicos. Em áreas adjacentes ocorrem as sequências do Supergrupo Rio das Velhas, Minas e São Francisco (Fig.5.2).

A região complexa resulta de mais uma fase de deformação e metamorfismo. Esses processos atuaram sobre rochas originais, sedimentares e magmáticas, modificando suas características primárias, causando inversões das seqüências e provocando repetições e espessamento de camadas. Isto torna difícil o reconhecimento e ordenamento dos eventos geológicos responsáveis pela conformação da área (Silva *et al.* 1995).

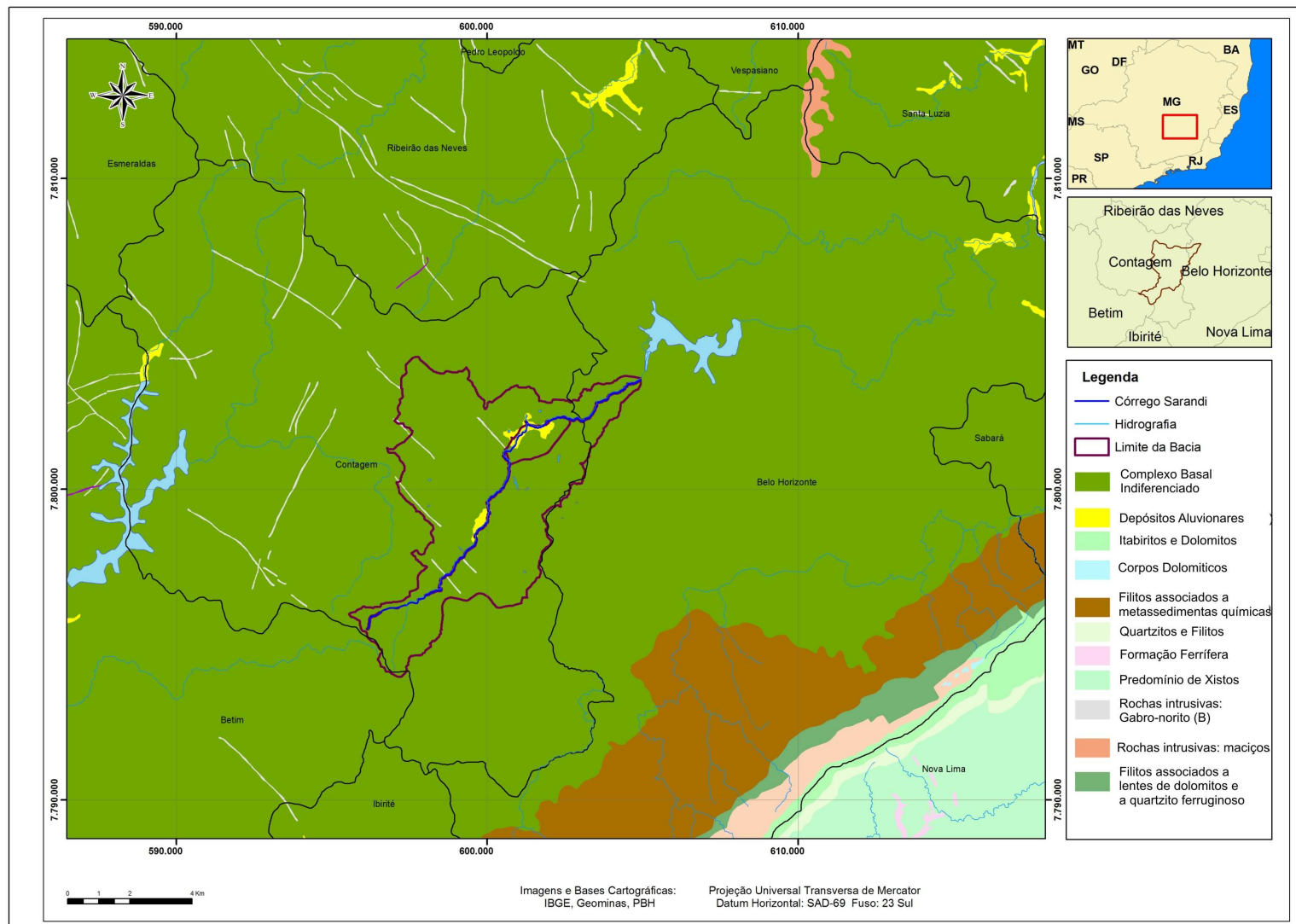


Figura 5.2 - Mapa geológico regional destacando a sub-bacia do Sarandi. Fonte: Projeto Eixo Norte/RMBH 2008.



CPRM (2001) descreve as características das unidades estratigráficas presentes na área de estudo:

Complexo Granito-gnáissico-migmatítico: nesta unidade predominam gnaisses cinzentos de granulação média com bandamento composicional e localmente migmatitos. Os gnaisses possuem composição química trondjemítica e os migmatitos, composição granítica. predominam gnaisses cinzentos de granulação média com bandamento composicional e localmente migmatitos. Os gnaisses possuem composição química trondjemítica e os migmatitos, composição granítica. Anfibolitos encontram-se encaixados em gnaisses e migmatitos, na forma de lentes estiradas e/ou boudinadas, que foram afetados pela migmatização regional. A composição mineralógica é hornblenda, plagioclásio, quartzo, ilmenita e subordinadamente zircão.

A composição química desse litotipo é semelhante às suítes tonalito- trondhjemito-granodiorito (TTG) arqueanas descritas em outros continentes. A granitogênese neoarqueana no Complexo Belo Horizonte é representada pelos granitóides de Santa Luzia, General Carneiro e Ibitité, são granitos cálcio-alcálicos, ligeiramente peraluminosos, provavelmente derivados do retrabalhamento dos gnaisses TTG.

Uma síntese da composição química desses litotipos é apresentada a seguir ( Noce *et al.* 1997):

- ✓ Gnaisse de Belo Horizonte não-migmatítico: trondhjemítica, de caráter peraluminoso, com teores elevados de Na<sub>2</sub>O (média de 5,2 %), relação K<sub>2</sub>O/ Na<sub>2</sub>O em torno de 0,46, teores elevados de SiO<sub>2</sub> (média de 72,5%), teor de CaO variando de 1,5 a 2,3%.
- ✓ Gnaisse migmatítico: revela o enriquecimento de K<sub>2</sub>O e teores mais baixos de Na<sub>2</sub>O, tornando a razão K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O maior que 1; o espectro de terras raras, quando comparado ao gnaisse pouco ou não-migmatizado, exibe enriquecimento generalizado e acentuado empobrecimento de Sr;
- ✓ Granitóides arqueanos: são granitos cálcio-alcálicos ricos em potássio, peraluminosos. O Granito General Carneiro apresenta teor de SiO<sub>2</sub> de 74%, FeO + MgO em torno de 1,4%; relação K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O igual a 1,3, teor de CaO em torno de 1%, teores de Sr e Ba em torno de 130 e 500 ppm, respectivamente. O Granito Santa Luzia apresenta teor de SiO<sub>2</sub> de 68%, FeO + MgO em torno de 2,4%; relação K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O próximo a 2, teor de CaO em torno de 1,7%, e teores de Sr e Ba em torno de 500 e 1300 ppm, respectivamente. O Granito Marzagão apresenta

caráter peraluminoso, com teor de SiO<sub>2</sub> médio de 72% e teores de CaO e Na<sub>2</sub>O de 0,62 e 3,3%, respectivamente, relação K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O próximo a 2, teores de Sr e Ba em torno de 100 e 560 ppm, respectivamente.

Diques máficos: Enxame de diques básicos proterozóicos corta as rochas do Complexo Belo Horizonte e a sequência Supergrupo Velhas e Minas. Esses diques podem ser classificados como basaltos, gabros e diabásios, cuja composição mineral é: plagioclásio, augita, opacos, apatita, hornblenda e algum quartzo.

Diques clásticos: Fraturas verticais e subverticais no complexo Belo Horizonte podem estar preenchidas por material detrítico dando origem aos diques clásticos. Possuem orientação E-NE, podendo ocorrer na direção N-NW. O material de preenchimento é um arenito silicificado mal selecionado com grãos de quartzo e feldspato.

### 5.2.2 Geologia local

A sub-bacia do córrego Sarandi é constituída, em grande parte, por rochas do Complexo Belo Horizonte, correspondendo ao substrato pré-cambriano mais antigo da região (Fig. 5.3). A descrição da geologia local teve como base os trabalhos de CPRM (2001),

As rochas são saprolitizadas ou recobertas por manto de intemperismo silto-argiloso de coloração rosa-claro a vermelho. Exposição de rocha sã é comum na região nordeste da Bacia da Pampulha, formando lajedos em terrenos elevados ou em talvegues de drenagem.

Os gnaisses de granulação grossa a muito grossa afloram em áreas elevadas como os espigões do Engenho Nogueira e Nova York. O saprólito resultante da alteração dessa rocha é de textura arenosa, baixa coesão e alta erodibilidade. Os migmatitos são diferenciados a partir da predominância de mobilizados quartzo-feldspáticos. As estruturas migmatíticas observadas são do tipo *schlieren*, estromática, dobrada, surreítica e agmática.

Gnaisses e migmatitos milonitizados são amplamente distribuídos, apresentando-se como *augen* gnaisses, *augen* gnaisses ricos em porfiroclastos de feldspatos intensamente achatados e gnaisses finos e fitados. A estrutura protomilonítica apresenta porfiroclastos de feldspato em matriz rica em minerais micáceos, localmente são ricos em sulfetos. Zonas internas de cisalhamento são evidenciadas pela geração de faixas métricas de rochas foliadas, onde gnaisses e migmatitos cedem lugar a milonitos e ultramilonitos ricos em sericita e quartzo. Veios de quartzo e veios pegmatóides e aplíticos são frequentes. Apesar do predomínio das rochas gnáissicas e migmatíticas de composição granítica, as variações texturais são frequentes, constituindo, por vezes, fatores predisponentes a processos erosivos. (Silva 1994).

Diques máficos metamorfisados de coloração preto-esverdeado a cinza escuro estão presentes. O metamorfismo ocorre na fácies anfibolito alto com posterior equilíbrio no fácies xisto verde. A composição mineral inclui anfibólio, plagioclásio, piroxênio, granada, minerais opacos, biotita, clorita, sericita, epidoto, carbonato, quartzo e zircão. Estes diques posicionaram durante a movimentação de zonas de cisalhamento transcorrentes, sofrendo recristalização e reações metamórficas com o avanço da deformação. Podem apresentar dezenas de metros de extensão e larguras variáveis, geralmente em torno de 30 metros.

Diques máficos não-metamorfisados ocorrem como lineamentos contínuos ao longo de dezenas de metros, com largura ente 10 e 100 metros, possuem mergulho vertical e subvertical e direção N50-70W. Mantém a textura ígnea preservada, sendo afaníticos a vítrea na borda e faneríticos no centro. Macroscopicamente são classificados como diabásio. A composição mineral primária inclui augitas, plagioclásio, ilmenita, quartzo, titanita, apatita e biotita. Amígdalas preenchidas por clorita e carbonato também estão presentes. Podem ser cortados por veios centimétricos de quartzo. Localmente apresentam-se intercalados com a rocha encaixante, formando lentes de tamanho métrico

Os diques clásticos possuem extensão de dezenas de metros a vários quilômetros e largura de 0,5 a 10 metros. Ocorrem preenchendo fraturas, sendo que o material de preenchimento é o arenito de coloração róseo-amarelado com fragmentos de quartzo e feldspato variando de arredondados a angulosos, com tamanho de 1 a 2 mm. Podem ocorrer porções conglomeráticas com seixos de quartzo e lentes de siltito.

O produto do intemperismo das rochas origina um solo rico em areia, silte e argila, com baixa coesão, favorável à erosão quando submetido ao escoamento torrencial. Podem ocorrer grandes espessuras de solo residual e rocha alterada. O saprólito preserva estruturas e veios de quartzo, pela evolução pedogenética heterogênea, espessura, permeabilidade e porosidade variam em função do local. Muitos dos afloramentos apresentam esfoliação esferoidal originando descontinuidades que favorecem a circulação da água.

Nos afloramentos, os diques máficos ocorrem quase sempre alterados, originando um manto de intemperismo de coloração avermelhada, muitas vezes com estrutura preservada. São comuns fragmentos sub-arredondados e arredondados de diabásio com esfoliação esferoidal intercalada com solo argiloso de coloração avermelhada.

Os depósitos aluvionares ocorrem ao longo dos principais cursos d'água. Constituem-se de cascalhos, areias e argilas com predomínio das camadas areno-argilosos e argilo-arenosas.

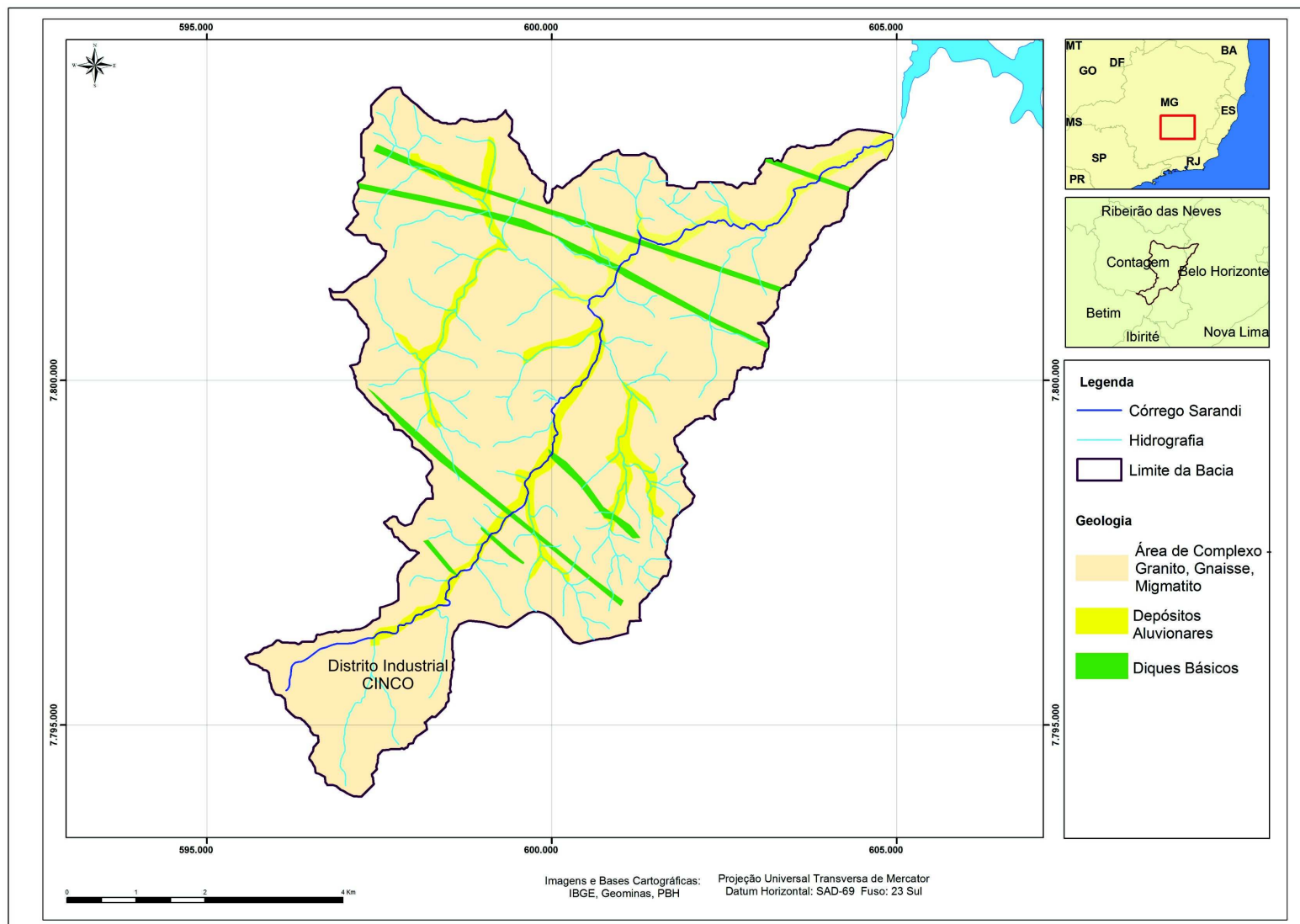


Figura 5.3 - Mapa geológico da sub-bacia do Sarandi. Fonte: Projeto Eixo Norte/RMBH 2008.

### 5.2.3 Geomorfologia

A análise geomorfológica tem como objetivo situar a área do estudo em um contexto mais amplo com relação às formas de relevo e suas relações com a gênese dessa morfologia, além disso, visa oferecer uma visão mais abrangente entre a morfologia, drenagem e a dinâmica das águas superficiais e subterrâneas.

A geomorfologia regional inclui duas unidades distintas em gênese e características: Depressão Sanfranciscana e Quadrilátero Ferrífero (Costa 2002). A área encontra-se encravada na Depressão Sanfranciscana que se prolonga na direção norte no entorno da drenagem da bacia do Rio São Francisco, passando pelo Rio das Velhas, um dos principais formadores desta bacia. Esta unidade tem sua gênese ligada predominantemente a processos erosivos de origem climática, onde o entalhamento linear é característico de uma morfogênese úmida, facilitado pelo intemperismo bioquímico que propiciou a formação de solos pouco resistentes à erosão.

Evidentemente, houve uma grande participação da geologia na morfogênese, pois diferentes rochas manifestam uma resistência à decomposição diferenciada. Resultando em solos com espessura e resistência à erosão muito distintas. Também as estruturas geológicas impuseram sua influência nesse processo erosivo, através de condicionamento dos vales e cristas a estas estruturas.

A sub-bacia do Sarandi está localizada na borda noroeste da Depressão de Belo Horizonte e possui cotas mínimas em torno de 800m próximo à Lagoa, sendo as maiores altitudes estão no extremo sudoeste, próximo às nascentes do Córrego Sarandi (Fig.5.4). Seu substrato formado por rochas do Complexo Belo Horizonte, é dividido em três compartimentos morfológicos: topos de morro, meia encosta e vales (CPRM 2001), descritos a seguir:

Topos de morro: apresentam-se com declividade baixa a moderada, de morfologia convexa favorecendo o escoamento hídrico difuso e infiltração das águas pluviais. Os diques básicos geralmente formam morros residuais convexos. Podem apresentar grandes espessuras de material intemperizado.

Meia encosta: locais de declividade média a moderada, onde ocorrem os principais problemas erosivos. As áreas de relevo acidentado são restritas e correspondem às exposições rochosas e áreas de solo residual imaturo com elevada anisotropia e heterogeneidade estrutural e textural. Devido ao elevado gradiente e pequeno desenvolvimento pedológico são susceptíveis à erosão. Localizam-se principalmente às margens da Rodovia BR-040, no bairro Engenho Nogueira. Encontra-se em amplo

processo de dissecação tanto por erosão concentrada quanto difusa, atuando como fonte de sedimentos. Atividades antrópicas podem concentrar o escoamento superficial corroborando para deflagração de processos erosivos lineares tipo voçorocas e ravinas. Os anfiteatros naturais estão associados às nascentes dos córregos, e feições côncavas oriundas das antigas voçorocas, cicatrizes de escorregamentos de forma côncava, que contribuem para a concentração do escoamento hídrico superficial.

Vales: relevo suavemente ondulado e declividade baixa. Superficialmente o solo não apresenta estrutura, mas à medida que se aprofunda, percebem-se bandamentos composicionais e texturais decorrentes de rocha original. Na base das encostas, ocorrem colúvios oriundos de erosão e do transporte por gravidade do material a montante. A granulometria predominante é argilo-arenosa, podendo ocorrer matações e cascalhos.

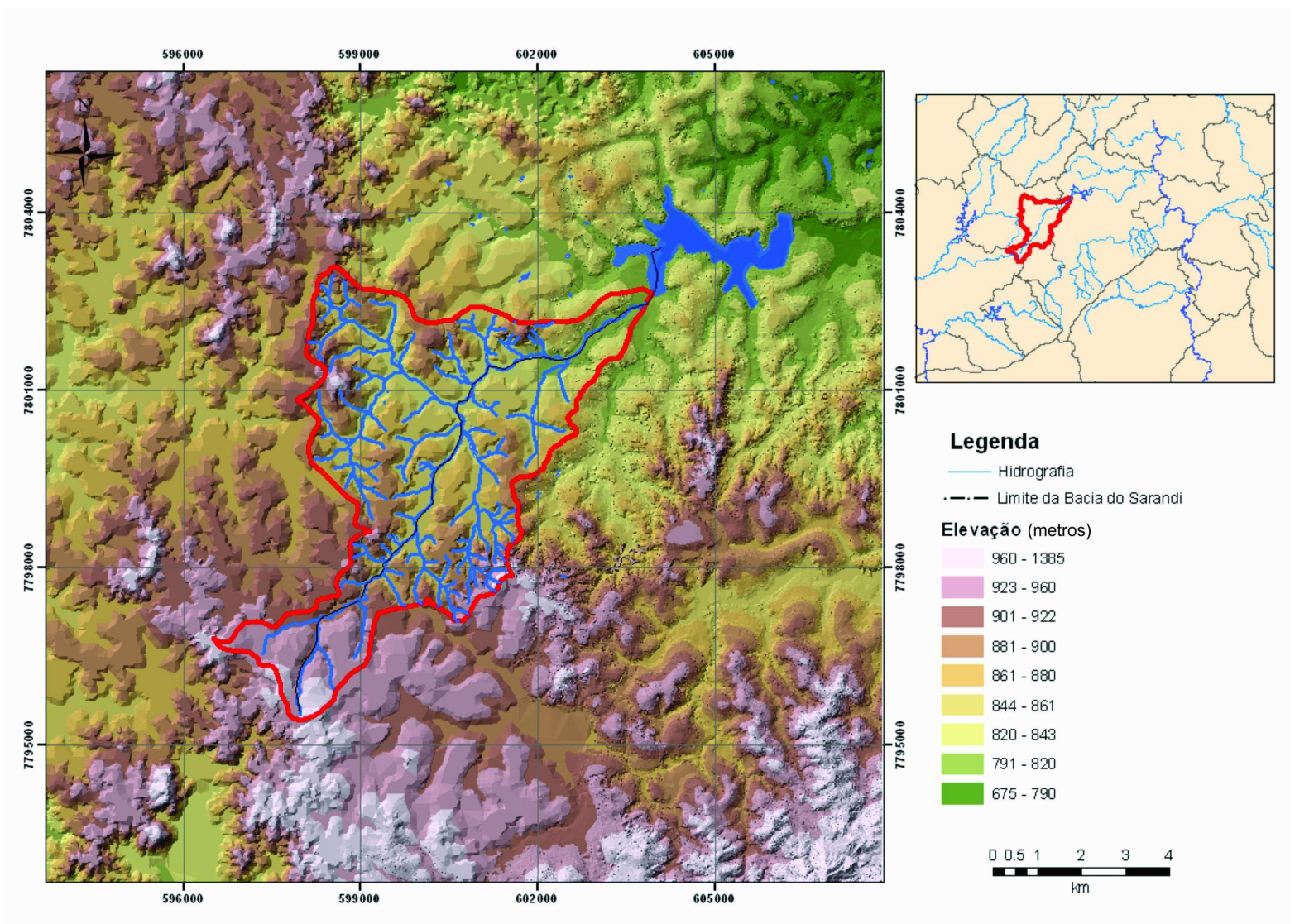


Figura 5.4 - Modelo Digital do Terreno- MDT da sub-bacia do Sarandi. Fonte: ASTER Global Digital Elevation Map Announcement 2009.

A configuração do relevo é aqui analisada a partir do mapa de declividade, importante elemento na análise de uso e ocupação do solo. O relevo caracteriza-se por colinas de topo plano e arqueado, encostas formando anfiteatro de declividade média a baixa e vales amplos com drenagens pouco encaixadas, como se observa na figura 5.5.



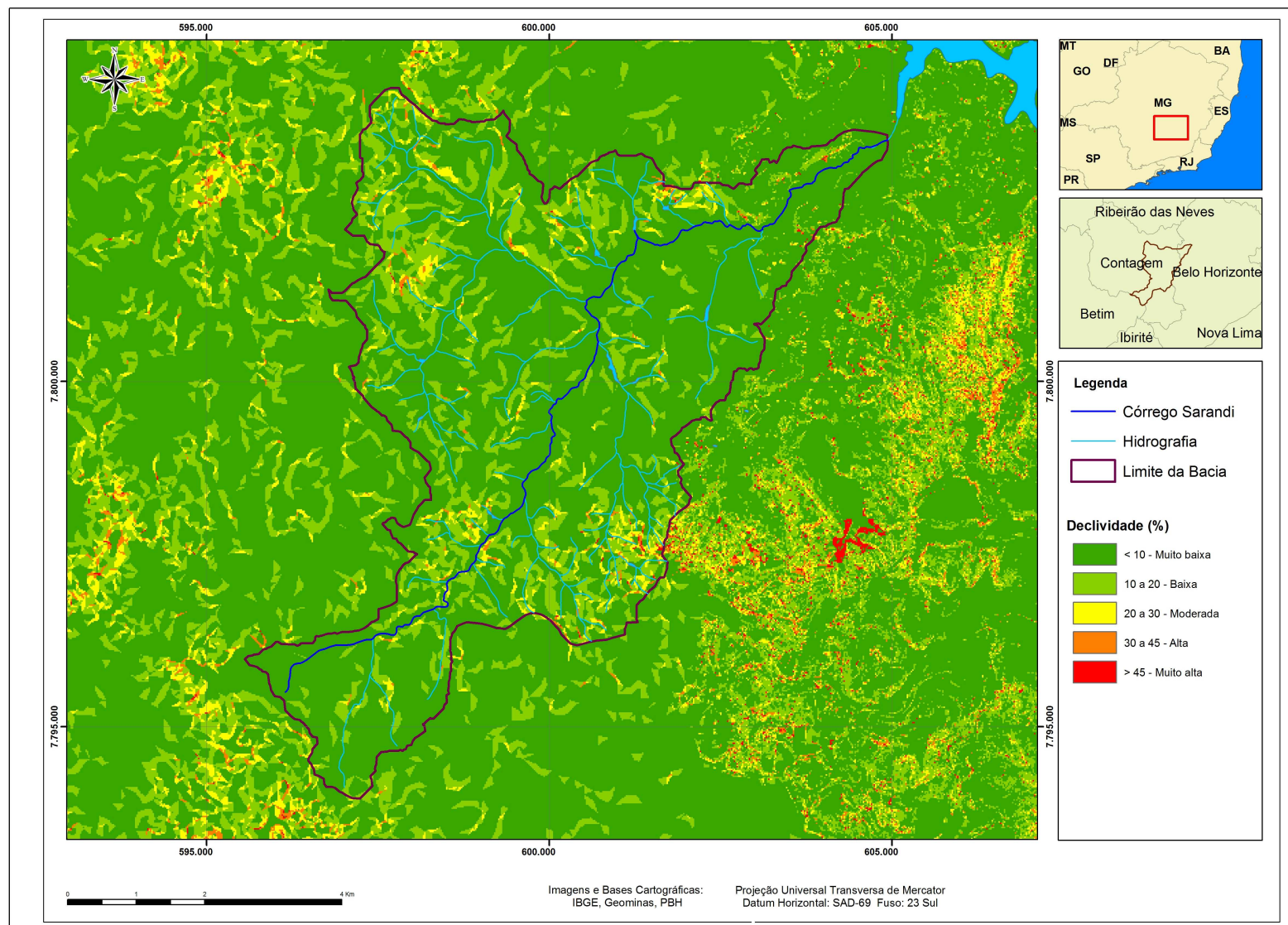


Figura 5.5 - Mapa de declividade da sub-bacia do Sarandi. Fonte: ASTER Global Digital Elevation Map Announcement 2009.

A dinâmica do processo de erosão/assoreamento envolve desagregação do solo pela ação das águas meteóricas, carreamento de sedimentos pelas águas fluviais e deposição na barragem, onde há perda de energia impedindo o transporte. Esses são os principais problemas geomorfológicos e as principais áreas fontes de sedimentos são as de solo exposto.

Em 1995, o solo exposto ocupava área de 4,26 km<sup>2</sup>, equivalente a 4,4% da área total da bacia da Pampulha, sendo que a sub-bacia do Sarandi representa 74% do total. Silva *et al.*(1995) identificaram a sub-bacia do Sarandi como a principal fonte de sedimentos e poluentes da Lagoa da Pampulha, destacando as áreas elevadas do córrego Bitácula, onde se desenvolviam atividades de extração de areia, remoção da mata ciliar e ocupação de vertentes com alta declividade por população de baixa renda. Atualmente, ainda persistem ocupação de áreas inadequadas e desmatamento, além dos aterros clandestinos, decapeamento do solo para loteamentos e instalações industriais. Taludes desprotegidos estão presentes na área industrial (CINCO) e, pela falta de compactação adequada e de recomposição vegetal formam voçorocas. As infiltrações de água tornam os taludes mais densos provocando deslizamentos. A área total de solo exposto na sub-bacia do Sarandi é de 3,16 km<sup>2</sup>, sendo que 99% desta área está situada no município de Contagem.

#### **5.2.4 Geologia estrutural**

Dados estruturais dos maciços rochosos são importantes para o entendimento da estabilidade da área. Os planos estruturais apresentados pelas rochas (juntas, fraturas, foliação, acamamento) são considerados como descontinuidades, cuja distribuição espacial é responsável pelas condições de estabilidade e confinamento dos maciços. O estudo estrutural é importante na hidrologia dos terrenos cristalinos, pois os aquíferos nesses terrenos são condicionados pelo fraturamento (CPRM 2001).

O Complexo Belo Horizonte sofreu migmatização e posteriormente passou pelo Evento Transamazônico com duas manifestações distintas. A primeira refere-se às dobras e falhas de empurrão de orientação preferencial NE-SW. Esta fase gerou uma foliação com direção predominante N, variando entre N30W–N30E e dobras abertas e fechadas dispostas transversalmente à foliação. As rochas do Complexo Belo Horizonte ocorrem foliadas (minerais micáceos) e bandadas (bandamento gnássico), estando truncadas devido à fusão parcial. As estruturas são planares não penetrativas, com orientação preferencial norte, esporadicamente observam-se zonas de cisalhamento com foliação milonítica.

Os falhamentos possuem direção preferencial N10-30W e N50-70E e mergulho de alto

ângulo Estas falhas teriam sua origem nas zonas de cisalhamento transcorrentes Transamazônicas. Ocorrem falhas de empurrão subhorizontais na direção paralela à Serra do Curral, cuja origem relaciona-se ao evento compressivo Transamazônico. A segunda manifestação do evento Transamazônico transpôs a primeira e engloba zonas de cisalhamento dúctil-rúptil, de direção NE-SW, que transformaram a foliação existente em foliação milonítica. A foliação está localmente perturbada pela deformação oriunda da Serra do Curral (NE-SW).

As zonas de cisalhamento transcorrentes da idade Transamazônica foram reativadas no início do Brasiliano como falhas normais em regime rúptil. O material quartzo-sericítico associado a esta falha está cataclasado, corroborando esta hipótese. Após a reativação das zonas de cisalhamento e soerguimento causado pela ascensão da pluma mantélica, seguiu-se o abatimento do Complexo Belo Horizonte, resultando em falhas normais ao longo das zonas de cisalhamento transcorrentes pré-existentes, que seccionaram diques da segunda geração. Juntas e fraturas são resultados deste abatimento, sendo observadas em toda unidade. Possuem mergulho vertical a subvertical com planos de fraturas lisos, mostrando recristalização secundária de micas e rugosidade fraca a nula (Silva *et al.* 1995). Nos planos de fraturas, podem ser observadas feições lineares tais como: lineações de crenulações e estiramentos minerais, conferindo rugosidade a estes planos.

As direções das fraturas, estimadas com base em fotografias aéreas, apresentam predominância na direção NE-SW e NW-SE. Infere-se que as fraturas NE-SW são abertas, podendo ser confirmadas pela existência de diques clásticos. As fraturas NW-SE são preenchidas pelos diques máficos da segunda geração (CPRM 2001).

A crosta sofreu distensão associada à intrusão de diques máficos e rifteamento, no Brasiliano. No início da ascensão da pluma mantélica, os diques eram radiais. Concomitantemente a este episódio foram gerados *sills* e outras estruturas horizontais e subhorizontais como resultado do fluxo magmático lateral. Este fluxo originou-se do stress magmático de ascensão necessário para romper a crosta. No final do ciclo Brasiliano, ocorreu o fechamento da Bacia com a deformação de diques e *sills* próximos às margens continentais. Estes corpos possuem direções N-S e E-W e se associam às zonas de cisalhamento transcorrentes. As intrusões posteriores são oriundas do braço abortado do rifteamento, em que os diques criaram suas próprias fraturas, com direção N50-70W, estes diques estão dentro do cráton São Francisco, preservados e pouco deformados.

## 5.2.5 Hidrologia

A caracterização do regime de vazões das águas superficiais de uma bacia urbana é tarefa complexa, uma vez que são raros os períodos extensos de dados históricos hidrológicos. As séries são relativamente curtas relativas a pequenos períodos de observação, retratando apenas parte do comportamento hidrológico. Além disso, a urbanização cria sérios impactos ambientais, provocando aumento na frequência de inundações, na produção de sedimentos e deterioração da qualidade da água.

A taxa de ocupação da bacia da Pampulha modifica regime hídrico natural em função da contribuição de esgotos urbanos e da alteração da permeabilidade do solo. Dessa forma, a avaliação da produção hídrica da Bacia da Pampulha (CPRM 2001) foi determinada correlacionando matematicamente os dados resultantes do monitoramento na Estação fluviométrica Fazenda Boa Vista com os de outra bacia de comportamentos geológico e hidrológico similares. As vazões médias estimados indicando o regime de vazões naturais nas áreas de baixa ocupação urbana (Tab. 5.1).

*Tabela 5.1 - Vazões médias mensais (m<sup>3</sup>/s) estimadas para Fazenda Boa Vista. Modificado de CPRM 2001.*

Estação	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Faz Boa Vista	0,115	0,103	0,097	0,083	0,072	0,062	0,052	0,042	0,039	0,037	0,067	0,094

## 5.2.6 Hidrogeologia

A análise da hidrogeologia da Bacia hidrográfica da Pampulha realizada por CPRM (2001) caracteriza o substrato como fraturado nas direções NW e NE, direções preferenciais dos cursos d'água. Fraturas na direção NE encontram-se localmente preenchidas por diques clásticos, compostos de metaconglomerados e quartzitos, indicando tratar de direção de fraturas abertas, preenchidas por material detrítico, que são as mais favoráveis à circulação de água subterrânea.

Os aquíferos são do tipo fraturado livre a semiconfinado nas rochas sãs do Complexo Belo horizonte e granulares livres nos sedimentos aluvionares e solo residual dos granitóides do substrato rochoso.

*Aquíferos fraturados:* restringem-se às zonas de fraturas das rochas do substrato ampliado pelo espesso manto de intemperismo que os recobre. A rocha aquífera

constitui-se de granitos, gnaisses e migmatitos com fraturas predominantes nas direções NE-NW. Os fraturamentos de direção NE são mais favoráveis à circulação das águas subterrâneas, pois são as direções das fraturas abertas. Os fraturamentos de direção NW são fraturas preenchidas por diques básicos e com menor permeabilidade. O substrato aflora raramente e é comum encontrar-se rocha alterada ou saprólito que mantém a estrutura da rocha original. Esse tipo de aquífero em rochas sãs é considerado pobre, com baixa capacidade de armazenamento, uma vez que se encontra restrito às zonas fraturadas que tendem a diminuir a porosidade após algumas dezenas de metros em profundidade. Localmente, isto é compensado pela eficiente recarga proporcionada pelo espesso manto de intemperismo que o recobre.

*Aquíferos granulares*: ocorrem nos sedimentos colúvio-aluvionares, e principalmente, no solo residual, ou elúvio do substrato rochoso. São aquíferos livres a semiconfinados em litologias capazes de armazenar água nos poros ou espaços vazios entre os grãos formados pelo processo de sedimentação e intemperismo. Esses sedimentos encontram-se ao longo dos principais cursos d'água com pequena espessura (aproximadamente 10 m), não formam unidade aquífera expressiva uma vez que a maioria dos cursos d'água é de pequena magnitude. Constituem-se basicamente de argilas com areias de diversas composições e granulometrias. Materiais mais grosseiros como cascalhos e matações são encontrados em beiras de encostas e escorregamentos de rochas alteradas ou sãs. O solo residual formado por material argilo-arenoso, no horizonte superficial, passando a silto-arenoso no subsolo; sua espessura é variável, em média 37 m, podendo atingir 100 m. O manto de intemperismo apresenta interface onde a rocha mantém sua estrutura original, sendo chamada de rocha alterada ou saprólito, a qual se apresenta bastante espessa, podendo atingir até 70 m.

O fluxo subterrâneo é controlado fortemente pelo relevo com áreas de recarga nas cotas mais elevadas e de relevo plano. No subsolo, o escoamento se dá em direção aos vales, onde as águas afloram em nascentes e cabeceiras e ao longo das drenagens. Os divisores das águas subterrâneas, de maneira geral, seguem o traçado dos divisores de águas superficiais.

Os diques básicos de direção noroeste ocorrem preenchendo fraturas, sendo formados de material de texturas e composições diferentes, em relação ao arcabouço granítico-gnássico, provocando redução acentuada de permeabilidade. Nestes locais, ocorre alteração nas direções de fluxo.

O nível de base do escoamento subterrâneo é a Lagoa da Pampulha, cota 801,14 m. Os tempos de circulação são de dezenas de anos em fraturas profundas e de alguns anos em

níveis mais superficiais como cabeceiras de drenagens e encostas de vale.

### 5.2.7 Hidroquímica

CPRM (2001) definiu o *background* químico das águas naturais da bacia da Pampulha a partir de amostras de águas subterrâneas em áreas pouco urbanizadas e com baixo risco de contaminação. A origem dos principais elementos nas águas é decorrente dos tipos litológicos e estruturas por onde elas percolam e das cargas contaminantes em superfície e subsolo. O processo de circulação das águas subterrâneas lixívia os materiais incorporando elementos que as mineralizam. Dessa maneira, os elementos encontrados são produto do meio geoquímico por onde circulam e da carga contaminante.

As águas da bacia foram caracterizadas como do tipo bicarbonatadas cálcicas-sódicas, neutras (pH médio=7,0) e levemente mineralizadas. Os principais elementos de origem litológica encontrados nas águas da bacia são bicarbonato, cálcio, magnésio, sódio e potássio presentes nos minerais que constituem os granitos, gnaisses e diques básicos. Quanto aos elementos traços, destacam-se ferro, manganês e fosfato, presentes nos minerais de rocha, principalmente nos diques básicos como piroxênio, óxidos e apatita. Os teores esperados para esses elementos nas águas naturais são baixos, pois são águas de circulação rasa, com tempo de residência pequeno em terrenos já lixiviados. Portanto, teores acima do *background* podem estar relacionados à interferência antrópica.

As águas superficiais naturais na bacia hidrográfica da Pampulha, que caracterizam o *background*, estão localizadas em áreas de menor degradação, Fazenda Boa Vista, localizada na parte central da sub-bacia do Sarandi, correspondendo a água do tipo bicarbonatadas mistas, pH levemente ácido, pouco mineralizadas (condutividade média de 82,54  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ). São águas de composição similares às águas subterrâneas, uma vez que são originárias da restituição natural das águas dos aquíferos. A tabela 5.4 apresenta a análise dos parâmetros físico-químicos dessas águas.

Tabela 5.2 - Resultados das análises físico-químicas das águas superficiais – background

Fonte: Adaptado de CPRM (2001)

Ponto	Local	Coordenadas UTM		Temperatura °C	PH	Cond. Elétrica	Demanda Bioquímica de O <sub>2</sub> mgO <sub>2</sub> /L	Oxigênio Dissolvido mg/L	
		Campo							
		N	E			µS/cm a 25°C			
PP-9	Córrego Bom Jesus -Fazenda Bom Jesus	7805791	600408	20	7,0	65	0,6	6 5	
Sól Totais em Suspensão mg/L	Sólidos Totais mg/L	Fósforo Total mg/L P-PO <sub>4</sub>	Nitrato mg/L	Nitrito mg/L	Nitrogênio mg/L		Nitrogênio Total mg/L	Turbidez mg/L	Carbonato mg/L CaCO <sub>3</sub>
					Orgânico	Amoniacal			Bicarbonato
19,9	82,4	<b>0,062</b>	<0,050	0,003	0,58	0,08	0,66	21,4	21,53
Na* mg/L	Fe total mg/L	Ca <sup>2</sup> mg/L	Mg <sup>2</sup> mg/L	Fe dissolvido mg/L	Mn mg/L	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> mg/L	Cl <sup>-</sup> mg/L	Al mg/L	Ba mg/L
3,68	1,59	4,25	0,86	0,26	<0,05	3,5	2,51	<b>1,04</b>	<0,50
Pb mg/L	Cu mg/L	Cr mg/L	F <sup>-</sup> mg/L	S <sup>2-</sup> mg/L	As mg/L	Hg mg/L	Ni mg/L	Se mg/L	Zn mg/L
<0,03	<0,02	<0,05	<0,05	<b>0,004</b>	<0,05	<0,0002	<0,02	<0,01	<0,05
ABS mg/L	Óleos e Graxas mg/L	Fenóis mg/L	Coliformes Totais NMP/100mL	Coliformes Fecais NMP/100mL	Estreptococos Fecais NMP/100mL	Sól Totais Dissolvidos mg/L	Sólidos Fixos mg/L	Dureza	Cu mg/L
0,12	<0,30	<0,001	2,4	800	2,2	62,5	56,8	14,17	<0,001

## 5.2.8 Pedologia

As características climáticas, geológicas e geomorfológicas da Bacia do Rio das Velhas, assim como a vegetação, favorecem também o desenvolvimento dos diferentes tipos de solos. O Cambissolo é o tipo que mais predomina na bacia, caracterizando-se por apresentar horizontes pouco profundos, com propriedades físicas e químicas heterogêneas. Na área onde a pedogênese é intensa, encontram-se outros tipos: Latossolo Vermelho Escuro (regiões restritas, localizadas na porção norte e noroeste da bacia), Latossolo Vermelho Amarelo (norte e noroeste da RMBH) e o podzólico Vermelho Amarelo (algumas áreas da região central). Os litólicos são encontrados principalmente na Serra do Espinhaço, onde o relevo movimentado não favorece a evolução dos solos. Os solos aluviais estão localizados em áreas com grande disponibilidade hídrica próxima aos rios, como por exemplo, no extremo norte da bacia, nas margens do Rio São Francisco. A areia quartzosa é encontrada na região oeste da bacia. Dentre os tipos de solos relacionados acima, destacam-se Podzólico, Cambissolo e o Litólico, como os de maior potencial a processos erosivos. Esta suscetibilidade à erosão está relacionada às características texturais, morfológicas e

topográficas, mas principalmente à falta de manejo e a ausência de técnicas conservacionistas (Santos 2005).

A caracterização do solo na região possibilita inferir as condições de infiltração das águas pluviais e avaliar as condições de erosão, considerando que cada solo tem características específicas que implicam maior ou menor permeabilidade, oferecendo, em consequência, menor ou maior resistência à infiltração e percolação das águas.

A área de estudo caracteriza-se por possuir solo residual predominante do tipo silto-arenoso de coloração rósea, bege a branca, resultante do intemperismo dos granitóides do Complexo de Belo Horizonte. Os solos de rochas máficas são de ocorrência local e se diferenciam do tipo silto-arenoso por sua coloração avermelhada a rosada e composição predominantemente argilosa. Também ocorrem sedimentos aluvionares de composição bastante variada, de areia grosseira a argila com matéria orgânica, em função do regime de deposição, e desempenham papel importante na absorção das águas pluviais e superficiais.

CPRM (2001) realizou ensaios de permeabilidade para determinar a capacidade de infiltração do solo da Bacia Hidrográfica da Pampulha. Estes ensaios foram pontuais, e refletem o entorno do local ensaiado, entretanto, considerando que a densidade dos pontos de amostragem e a pequena variação dos resultados obtidos, é possível assumir o valor médio de  $5,1 \times 10^{-4}$  cm/s, compatível com solo arenoso, podendo variar em função de variações texturais e composicionais. A capacidade de infiltração determinada variou de 0,18 a 0,98 mm/h, podendo atingir valores maiores, em locais onde os sedimentos aluvionares afloram ou em regiões onde o solo foi removido, expondo o solo residual, de composição mais arenosa.

### **5.2.9 Climatologia**

A classificação de Koppen para o clima da região é a Cwa - tropical de altitude com inverno seco e verão chuvoso. Durante todo o ano encontra-se sob o domínio do Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul, sendo conseqüentemente submetida a movimentos verticais descendentes de larga escala. Durante o ano, a região é invadida por sistemas extratropicais, que provocam chuvas no período da primavera, verão e outono. Durante a primavera/verão, quando ocorrem precipitações elevadas, principalmente nos meses de novembro a janeiro, a temperatura média diária do ar pode atingir valores superiores a 35°C, enquanto o inverno é caracterizado por baixos índices pluviométricos no período de junho a agosto e a temperatura atinge valores de 10 ° C. CPRM (2001) determinou os parâmetros climatológicos, obtidos na estação climatológica do CDTN, instalada no Campus da UFMG (Tab. 5.2).



Tabela 5.3 - Parâmetros climatológicos (1997-2000). Modificado de CPRM (2001).

Parâmetro	mês											
	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
Temperatura média do ar compensada	23,3	24,1	22,9	21,9	19,5	18,5	18,8	20,1	21,8	22,1	22,2	21,6
Umidade relativa compensada(%)	75,61	69,71	75,98	71,05	67,35	65,97	62,93	55,23	61,26	65,23	75,5	68,6
Velocidade média dos ventos a 10 m (km/dia)	187	205	201	194	192	174	214	240	264	261	209	210,5
Pressão atmosférica (mbar)	918,5	919,7	918,9	921	922,3	922,6	924	923,9	920,9	920,2	918,5	920,7
Horas de insolação	357,5	332,7	352,3	312	338	286,5	309,5	311	318,5	356,5	366,8	334,5
Precipitação (mm)	235	126	123,9	63,2	28,5	10,1	3,3	6,6	69,6	63,9	189,5	1129,8

A série 1997- 2000, da estação CDTN mostra a temperatura média anual de 21,5 °C e umidade média relativa 68,9%. A velocidade média dos ventos é de 211 km/dia, com direção predominante leste. Os dados pluviométricos indicaram o total pluviométrico médio anual de 1479,5mm; o número médio de dias de chuva é de 110; o trimestre mais chuvoso é novembro a janeiro, representando 55% do total anual; o trimestre mais seco é junho a agosto, contribuindo apenas com 29,4 mm.

O balanço hídrico, elaborado mês a mês, a partir da metodologia Thornthwaite e Mather, abrange período 1997 a 2000, e utilizou dados da Estação Climatológica do CDTN (Fig.5.6).

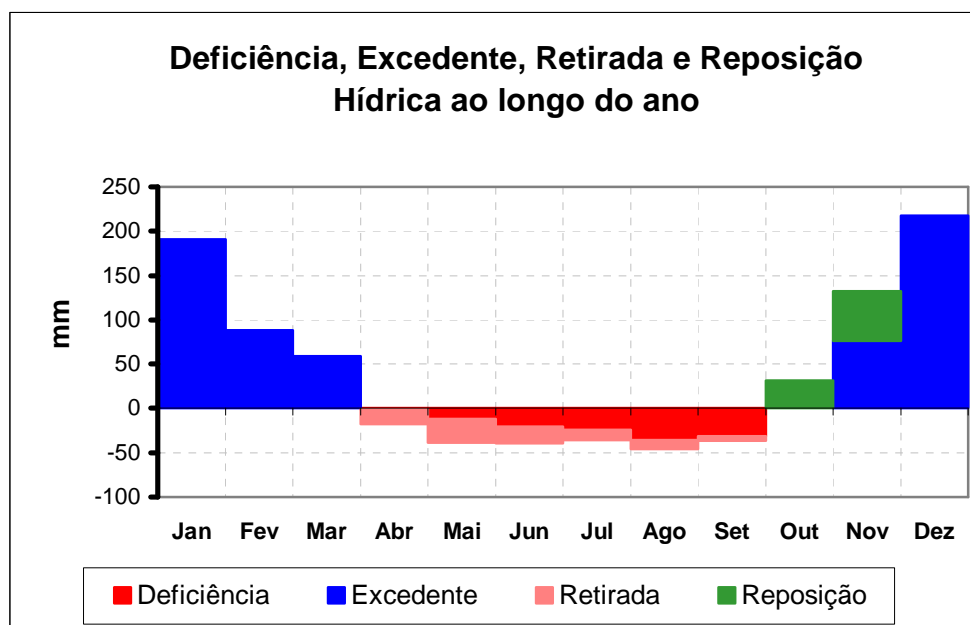


Figura 5.6 - Balanço hídrico mensal. Fonte: CPRM 2001.

A análise do balanço hídrico mostra que o período de deficiência hídrica se estende de maio a outubro, sendo que os maiores déficits ocorrem no mês de agosto. O excedente hídrico ocorre a partir de dezembro estendendo-se até março. É importante salientar que a bacia da Pampulha apresenta índice de ocupação elevado, que interfere diretamente na capacidade de armazenamento de umidade, e conseqüente redução da evapotranspiração e aumento da deficiência do excedente hídrico.

#### **5.2.10 Uso e ocupação do solo**

O mapa de uso e ocupação do solo da sub-bacia do Sarandi foi elaborado a partir da análise e interpretação de imagens de satélite de alta resolução, obtidas do gerenciador de dados espaciais de uso público conhecido como Google Earth, e de levantamento de campo. Dessa forma delimitou-se áreas de uso e ocupação distinguindo padrão da ocupação com base nas características das moradias; os pólos industriais; áreas de solo exposto; e as áreas de pastagem e áreas de campo limpo, denominadas áreas verdes.

A figura 6.9 apresenta o mapa de uso e ocupação do solo e suas classes, descritas a seguir:

- ✓ **Áreas urbanas:** áreas construídas, incluindo pequenas áreas de jardins, canteiros e quintais, ocupadas por:
  - População de baixa renda, que residem em becos, formando as favelas, que ao se unirem produzem os chamados aglomerados;
  - População de média a baixa renda, que ocupam de forma caótica as cabeceiras de vales, com infra-estrutura deficiente; População de classe alta instalada em prédios e casas de tamanho variável;
- ✓ **Áreas verdes:**
  - Cobertura vegetal arbórea ou mata: que contempla áreas com vegetação de árvores de grande porte, considerados resíduos de mata atlântica, ou matas em processo de regeneração avançado.
  - Cobertura vegetal herbácea e arbustiva: ou campo, que contempla as pastagens, mata do cerrado e algumas árvores de porte isoladas ou formando um conjunto pouco denso, como faixas estreitas de matas ciliares.
- ✓ **Zoológico:** área ocupada pela Fundação Zoobotânica da Prefeitura Municipal de Belo

Horizonte, caracterizada como área de parque de preservação de espécies vegetais nativas e exóticas.

- ✓ **Áreas de solo exposto:** áreas cuja cobertura vegetal foi removida para instalação de empreendimentos imobiliários, industriais ou áreas de empréstimo para construção de vias de acesso.
- ✓ **Áreas industriais:** áreas com concentração significativa de indústrias metalúrgicas e siderúrgicas, destacando-se o parque industrial (CINCO) e seu depósito lixo desativado (Lixão) e aglomerado de indústrias de pequeno e médio porte.
- ✓ **Áreas de armazéns:** depósitos de material de comércio atacadista, desde produtos manufaturados, produtos petroquímicos, e alimentos, destacando-se as Centrais de Abastecimento de Minas Gerais S/A (CEASA),

A infra-estrutura básica é atendida da seguinte forma:

- Abastecimento de água e coleta e destinação de esgotos são de responsabilidade da COPASA- Companhia de Saneamento de Minas Gerais.
- Coleta de lixo: Serviço de Limpeza Urbana da Prefeitura Municipal de Belo Horizonte (SLU- PMBH)
- Distribuição de energia é de responsabilidade da CEMIG – Companhia Energética de Minas Gerais.
- Serviço de comunicação: de responsabilidade da EBCT- Empresa Brasileira de Correios e Telégrafos.

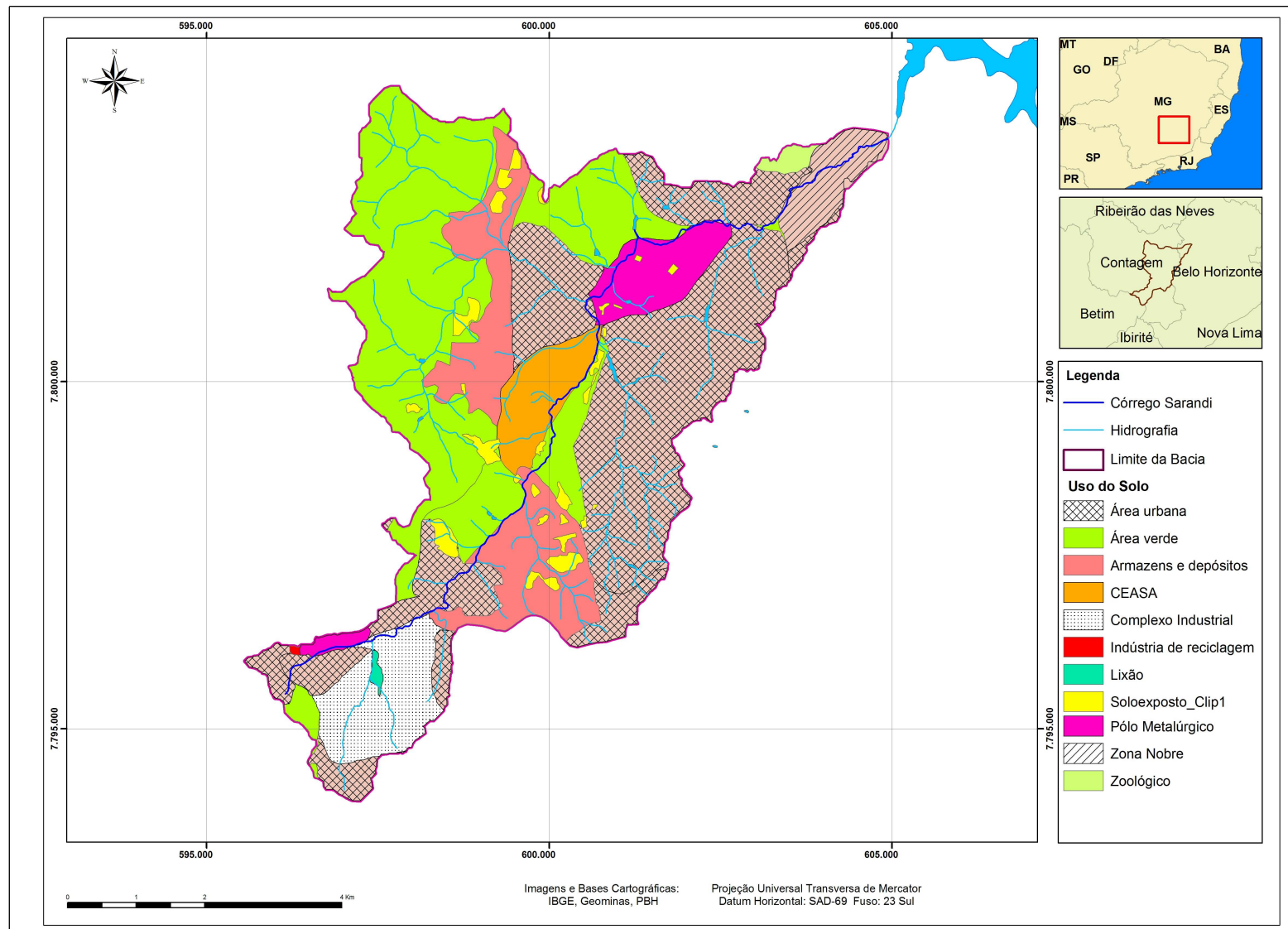


Figura 5.7 - Mapa de Uso e Ocupação do solo da sub-bacia do Sarandi.

### 5.2.11 Ações de saneamento básico

Parte da sub-bacia do Sarandi está inserida no município de Belo Horizonte, que possui uma área de 330 km<sup>2</sup>, desses, 156 km<sup>2</sup> se situam na bacia do ribeirão do Onça, que contribuem diretamente para bacia do Rio das Velhas, o restante, situa-se na bacia do ribeirão Arrudas. Belo Horizonte apresenta níveis elevados de atendimento pelos serviços de esgotamento sanitário, quando comparados à realidade nacional, mesmo assim, ainda não é satisfatória, uma vez que cerca de 235.000 habitantes não têm coleta de esgoto. Ressalta-se que 92% da população têm seus esgotos coletados e que 65% da população têm tratamento de seus esgotos. A Política Municipal de Saneamento de Belo Horizonte busca universalizar ações e serviços de saneamento no município, mas para isso, é necessário o monitoramento permanente (PMBH 2008).

A Figura 5.8 apresenta o mapa de acesso ao esgoto sanitário da sub-bacia do Sarandi. O acesso à rede de esgoto sanitário ocorre de maneira heterogênea. As regiões leste e nordeste da bacia, áreas densamente urbanizadas, com histórico de ocupação mais antigo do que o restante da área de estudo, apresentam os maiores índices de cobertura de coleta de esgoto sanitário domiciliar, índices que variam entre 92 e 100%. As regiões oeste e sul da bacia apresentam índices de cobertura intermediários que variam principalmente entre 54 e 76% e entre 77 e 91%, enquanto uma grande área situada na porção norte apresenta índices inferiores a 23% de cobertura de esgoto.

Esses dados, extraídos do IBGE (2000), indicam o acesso a rede de esgoto domiciliar, não informando o destino final desses efluentes. Cabe, também, lembrar quanto à importância do estado de conservação da tubulação que transporta os esgotos e quanto à conexão da rede de coletores aos interceptores.

As ações desenvolvidas pela COPASA para eliminar os lançamentos indevidos de esgoto nos córregos da bacia hidrográfica da Pampulha vem se intensificando desde 2009: a construção de 35 km de redes coletoras e interceptoras na margem esquerda da lagoa, na construção de linhas de recalque, além da construção de quatro estações elevatórias, que encaminharão os dejetos para a ETE do Onça. Outra importante obra é a implantação de redes interceptoras na Avenida Nacional, em Contagem. O Centro das Indústrias de Contagem (CINCO) e as Centrais de Abastecimento de Minas Gerais S.A. (CEASA), também receberão redes interceptoras complementares, além do Programa Caça-Esgoto que visa identificar e retirar os esgotos despejados inadequadamente nas galerias pluviais, nos córregos, nos rios e encaminhá-los para as estações de tratamento, com previsão de conclusão até 2012.

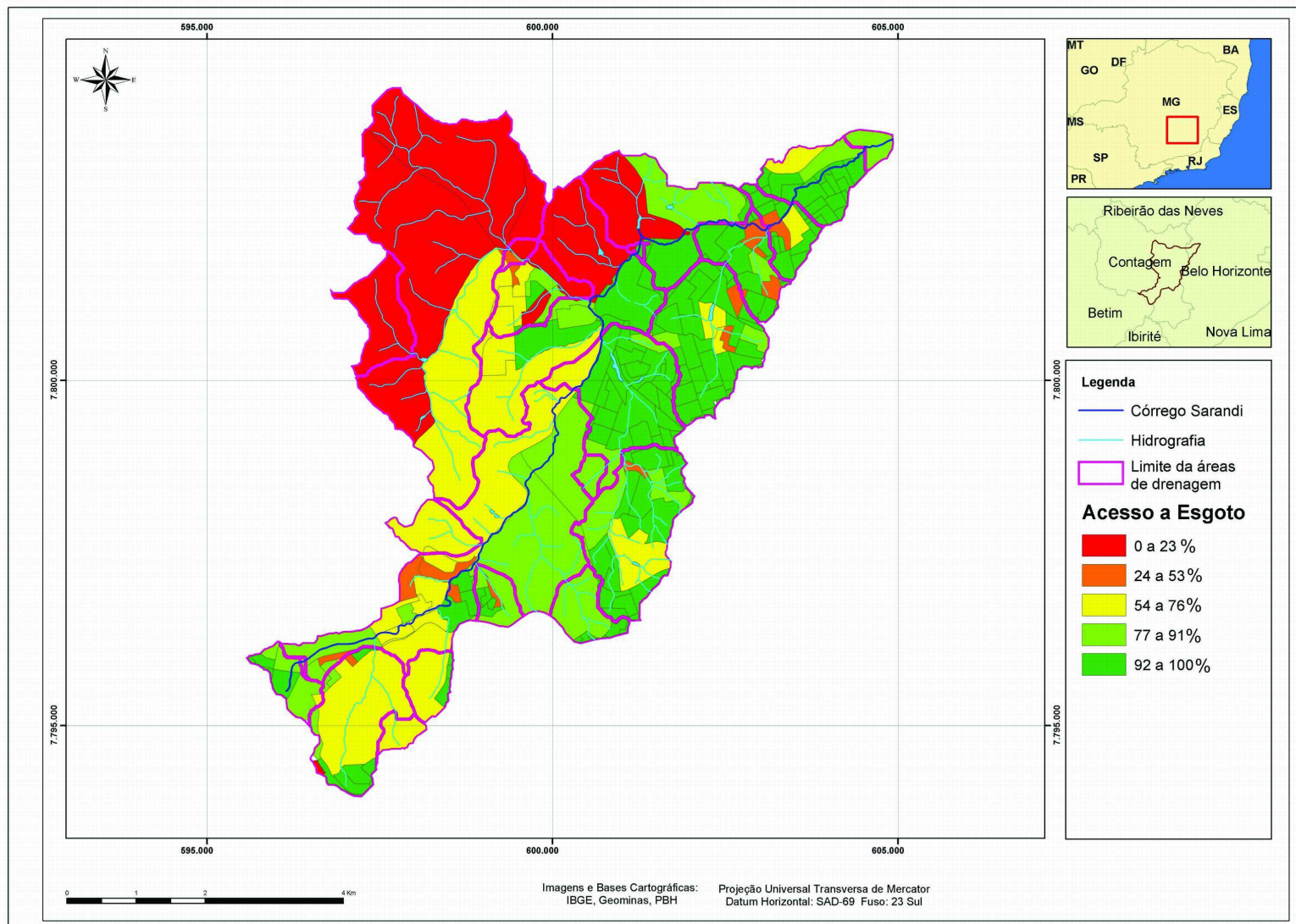


Figura 5.8 - Mapa de acesso a rede esgoto sanitário. Fonte: IBGE 2000.

### **5.2.12 Qualidade das águas superficiais da bacia do Rio das Velhas e seus afluentes – relatório anual 2007 (IGAM)**

O Índice de Qualidade das Águas – IQA é um facilitador na interpretação geral da condição de qualidade dos corpos de água, indicando o grau de contaminação das águas em função dos materiais orgânicos e fecais, dos nutrientes e sólidos em suspensão, que normalmente são indicadores de poluição devido aos esgotos sanitários.

A evolução temporal da média anual do IQA no período de 1997 a 2007 demonstra uma tendência de qualidade Média nas águas da Bacia do Rio das Velhas. Os parâmetros que mais influenciaram os valores dos IQAs Ruim e Muito Ruim que ocorreram em 2007 foram coliformes termotolerantes, turbidez, oxigênio dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio e fósforo total, que estão relacionados ao lançamento de esgotos domésticos sem tratamento no Rio das Velhas ou em seus afluentes. A turbidez é influenciada também pelo escoamento superficial, sobretudo no período de chuvas, indicando a má conservação dos solos ao longo do seu curso. Fatores como a disposição de resíduos sólidos nas margens ou diretamente nos corpos de água, lançamento de efluentes industriais, atividades minerárias, erosões e a má conservação dos solos também interferem sobre a qualidade dos corpos de água dessa bacia.

O decréscimo da qualidade das águas no Rio das Velhas ocorre após o recebimento dos afluentes ribeirões Sabará e Arrudas, sendo bastante agravada após a contribuição do ribeirão do Onça na RMBH. Nesses trechos do Rio das Velhas houve a predominância do IQA Ruim em seu alto-médio curso, é notável a partir da sua confluência com o ribeirão Arrudas e do Onça, que contribuem com o aumento da carga orgânica (DBO), contaminação fecal, nutrientes, sólidos em suspensão, e de contaminantes tóxicos.

A condição de qualidade Boa é observada à medida que esse corpo de água aproxima-se de sua foz no Rio São Francisco, localizada em Várzea da Palma, onde as águas encontram-se saturadas de oxigênio dissolvido e a quantidade de matéria orgânica é baixa, demonstrando melhor capacidade de autodepuração do Rio das Velhas, além do efeito de diluição. Essa melhoria pode estar associada aos investimentos em esgotamento sanitário realizados, como o tratamento secundário de esgotos no ribeirão Arrudas, e tratamento primário no ribeirão do Onça, que são os principais responsáveis pelo aporte de esgotos para o Rio das Velhas.

No ano de 2007, o Rio das Velhas apresentou predominância da Contaminação por Tóxicos Alta, que ocorreu em 50% das estações monitoradas. Apesar disso, a CT Baixa (determinada por concentrações inferiores a 1,2 vezes os limites de Classe de enquadramento,

estabelecidos na Resolução CONAMA 357/2005, ocorreu em 31% das estações, localizadas principalmente na região Metropolitana de Belo Horizonte. As constatações de CT Alta no Rio das Velhas em 2007 foram ocasionadas pelas ocorrências de arsênio, chumbo e cromo totais. O arsênio total foi responsável por 53,3% das determinações de CT Alta, o chumbo total por 26,7%, o cromo por 13,3%.

O plano de ação definido no Plano Diretor da Bacia do Rio das Velhas vem sendo desenvolvido em conjunto com o IGAM, FEAM, concessionárias de água e esgoto, Prefeituras municipais e Ministério público, com participação do Comitê de Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas, no intuito e priorizar a implantação e otimização dos sistemas de esgotamento sanitário e disposição de resíduos sólidos.

Com relação à contaminação por tóxicos, observa-se a necessidade de se priorizar a fiscalização nas indústrias instaladas na RMBH, no intuito de conter os danos ambientais e verificar a efetividade das ações de controle ambiental adotadas, suscitando um programa de melhoria da gestão ambiental.

Esse cenário da Bacia do Rio das Velhas demonstra a necessidade de se estudar suas sub-bacias como forma de conhecer a causa do problema e assim elaborar um plano de ação mais efetivo para solução do mesmo.



## 6 METODOLOGIA

A metodologia adotada teve como base o levantamento bibliográfico e cartográfico da área a ser estudada, seguido do reconhecimento em campo. A partir disso foi possível estruturar o desenvolvimento dos trabalhos em três etapas.

Na primeira etapa, chamada de Planejamento, se estabeleceu a rotina das atividades de campo:

- ✓ Definição das campanhas de amostragem de água e sedimentos,
- ✓ Definição dos pontos de amostragem, época de coleta, número de amostras;
- ✓ Escolha dos elementos químicos a serem analisados e métodos de análise química;
- ✓ Definição dos equipamentos de coleta, instrumentos analíticos de medição de parâmetros físico-químicos *in loco*, ensaios de laboratório;
- ✓ Dimensionamento do material e pessoal de apoio.
- ✓ Revisão bibliográfica

A segunda etapa, chamada de Execução, consistiu de

- ✓ Coleta e preparação de amostras
- ✓ Envio para análise química
- ✓ Elaboração de mapas e montagem do banco de dados
- ✓ Levantamento de dados secundários
- ✓ Diagnóstico de campo para identificação dos usos da bacia e registros fotográficos
- ✓ Análise dos dados de monitoramento do IGAM

A terceira etapa, chamada de Resultados, consistiu de:

- ✓ Montagem de banco de dados
- ✓ Compilação dos dados
- ✓ Tratamento dos dados utilizando um software estatístico no intuito de selecionar as variáveis ambientais e suas correlações
- ✓ Consultas a fontes documentais: teses e dissertações, relatórios de instituições públicas e arcabouço legal (leis estaduais e federais, decretos, resoluções e deliberações normativas), estudos anteriores das qualidades das águas superficiais da área de estudo, revistas, jornais, artigos científicos.
- ✓ Interpretação dos dados por meio de integração lógica, o que gerou e armazenou uma base de dados georreferenciados utilizando o software ArcGIS 9.3

- ✓ Elaboração dos mapas temáticos
- ✓ Elaboração da tese

### **6.1 Definição dos pontos de amostragem**

A escolha dos pontos de amostragem foi feita adotando-se uma distância entre os mesmos em torno de 1,5 km, no intuito de abranger o córrego em sua extensão, considerando tamanho da bacia e condições de acesso para realização da amostragem, a canaização e recobrimento do córrego (Fig. 6.1).

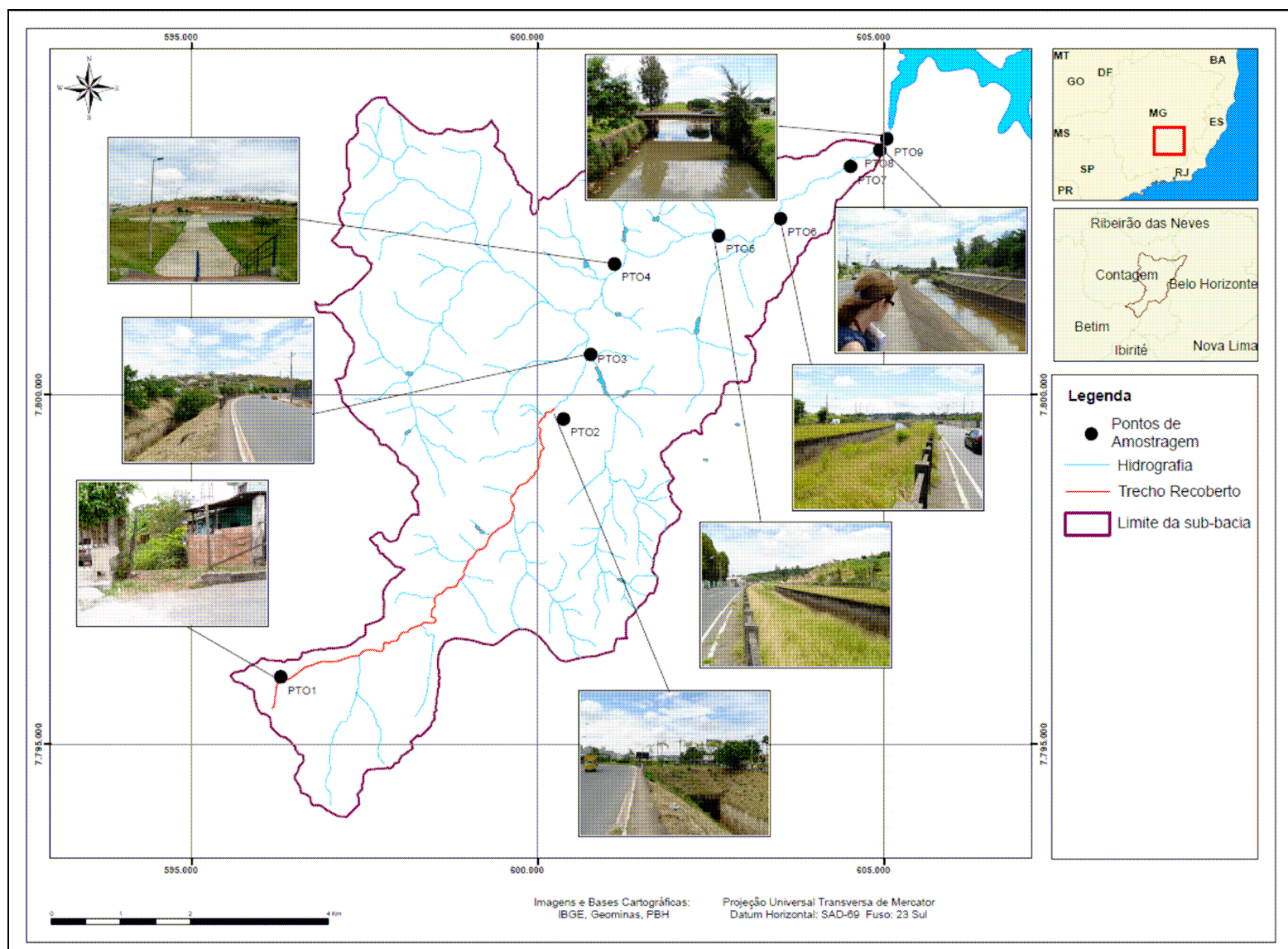


Figura 6.1 - Mapa da localização dos pontos de amostragem ao longo do córrego Sarandi.

Os pontos de amostragem, denominados PT01 a PT09, obedeceram a sequência numérica, partindo do ponto mais alto até a foz. A tabela 6.1 apresenta o registro das coordenadas geográficas e descrição de cada ponto.

*Tabela 6. - Localização dos pontos de coleta.*

Ponto	Coordenadas UTM X	Coordenadas UTM Y
PT01	596 285	7 795 969
PT02	600 369	7 799 658
PT03	600 762	7 800 580
PT04	601 107	7 801 873
PT05	602 612	7 802276
PT06	603768	7 802 081
PT07	604 515	7 803 269
PT08	604 938	7 803 503
PT09	605 041	7 803 664

### 6.1.1 Etapas de amostragem

Foram realizadas duas campanhas de amostragem:

Campanha no. 1 : chamada de exploratória, foi realizada no mês de agosto de 2007, estação seca, e teve por objetivo identificação dos elementos contaminantes nas águas e sedimentos, e servir de base ao planejamento das campanhas posteriores.

- ✓ Amostras de água: coleta realizada em todos os pontos definidos no estudo.
- ✓ Amostras de sedimentos: coleta realizada nos pontos PT01, PT03, PT05, PT08, PT09.

Campanha no. 2: esta campanha teve por objetivo conhecer a qualidade das águas do córrego Sarandi:

- ✓ Amostras de água: coleta realizada em todos os pontos, no período de agosto de 2007 a agosto de 2008, exceto mês de julho de 2008;
- ✓ Amostras de sedimentos: coleta foi realizada no período de 2007/2008, época de seca e chuvas. A coleta de sedimentos (duplicata) foi feita apenas nos pontos PT01, PT08 e PT09, em função da pequena quantidade de sedimentos na calha cimentada do córrego Sarandi.

## 6.2 Descrição da coleta e preparação de amostras

### Coleta de amostras

- ✓ Água: as amostras foram coletadas em baldes de 10 litros, previamente lavados com a água a ser amostrada. Em campo, foram realizadas medidas de pH, condutividade, temperatura e turbidez. Em seguida, as amostras foram transferidas e condicionadas, em recipientes de 2 litros, e levadas ao laboratório, onde foram filtradas e armazenadas à temperatura de 4° C em geladeira, até o momento para envio para análise química. *In situ* foram analisados os parâmetros físico-químicos não conservativos: oxigênio disponível, turbidez, condutividade elétrica e pH. Os instrumentos utilizados para as medições foram o medidor Oxygen Meter Modelo DO5510, Microprocessor Turbidity meter Hi 93703 e o microprocessador Waterproff Combo, respectivamente. A calibragem dos instrumentos foi realizada utilizando soluções-padrão. Foram coletadas 99 amostras de água superficial ao longo do perfil longitudinal do córrego.
- ✓ Sedimentos: o córrego Sarandi está canalizado (calha cimentada) e parcialmente recoberto, o que dificultou de forma significativa a coleta, pela pequena quantidade de sedimentos e pela dificuldade de acesso. Utilizou-se o amostrador do tipo cilíndrico feito em ferro fundido. O material coletado, foi condicionado em plásticos hermeticamente fechados e armazenados em geladeira à temperatura de 4° C. Em seguida o material foi preparado para análise granulométrica, química e difratométrica.

### Preparação de amostras para análise química

Água: em laboratório, retirou-se alíquota de 100ml de cada amostra de água, que foram submetidas à filtração em filtro tarja preta, seguido de filtro milipore 45 micra, para retirada de material em suspensão. Em seguida, adicionou-se ácido nítrico concentrado, remetendo a solução a pH <2, prevenindo perdas de elementos nas paredes dos frascos, bem como modificações químicas indesejáveis. As amostras foram armazenadas em geladeira a temperatura de 4° C. As amostras de água das 1ª. e 2ª. Campanhas foram analisadas por ICP-MS, no Centro de Investigação de Meio Ambiente- Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ, .MAGDEBURG. na Alemanha e por Absorção Atômica, no Laboratório do CDTN- Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear, respectivamente.

Sedimentos: As amostras da Campanha no. 1 foram devidamente armazenadas e acondicionadas e então, enviadas ao laboratório na Alemanha. Essas amostras não foram separadas em função do tamanho, sendo que a análise química foi realizada na amostra total. As amostras dos sedimentos da campanha no. 2 foram armazenadas em saco plástico e

armazenadas na geladeira (4°C) no laboratório do CMPTC/IGC.

Para análises químicas foi utilizado o espectrofotômetro de plasma de Argônio (ICP-OES), marca Spectro Analytical Instruments, modelo Spectroflame M DOS tipo FMV 05 S/N 06/089, n° do instrumento 4165/91, entrada de 220V, AC e 60Hz, potência de 7250 VA, com as seguintes características: Plasma indutivamente acoplado, rede de difração de 3600 riscos/mm, dois sistemas óticos em câmara não selada sem vácuo, purga de nitrogênio não instalada, sendo um sistema ótico seqüencial com alcance máximo de 4560A° e um sistema ótico simultâneo para determinação de terras raras e outros elementos a nível de ppm (La, Ce, Nd, Sm, Eu, Gd, Dy, Ho, Er, Yb, Lu, Y, Si, Ca, Al). Conectado a um sistema cooler do mesmo fabricante: Spectro Analytical Instruments com pressão circulante de 82 psi e temperatura regulada a 20°C, ligado à rede elétrica através de um conversor eletrônico de voltagem Televolt modelo EVA de 10 KVA. Leitura: 1200W de potência e nebulizador a 3bar.

Adotou-se o seguinte procedimento para preparação dessas amostras: disposição em bandejas ou vidros de relógio para secagem em estufa, à temperatura 90° C. Pelo processo sucessivo de quarteamento, foram separadas as alíquotas para envio à análise química, granulométrica e difratometria.

o Método de digestão ácida de sedimentos: Nas alíquotas destinadas ao peneiramento, foram separadas a fração <74 micra (fração silte-argilosa) que contém os principais carreadores geoquímicos de elementos-traço, tanto de origem natural, quanto antrópica. Essas frações foram pesadas (aproximadamente 1 g) em balança analítica, transferidas para o tubo de ensaio e então, submetida ao ataque com Água Régia 20% concentrada. A solução foi aquecida por uma hora em banho-maria, pré-aquecido em 180°C, e após resfriamento foi diluída com água deionizada e deixada decantar por 24 horas, até que a solução se apresentasse límpida para leitura. A solução foi introduzida no equipamento para leitura. Este método é denominado digestão semiquantitativa para determinação de metais extraíveis em minérios, sedimentos e solos. O ataque com água régia provoca a oxidação dos metais extraíveis, o que se explica pelo alto poder de complexação do íon cloreto e ao efeito catalítico do Cl<sub>2</sub> molecular e do NOCl(Cloreto Nitrosyl) A leitura dos metais foi realizada pelo ICP-OES, pertencente ao laboratório de geoquímica do CPMT/IGC/UFMG. Utilizou-se o método da curva analítica por meio de soluções padrão multielementares.

### 6.3 Definição dos elementos químicos e parâmetros físico-químicos

A tabela 6.2 apresenta os elementos químicos e parâmetros físico-químicos selecionados por campanha de amostragem.

Tabela 6.2- Resumo das análises químicas e parâmetros físico-químicos objetos do estudo

campanha no.	compartimento	elementos químicos	parâmetros físico-químicos	Método de análise química	Laboratório
1	água	Ca, K, Mg, Na, Al, Fe, Ba, Ti, As, Cd, Cu, Co, Cr, Ni, Pb, Zn	pH, turbidez, condutividade, temperatura, oxigênio dissolvido	ICP-MS	Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung - UFZ
	sedimento	Na, K, P, Mg, As, Cd, Cu, Cr, Ni, Pb, Zn, Fe e Mn	-	ICP-MS	Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung - UFZ
2	água	Al, Fe, Ti, As, Cd, Cu, Co, Cr, Ni, Pb, Zn, Mn	pH, turbidez, condutividade, temperatura, oxigênio dissolvido	Absorção atômica	CDTN
	sedimento	Ba, As, Cd, Cu, Cr, Ni, Pb, Zn, Fe e Mn	-	ICP-OES	CPMTC/IGC

### 6.4 Métodos de análises químicas

Os métodos de análise química utilizados na determinação de poluentes inorgânicos foram: ICP-MS- Espectrometria de massa acoplada à fonte de plasma, ICP-OES- Espectrômetro de Emissão Atômica com Plasma Indutivamente Acoplado e Absorção atômica. Estes métodos têm alta sensibilidade para detecção, somado à capacidade de determinação de 60 elementos da Tabela periódica em um único experimento.

#### 6.4.1 Espectrometria de Massa Acoplada a uma Fonte de Plasma (ICP-MS)

As análises de elementos- traço foram feitas por ICP-MS no Centro de Investigação de Meio Ambiente, Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ MAGDEBURG. na Alemanha.

As amostras, sob forma líquida, foram nebulizadas e transportadas em forma de aerossol ao plasma indutivo com o gás Argônio, de energia de ionização elevada, capaz de ionizar a maioria dos elementos da Tabela Periódica. É dentro do canal central do plasma de Argônio, onde a temperatura é de aproximadamente 8000° K, que as moléculas de amostra são dissociadas, os átomos excitados e então ionizados. Os íons positivos são extraídos e transportados ao centro de várias lentes eletromagnéticas onde são filtrados em função da

relação massa/carga ( $m/Z$ ) Os íons de mesma relação  $m/Z$  são detectados e armazenados em um sistema de tratamento de dados. No sistema de aquisição e tratamento de dados, os pulsos de contagem durante um tempo pré-estabelecido são estocados em um analisador multicanal (6000 canais). Cada canal corresponde a uma unidade de massa pré-fixada.

O ICP-MS possui grande sensibilidade de análise multielementar da ordem de ppb e ppt permitindo analisar todas as massas, de  $Z=3$  (Li) a  $Z=92$  (U), com exceção de algumas massas interditas devido a interferências. A amostra é rapidamente analisada permitindo varredura de todas as massas em alguns segundos. Capacidade multielementar, alta sensibilidade e homogeneidade da amostra são umas das vantagens do uso desta técnica. As dificuldades desta técnica são as possíveis interferências isobáricas e na etapa de preparação das amostras quando da análise de traços e ultra-traços, pelo risco de contaminação.

É recomendável o controle do método repetidamente, tanto por solução padrão e limpeza do aparelho com água ultra-pura. É necessário dissolver completamente os sedimentos para obter solução diluída ( $< 1$  g/L). Esta solução é muito difícil de ser obtida, devido à presença de óxidos metálicos refratários, o que diminui a sensibilidade (reagentes trazem contaminantes) e a precisão (alguns elementos podem ser perdidos). Exceto por estas desvantagens, ICP-MS é um potente método para estudos de poluição, especialmente para amostras líquidas.

#### **6.4.2 ICP-OES Espectrômetro de Emissão Atômica com Plasma Indutivamente Acoplado**

ICP-OES - Espectrômetro de Emissão Atômica com Plasma Indutivamente Acoplado, de Argônio do laboratório de geoquímica do CPMT/IGC/UFMG, equipamento Spectroflame Modelo 4165.

A leitura de amostras de água consistiu em medir a luz emitida pelo elemento em uma determinada amostra introduzida no equipamento. A medida da intensidade de emissão é, então, comparada a uma amostra padrão conhecida.

A amostra de sedimento foi preparada pelo método de digestão ácida semiquantitativa, descrita no item 6.2 e então, introduzida no equipamento. Cabe salientar que a digestão com Água Régia pode oxidar apenas parcialmente, ou não oxidar a matéria orgânica oriunda de solos e sedimentos. Eventual resíduo de matéria orgânica pode causar bloqueio dos nebulizadores do equipamento e prejudicar a leitura correta.

Este método permite analisar uma gama grande de elementos: Ag, Al, Ba, Be, Bi, Ca,



Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, P, Pb, Sn, Sr, Ti, V, Y, Zn.

### 6.4.3 Absorção atômica

As amostras de água foram analisadas por Espectrômetro de Absorção atômica, marca PERKIN ELMER do Laboratório do CDTN. O método baseia-se na absorção da energia radiante pelas espécies atômicas neutras, não-excitadas, em estado gasoso. Cada espécie atômica possui um espectro de absorção formado por uma série de estreitas raias características devidas a transições eletrônicas envolvendo os elétrons externos.

A maioria dessas transições corresponde a comprimentos de ondas nas regiões ultravioleta e visível. Certa espécie atômica, neutra e no estado fundamental, é capaz de absorver radiações de comprimentos de onda iguais aos das radiações que ela emite, quando excitada. O objeto da medida é a radiação absorvida pelos átomos neutros no estado fundamental.

Na absorção atômica, o elemento a determinar é levado à condição de uma dispersão atômica gasosa através da qual se faz passar, então, o feixe de radiação de uma fonte apropriada. O processo usual consiste em introduzir a solução da amostra, na forma de um aerossol, em uma chama apropriada. A extensão da absorção, que se processa a custa de transições eletrônicas do estado fundamental a um estado energético mais alto, é uma medida da população de átomos do elemento responsável presente na chama e, portanto, da concentração do elemento na amostra.

Os componentes fundamentais de um espectrofotômetro de absorção atômica compreendem uma fonte, que fornece as raias de emissão da espécie atômica interessada; um nebulizador-combustor, para induzir a amostra na forma de um aerossol na chama; um monocromador, para isolar o comprimento de onda desejado, e um sistema apropriado para medir a potência do sinal que alcança o detector fotossensível.

A espectrofotometria permite determinar em torno de 65 elementos na faixa de 1 a 10 ppm com precisão de +/-1% no mínimo. A detecção de um elemento depende de sua própria estrutura e do equipamento usado.

A alta potencialidade de determinação direta e indireta de metais de certos compostos orgânicos e alguns íons é muito grande. Atualmente qualquer metal da tabela periódica pode ser determinado por absorção atômica, com maior ou menor dificuldade.

Muitas das aplicações da absorção atômica, na determinação de traços de elementos em vários sistemas orgânicos, inorgânicos e biológicos, foram desenvolvidas e estão lentamente substituindo técnicas convencionais muito mais demoradas.

## **6.5 Análise granulométrica**

As alíquotas destinadas à separação granulométrica de sedimentos foram previamente secas a temperatura de 90°C e submetidas a peneiramento no intuito de se obter a fração <74 micra, dos pontos PT01, PT08, PT09.

O ensaio de peneiramento a seco foi realizado no laboratório do Processamento Mineral do CPMTC/UFMG. Utilizou-se uma série de peneiras: 0,250 mm, 0,125 mm e 0,074 mm. O tempo de peneiramento foi de 20 minutos e o nível de vibração 4. Após peneiramento as alíquotas foram pesadas em balança analítica em suas quatro frações, e então arquivadas para envio à análise química e difratometria.

## **6.6 Análise difratométrica**

Parte da fração fina (<0,074 mm) de cada amostra de sedimento, da Campanha no. 2, foi destinada para determinação da composição mineralógica por difratometria, isto é, parte da fração fina de sedimento foi individualizada, seca em estufa, desagregada e identificada para envio ao Laboratório de Difratometria de Raios X, do Centro de Pesquisa Manoel Teixeira da Costa, do IGC/ UFMG.

Foi utilizado o difratômetro da marca PANalytical, modelo XPert-PRO, com ânodo de cobre, filtro de níquel, fendas de 0,9570°, 45 mA de corrente e 40 kV de tensão do feixe.

## **6.7 Análises de matéria orgânica**

Alíquotas das amostras de sedimentos, fração <74 micra, dos pontos PT01, PT08 e PT09, época de seca e chuvas, foram enviadas para análise de matéria orgânica. As análises foram realizadas no laboratório do Instituto Mineiro de Agropecuária - IMA.

O procedimento gravimétrico consistiu na pesagem de uma quantidade de 10g de material <40µm (sedimento), com posterior aquecimento em seqüências crescentes de temperatura (105°C, 16 horas e 360°C, 2 horas). A perda expressa em percentagem da diferença de peso entre 105°C e 360°C corresponde às substâncias orgânicas, sendo seu valor dividido por 1,724 para obtenção do carbono orgânico.

## **6.8 Elaboração de mapas**

A confecção dos produtos cartográficos apresentados ao longo do trabalho foi feita a partir de mapas e informações disponíveis em instituições públicas, bem como em trabalhos já realizados na área de estudo. A partir destes mapas foi feita conversão para *shapefile*, formato

do software ArcGis 9.3. Algumas informações encontram-se fragmentadas e não possuem o mesmo grau de detalhamento ao longo da bacia. Os mapas geológico regional e local tiveram como base o Projeto Eixo Norte/ RMBH (2008); o mapa de esgotamento sanitário considerou a base de informações político-administrativas e demográficas obtidas junto ao IBGE (2000); os mapas de declividade e Modelo Digital de Terreno- MDT foram elaborados a partir de imagens ASTER Global Digital Elevation Model (2009); o mapa de uso e ocupação do solo foi gerado a partir da análise e da interpretação das imagens de satélite de alta resolução mais recentes disponíveis para a bacia (Google Earth), associadas às informações obtidas durante as atividades de campo que ocorreram na área. Cabe ressaltar, que se optou por gerar esse mapa de uso e ocupação do solo, pois as propostas encontradas em trabalhos anteriores não possuíam a escala e o detalhamento necessário para o presente estudo. .

### **6.9 Determinação dos fatores de contaminação para os sedimentos e definição do background**

A determinação da contaminação por elementos-traço do córrego Sarandi por meio dos sedimentos utilizou o modelo de Hakanson, considerando que este inclui o fator toxicidade.

Foram adotados os valores compilados por Turekian; Wedepohl (1961) como *background* (Tab.6.3). Esses valores têm sido muito usados em estudos sedimentológicos pela quantidade de fontes utilizadas para compor a distribuição geoquímica global, apesar das diferenças litológicas existentes na crosta terrestre, o que conferem a esses valores advertência quanto ao uso geral e irrestrito, sendo seu uso motivado pela inexistência dos valores de *background* da região em estudo.

*Tabela 6.3- Valores de Referência Global – Concentração peso seco - rocha sedimentar tipo Shale- Fonte: Turekian & Wedepohl (1961)*

Elemento	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Cd	Ba	Pb
teor mg.kg <sup>-1</sup>	90	850	47200	19	68	45	95	0,3	580	20

Förstner & Schoer (1984) recomendam, para reduzir o efeito do tamanho da partícula, a etapa de peneiramento, obtendo-se a fração argila, uma vez que esses elementos estão associados principalmente à argila e silte, fração equivalente ao material carregado em suspensão, que é o modo principal de transporte de sedimentos, aliado ao fato de que grande parte dos estudos adota procedimento de normalização na fração silte /argila.

## 6.10 Tratamento dos dados

Os dados obtidos foram avaliados e tratados de modo a conduzir ao entendimento do comportamento dos elementos-traço presentes nas águas e sedimentos ao longo do córrego Sarandi considerando as contribuições dos afluentes e as características do meio físico do entorno (geologia, geomorfologia, solos, hidrografia, clima e vegetação).

Os parâmetros físico-químicos e as análises químicas dos elementos metálicos medidos nas amostras de águas superficiais dos afluentes e das águas do córrego Sarandi bem como as análises químicas de elementos metálicos dos sedimentos do córrego Sarandi foram comparados aos valores exigidos nas normas legais, permitindo assim realizar a avaliação ambiental do corpo d'água.

### 6.10.1 Base de dados

O estudo considerou dois conjuntos de dados, a saber:

- ✓ Dados obtidos a partir das amostras de águas e sedimentos ao longo do córrego Sarandi – parâmetros químicos e físico-químicos da água ano 2007 (1º. Semestre), 2008 (2º. semestre) (Anexo I- Tab.1); e dados dos sedimentos (Tab. 9.4)
- ✓ Dados de monitoramento da qualidade das águas realizado pelo IGAM - Resultados das águas – parâmetros químicos e físico-químicos da água ano 2007(1º. Semestre) e ano 2008 (2º. Semestre) IGAM - Bacia da Pampulha (Anexo I- Tab. 1).

### 6.10.2 Sequência de ações para interpretação dos dados

O tratamento dos dados consistiu de três partes:

Parte no. 1: análise dos dados secundários de monitoramento das águas realizados pelo IGAM (2007), que permitiram conhecer e interpretar o comportamento geoambiental da Bacia do Sarandi.

Parte no.2: análise da qualidade do córrego Sarandi a partir dos dados primários da água e sedimentos.

Parte no. 3: identificação em campo do meio natural e socioeconômico com auxílio de imagens e fotointerpretação, resultando na integração lógica dos dados disponíveis.

Apresentam-se, a seguir, as ações realizadas para o alcance dos objetivos desse estudo:

- ✓ Análise estatística descritiva – com base nas ferramentas do MS- Excel 97

e do software estatístico Minitab 14;

- ✓ Estabelecimento de Histogramas experimentais;
- ✓ Análise da distribuição espacial das variáveis selecionadas.
- ✓ Caracterização da qualidade da água dos córregos que compõem a sub-bacia do Sarandi;
- ✓ Identificação da contaminação da água por elementos-traço dos afluentes da sub-bacia do Sarandi
- ✓ Caracterização da qualidade da água do córrego Sarandi
- ✓ Identificação da contaminação da água por elementos-traço do Córrego Sarandi;
- ✓ Identificação das fontes prováveis de contaminação e sua relevância no estado de contaminação da sub-bacia do Sarandi;
- ✓ Relação da distribuição dos elementos analisados com os fatores físico-químicos, geográficos e geomorfológicos;
- ✓ Determinação dos índices de contaminação dos sedimentos por elementos-traço ao longo do Córrego Sarandi;
- ✓ Determinação da vulnerabilidade ambiental das águas superficiais da sub-bacia do Sarandi à contaminação por elementos-traço;
- ✓ Determinação de variáveis importantes para avaliação da contaminação das águas por elementos-traço a serem consideradas nos instrumentos de gestão pública.

### **6.10.3 Determinação da vulnerabilidade ambiental da sub-bacia do Sarandi**

O processo de urbanização da sub-bacia do Sarandi, somado à concentração de indústrias e o adensamento populacional intenso e desorganizado, provocou uma ruptura no funcionamento do meio natural, isso se confirma pela qualidade das águas da sub-bacia. A predominância dos fatores antrópicos sobre os naturais não permite que se determine a vulnerabilidade natural, remetendo à reflexão sobre a proporção ideal de espaços construídos e livres de construção que um determinado ecossistema pode suportar.

Entretanto, cooube, nesse estudo, determinar a vulnerabilidade ambiental à contaminação por elementos tóxicos dessa área a partir dos fatores de contaminação por tóxicos (IGAM 2007-2008). A construção do mapa de vulnerabilidade ambiental tomou como base as áreas de drenagem relativas aos pontos de amostragem ao longo do córrego

Sarandi e pontos de monitoramento nos afluentes, bem como relacionaram-se esses pontos (Tab. 6.4).

*Tabela 6.4- Relação das áreas de contribuição por ponto de amostragem no córrego Sarandi.*

Pontos córrego Sarandi		Pontos IGAM															
PT01	PV010																
PT02	PV005	PV010	PV015	PV020	PV025	PV030	PV035										
PT03	PV005	PV010	PV015	PV020	PV025	PV030	PV035	PV040	PV045								
PT04	PV005	PV010	PV015	PV020	PV025	PV030	PV035	PV040	PV045	PV050	PV055	PV060	PV065				
PT05	PV005	PV010	PV015	PV020	PV025	PV030	PV035	PV040	PV045	PV050	PV055	PV060	PV065	PV070			
PT06	PV005	PV010	PV015	PV020	PV025	PV030	PV035	PV040	PV045	PV050	PV055	PV060	PV065	PV070	PV075	PV080	
PT07	PV005	PV010	PV015	PV020	PV025	PV030	PV035	PV040	PV045	PV050	PV055	PV060	PV065	PV070	PV075	PV080	
PT08	PV005	PV010	PV015	PV020	PV025	PV030	PV035	PV040	PV045	PV050	PV055	PV060	PV065	PV070	PV075	PV080	PV105
PT09	PV005	PV010	PV015	PV020	PV025	PV030	PV035	PV040	PV045	PV050	PV055	PV060	PV065	PV070	PV075	PV080	PV105

O conhecimento das características fisiográficas da bacia, por meio das informações cartográficas e dos dados de monitoramento das águas superficiais, acrescido das informações obtidas no trabalho de campo, permitiram estabelecer relações entre o meio natural e antrópico e o grau de interferência desses meios. O conjunto de dados de suporte à elaboração do mapa de vulnerabilidade ambiental foi dividido em dois grupos: os naturais e os antrópicos. Os aspectos geomorfológicos e geológicos foram cruzados com os seguintes fatores antrópicos: uso e ocupação do solo, densidade de ocupação urbana, tipos de fontes pontuais de tóxicos, acesso ao saneamento básico, canalização e recobrimento dos córregos, distribuição dos parâmetros físico-químicos e dos elementos-traço analisados nas águas.

Foram adotados três níveis distintos de vulnerabilidade: alto, médio e negligenciável. As áreas diretamente associadas às possíveis fontes de contaminação (pólos metalúrgicos, parques industriais e ao lixão desativado), foram delimitadas e classificadas como áreas de alta vulnerabilidade; as áreas adjacentes a essas, cuja drenagem superficial e subsuperficial são passíveis de contaminação em função de sua posição na bacia e as áreas próximas ao córrego Sarandi, essas, delimitadas pelo arruamento adjacente ao córrego (totalizando 17m para cada lado do córrego) foram classificadas como áreas de média vulnerabilidade; as demais áreas apresentaram nível negligenciável, em função da não existência da fonte de contaminação e/ou por estar situada à montante da área fonte.

As informações topográficas e em escala adequada ao estudo foram de grande valor para espacialização das informações e delimitação das bacias de contribuição. Foram utilizadas informações topográficas extraídas de imagens ASTER, onde foram aplicados algoritmos matemáticos, que permitiram a criação de matrizes de direção de fluxo e de fluxo acumulado no software ArcGis 9.3, gerando o Modelo Digital de Terreno hidrologicamente consistente e o mapa de declividade. Além disso, definiram-se os limites precisos da bacia do

córrego Sarandi bem como foi possível associá-la a rede de drenagem. Assim determinou-se a área diretamente afetada pelo uso e ocupação do solo na sub- bacia, a direção do fluxo da água dentro de cada trecho da bacia e seus reflexos ao longo da mesma.

As características sócio-demográficas da área foram extraídas do Censo demográfico, (IBGE 2000), e constituíram a base para elaboração do mapa de acesso ao saneamento básico.

## **7 ANÁLISE DOS DADOS DE MONITORAMENTO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS DA SUB-BACIA DO SARANDI (IGAM 2007-2008)**

A seguir, serão analisados os dados de monitoramento da qualidade das águas da sub-bacia do Sarandi, realizado pelo IGAM ,no período de 2007- 2008.

### **7.1 Análise espacial dos dados**

A análise espacial visa relacionar no ambiente geográfico, os pontos primários e secundários, a sua proximidade, a rede de drenagem de cada ponto e o ponto de interceptação de cada drenagem com o córrego Sarandi (Fig. 7.1).

A tabela 7.1 apresenta as coordenadas UTM dos pontos secundários considerados neste estudo.

*Tabela 7.1- Relação dos pontos monitorados da área de estudo.*

Código do Ponto	Curso d'água	coordenadas UTM	
		X	Y
PV005	Córrego Bairro do CINCO	597.732	7.795.032
PV010	Córrego Bernardo Monteiro	596.370	7.795.993
PV015	Córrego Sem Nome	597.447	7.796.141
PV020	Córrego Sandra Rocha	598.434	7.795.982
PV025	Córrego Aterro Perobas	599.109	7.797.146
PV030	Córrego do Cincão	598.996	7.797.700
PV035	Córrego Morada Nova	600.322	7.797.065
PV040	Córrego Bairro Oitis	600.835	7.798.858
PV045	Córrego Avenida 2	601.068	7.798.887
PV050	Córrego do Tapera	598.180	7.800.342
PV055	Córrego do Tapera	599.282	7.801.941
PV060	Córrego do Cabral	600.122	7.801.445
PV065	Córrego do Cabral	600.557	7.801.196
PV070	Córrego Sarandi	601.025	7.801.655
PV075	Córrego da Luzia	602.715	7.802.075
PV080	Córrego do Gandi	603.152	7.802.198



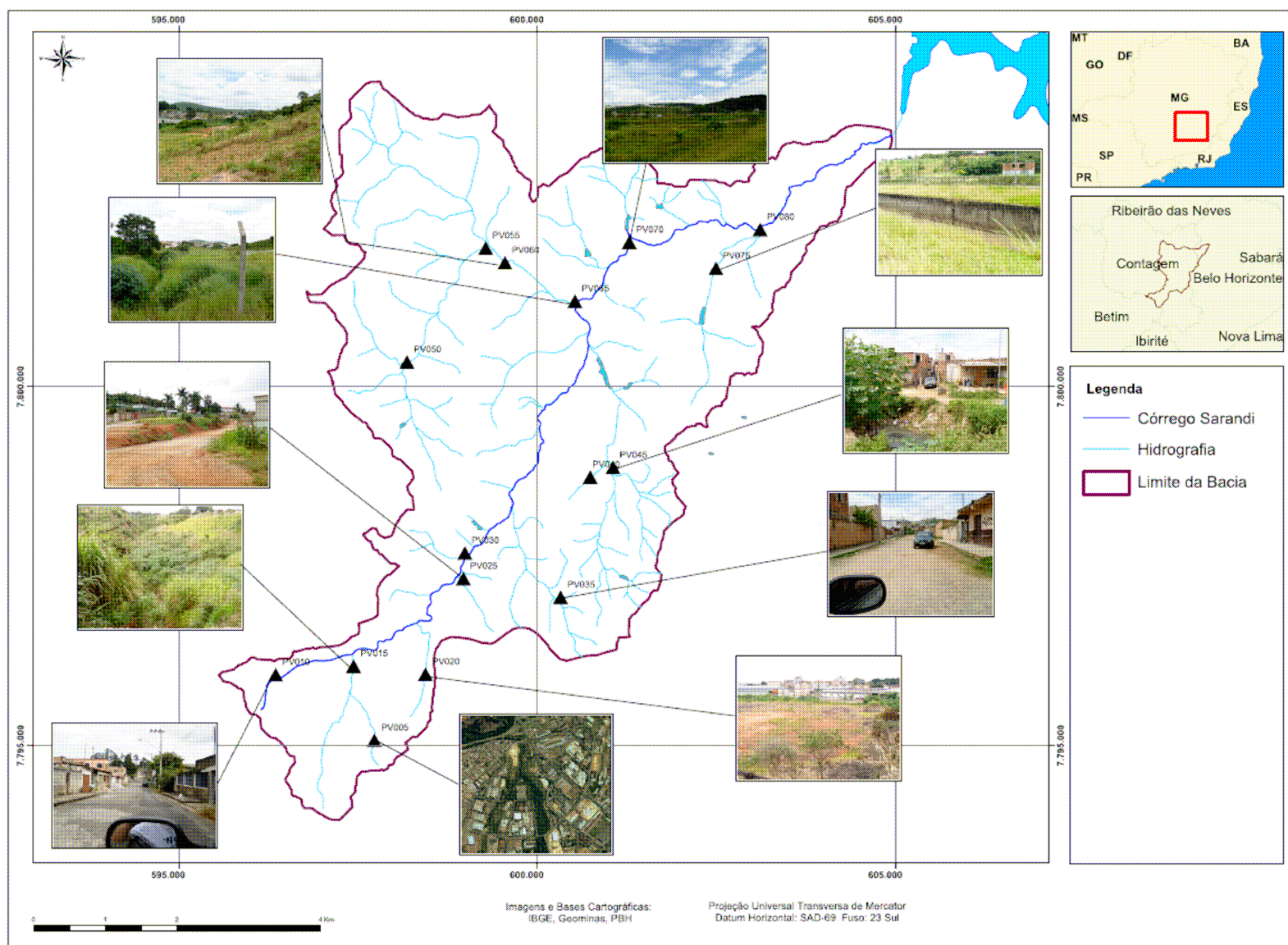


Figura 7.1 - Localização dos pontos de monitoramento dos afluentes da sub-bacia do Sarandi (IGAM-2007-2008).

### **7.1.1 Análise dos parâmetros físico-químicos**

A variação dos parâmetros físico-químicos, espacial e sazonal, dos afluentes da sub-bacia do Sarandi é apresentada a seguir (Figs. 7.2 a 7.15). A distância tomada para cada ponto na plotagem corresponde à distância linear em que a drenagem referente ao ponto intercepta o córrego Sarandi. A comparação destes dados é feita com os limites estabelecidos pela Resolução CONAMA No. 357/2005, que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e propõe diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes.

A figura 7.2 apresenta os resultados do parâmetro pH, medido nos afluentes que compõem a sub-bacia que variam entre 6,5 e 8,0, considerando época de seca e chuva; o que atende ao exigido pela Norma, indicando a diferença nas águas de cada afluente, o que sugere contribuições antropogênicas ou características físico-químicas distintas. A influência desta variável nos ecossistemas aquáticos naturais é importante, pois contribui para a precipitação e/ou mobilização de metais; em outras condições pode exercer efeito sobre as solubilidades de nutrientes. Por isso, as restrições de faixas de pH são estabelecidas para as diversas classes de águas naturais, tanto de acordo com a legislação federal, quanto pela legislação estadual. Os critérios de proteção à vida aquática fixam o pH entre 6 e 9. Valores ligeiramente alcalinos são explicados pela presença de carbonatos e bicarbonatos, podendo, naturalmente, refletir também desde o tipo de solo por onde a água percorre até as contribuições antropogênicas.

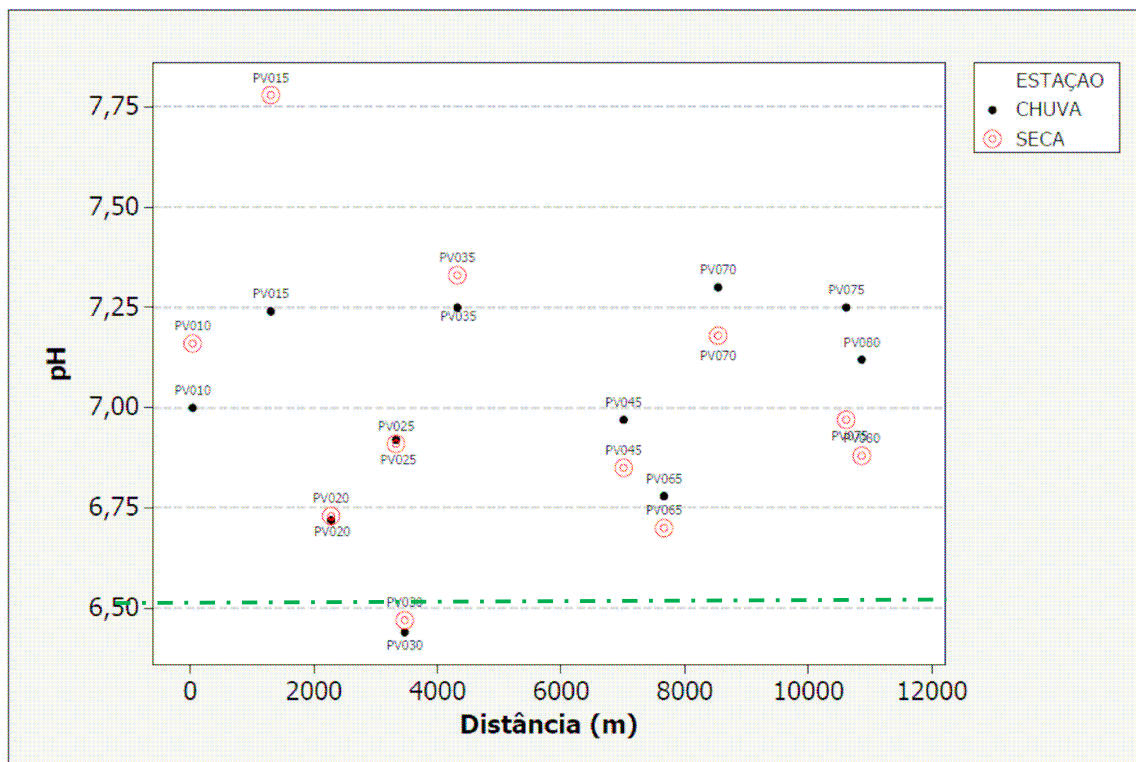


Figura 7.2- Variação do pH nos afluentes da sub-bacia do Sarandi (IGAM 2007)

Limite CONAMA No. 357/2005:  $6,5 < \text{pH} < 8,0$  (Linha traço-traço-pontilhada cor verde)

A figura 7.3 mostra que os valores da temperatura da água dos córregos na época de seca são inferiores aos da época de chuva. A faixa de variação deste parâmetro é de 21 a 29°C. Variações de temperatura são parte do regime climático normal e corpos de água naturais apresentam variações sazonais e diurnas. A variação da temperatura do corpo d'água geralmente pode ser explicada pelo recebimento de despejos das diversas indústrias presentes, sobressaindo a indústria de metalurgia.

A temperatura desempenha um papel principal de controle no meio aquático, condicionando as influências de uma série de variáveis físico-químicas. Organismos aquáticos possuem limites de tolerância térmica superior e inferior, temperaturas ótimas para crescimento, temperatura preferida em gradientes térmicos e limitações de temperatura para migração, desova e incubação do ovo.

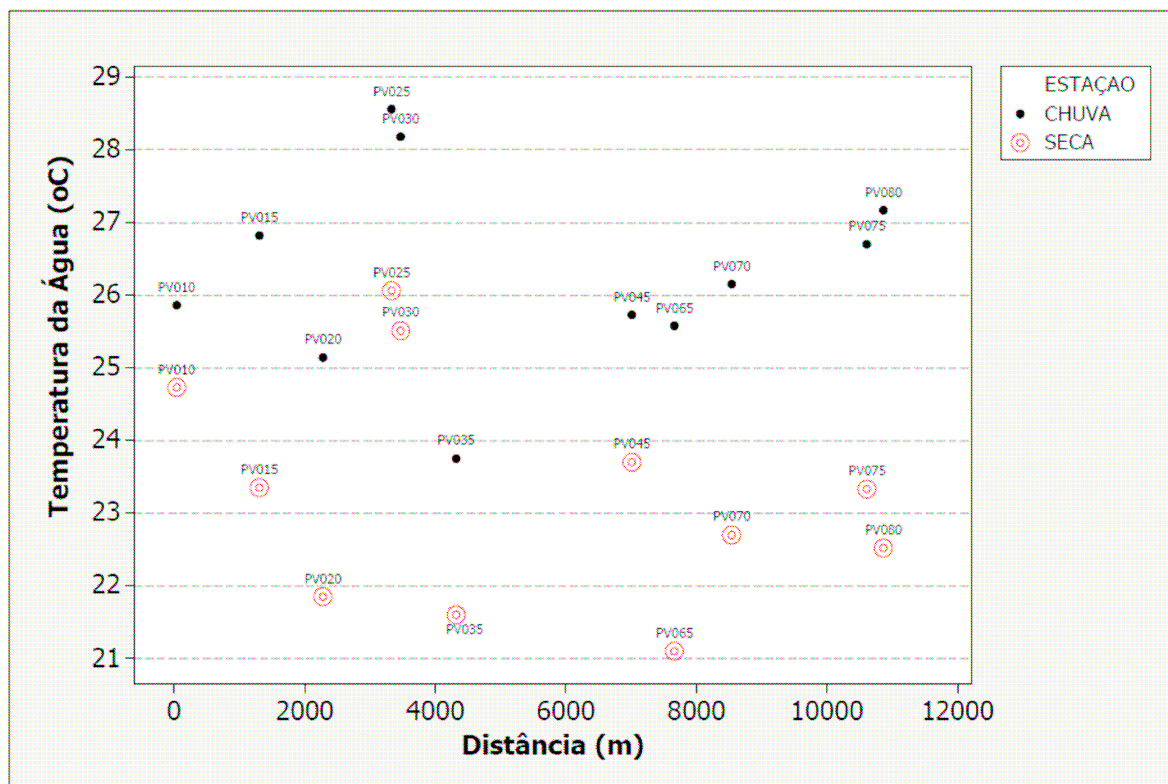


Figura 7.3- Variação da Temperatura nos afluentes da sub-bacia do Sarandi (IGAM 2007).

A figura 7.4 apresenta os valores de condutividade elétrica dos afluentes que compõem a sub-bacia do Sarandi com pequena variação considerando época de seca e chuva. Entretanto, ao considerar cada córrego da sub-bacia, observam-se valores entre 250 e 1550  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . A legislação não estabelece limite para este parâmetro, mas sua determinação se torna importante, mesmo não determinando especificamente quais os íons estão presentes em determinada amostra de água, mas contribui para reconhecimento de impactos ambientais que ocorram na bacia de drenagem ocasionados por lançamentos de resíduos industriais, mineração, esgotos, etc. Valores de condutividade elétrica inferiores a  $50 \mu\text{S cm}^{-1}$  são classificados como baixos, o que é típico de cursos d'água que drenam áreas de litologia constituída por rochas pouco resistentes ao intemperismo, como granitos e gnaisses, representam uma medida indireta da concentração de poluentes. Em geral, níveis superiores a  $100 \mu\text{S. cm}^{-1}$  indicam ambientes impactados. Os PV015 e PV030, pontos coletados no córrego Sarandi e córrego do Aterro Perobas, respectivamente, apresentam valores muito altos de condutividade, da ordem de  $1000 \mu\text{S.cm}^{-1}$ , demais córregos da sub-bacia apresentam valores altos de condutividade de  $400 \mu\text{S.cm}^{-1}$ , sugerindo assim emissão de poluentes diferentes. Este parâmetro está relacionado com a presença de íons dissolvidos na água, que são partículas carregadas eletricamente.

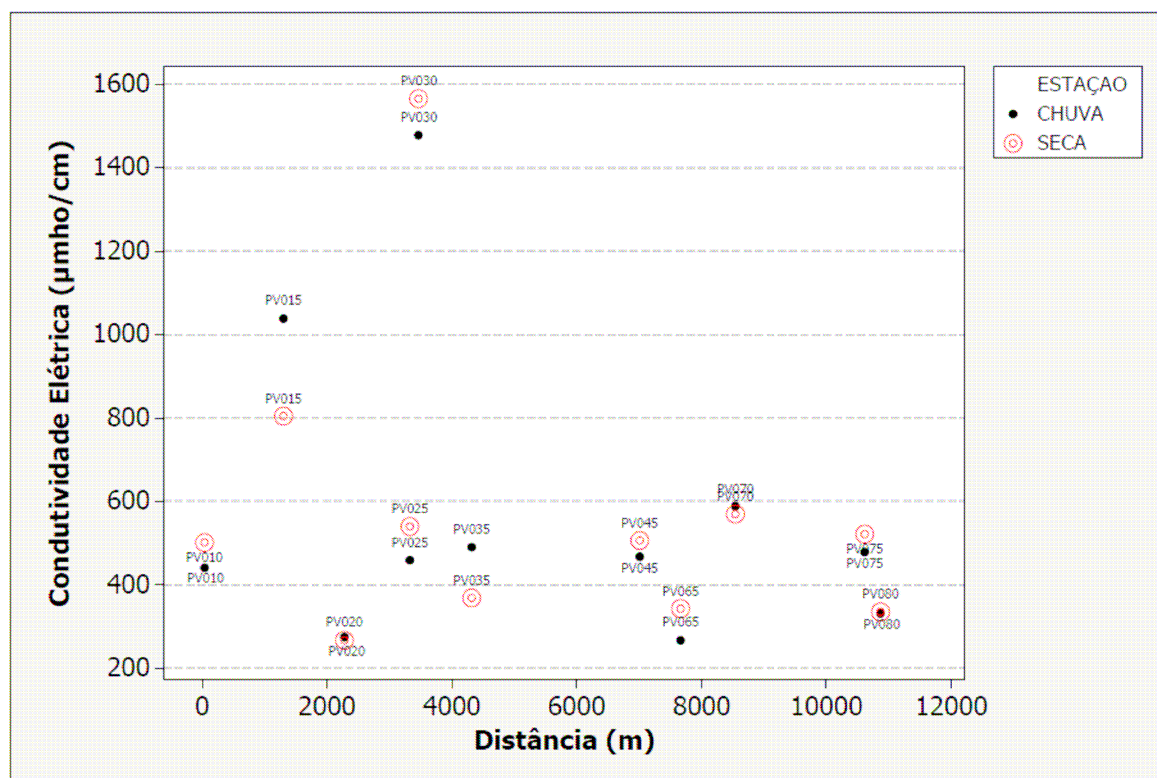


Figura 7.4 - Variação da Condutividade elétrica nos afluentes da sub-bacia do Sarandi (IGAM 2007).



A figura 7.5 apresenta os valores de turbidez dos afluentes do córrego Sarandi. À exceção dos pontos PV010, PV025 e PV075, correspondendo aos córregos Bairro Bernardo Monteiro, Sandra Rocha, e córrego da Luzia, os demais valores de turbidez encontram-se abaixo do limite máximo estabelecido na Norma.

A turbidez indica o grau de atenuação de intensidade que um feixe de luz sofre ao atravessar a água (esta redução dá-se por absorção e espalhamento, uma vez que as partículas que provocam turbidez nas águas são maiores que o comprimento de onda da luz branca), devido à presença de sólidos em suspensão, tais como partículas inorgânicas (areia, silte, argila) e de detritos orgânicos, algas e bactérias, plâncton em geral, etc. A erosão das margens dos rios em estações chuvosas é um exemplo de fenômeno que resulta em aumento da turbidez. A erosão pode decorrer do mau uso do solo em que se impede a fixação da vegetação. Este exemplo mostra também o caráter sistêmico da poluição, ocorrendo inter-relações ou transferência de problemas de um ambiente (água, ar ou solo) para outro. Os esgotos sanitários e diversos efluentes industriais também provocam elevações na turbidez das águas. Altos valores de turbidez respondem pela redução da fotossíntese de vegetação enraizada submersa e algas. Esse desenvolvimento reduzido de plantas pode, por sua vez, suprimir a produtividade de peixes. Logo, a turbidez pode influenciar nas comunidades biológicas aquáticas, além de afetar adversamente os usos doméstico, industrial e recreacional.

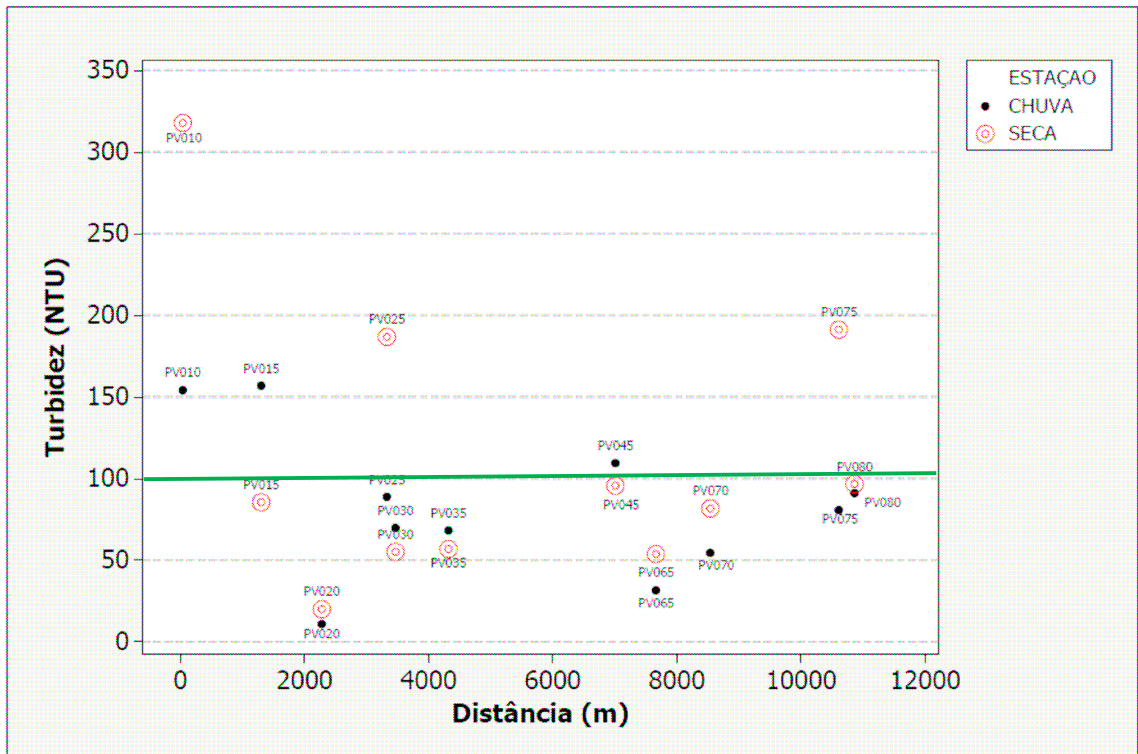


Figura 7.5 - Variação da Turbidez nos afluentes da sub-bacia do Sarandi (IGAM 2007)

Limite CONAMA No. 357/2005: 100 NTU (linha traço-pontilhada cor verde)

A figura 7.6 apresenta a medida dos sólidos totais, importante parâmetro para definir as condições ambientais baseadas nas premissas de que esses sólidos podem causar danos aos peixes e à vida aquática em geral, podendo danificar os leitos de desova de peixes, reterem bactérias e resíduos orgânicos no fundo dos rios, resultando em decomposição anaeróbia. Os afluentes correspondentes aos PV015, PV030 e PV075, da sub-bacia do Sarandi apresentam valores acima do exigido na Norma, sugerindo, serem distintos os fatores de pressão antrópica nesta área. Esse parâmetro apresenta comportamento próximo na época de seca e chuvas.

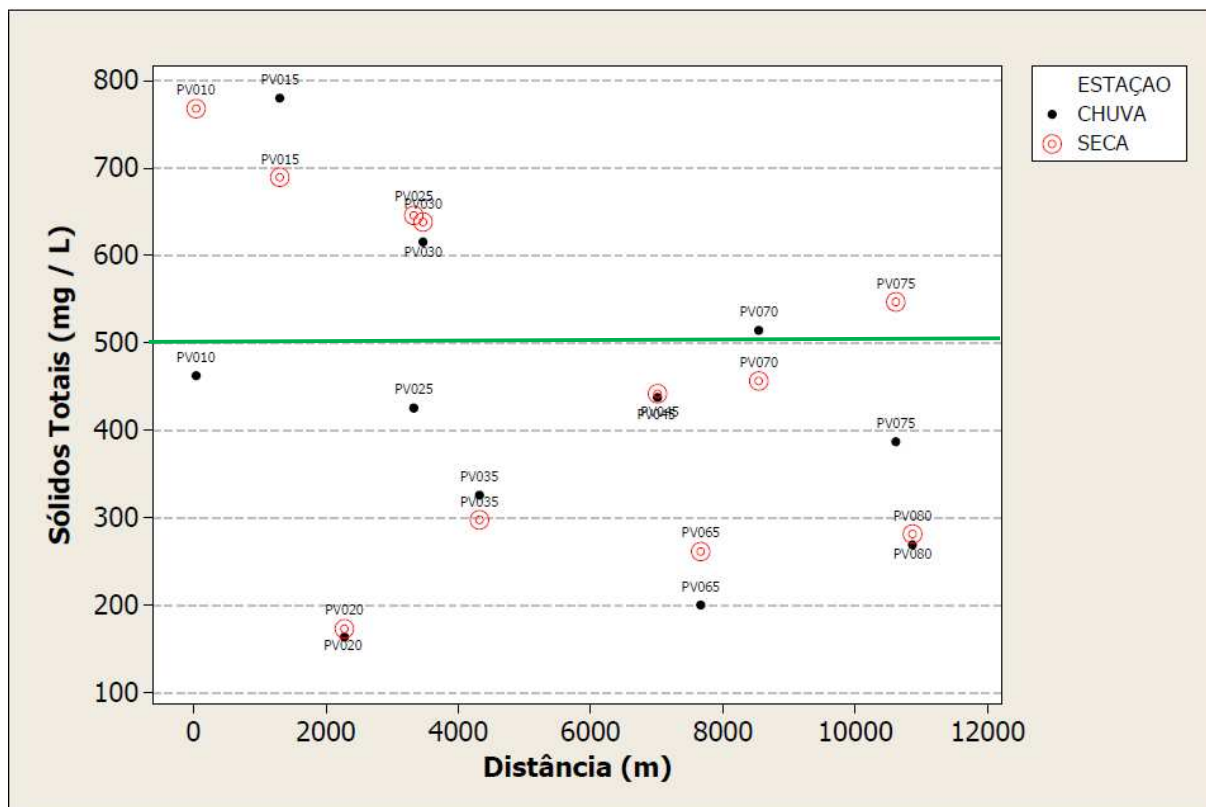


Figura 7.6 - Variação dos Sólidos totais nos afluentes da sub-bacia do Sarandi (IGAM 2007).

Limite CONAMA No. 357/2005: 500 mg.L<sup>-1</sup> (linha traço-pontilhada em cor verde)



A figura 7.7 apresenta o material em suspensão, que é o material particulado não dissolvido, encontrado suspenso no corpo d'água, composto por substâncias inorgânicas e orgânicas, incluindo-se os organismos planctônicos (fito e zooplâncton). Sua principal influência é na diminuição na transparência da água, impedindo a penetração da luz. Os valores de sólidos em suspensão dos afluentes da sub-bacia apresentados indicam sistematicamente valores mais altos para época da seca em relação à época de chuvas, o que pode ser explicado pela falta de turbulência que ocorre na época de seca, favorecendo a sedimentação desses sólidos. A Norma estabelece, para este parâmetro, nível de “virtualmente presentes”, o que coloca, à exceção do PV020, os demais pontos acima do valor estabelecido pela Norma.

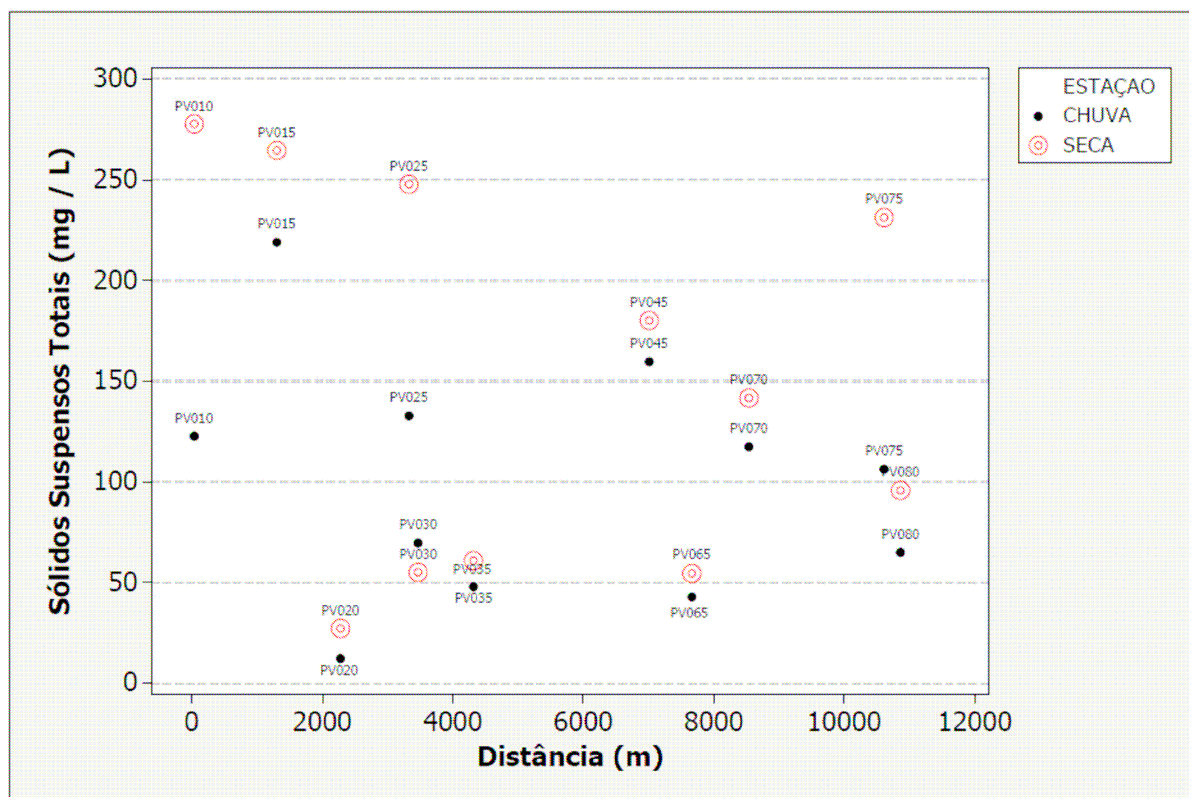


Figura 7.7 - Variação dos Sólidos suspensos nos afluentes da sub-bacia do Sarandi (IGAM 2007)

Limite CONAMA No. 357/2005: “virtualmente presentes”

Os níveis de cloreto encontrados nos afluentes da sub-bacia encontram-se bem abaixo do limite estabelecido em legislação (Fig. 7.8). Os pontos PV015 e PV030 apresentam valores mais altos, sugerindo condição pontual diversa nesses pontos, mesmo que atendendo ao exigido pela Norma. É um parâmetro de potabilidade, sendo este parâmetro indicativo de lançamento de esgotos sanitários, efluentes de indústria do petróleo, algumas indústrias farmacêuticas, curtumes. A importância no controle deste parâmetro se faz pelo fato de sua interferência na determinação de DQO somado ao fato de que interfere no tratamento anaeróbio de efluentes industriais.

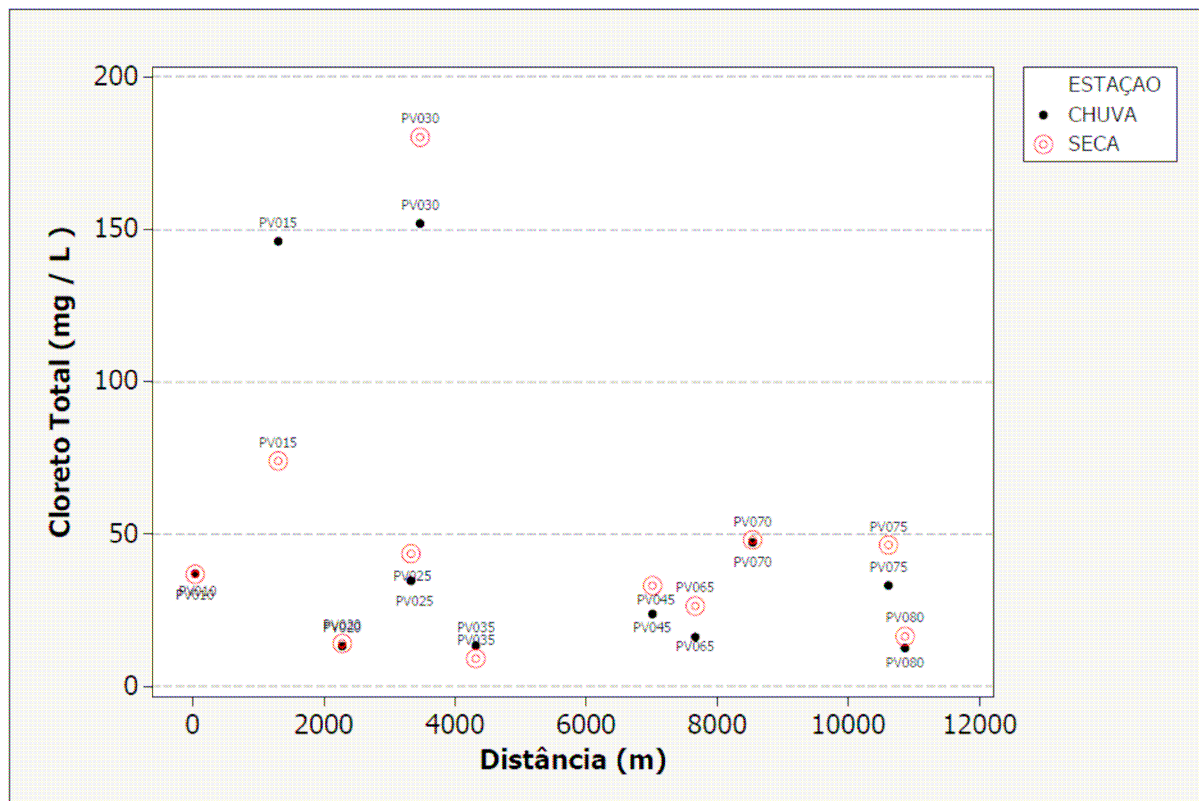


Figura 7.8 - Variação de Cloreto nos afluentes da sub-bacia do Sarandi (IGAM 2007)

Limite CONAMA No. 357/2005: máximo 250 mg . L<sup>-1</sup>,

A variação do Fósforo ao longo da sub-bacia na época de seca apresenta valores sistematicamente superiores aos valores da época das chuvas, mas todos acima do estabelecido em legislação (Fig.7.9). Fontes prováveis de fósforo são lançamento de esgotos sanitários com destaque para os detergentes superfosfatados empregados em larga escala domesticamente; lançamento de efluentes de indústrias de fertilizantes, pesticidas, químicas em geral, conservas alimentícias, abatedouros, frigoríficos e laticínios, que apresentam fósforo em quantidades excessivas e águas drenadas em áreas agrícolas e urbanas. O controle deste parâmetro é importante para caracterização de efluentes industriais na definição do processo de tratamento biológico destes efluentes, lembrando que, como nutriente nos processos biológicos, o excesso nos esgotos sanitários e efluentes industriais resulta em processos de eutrofização das águas.

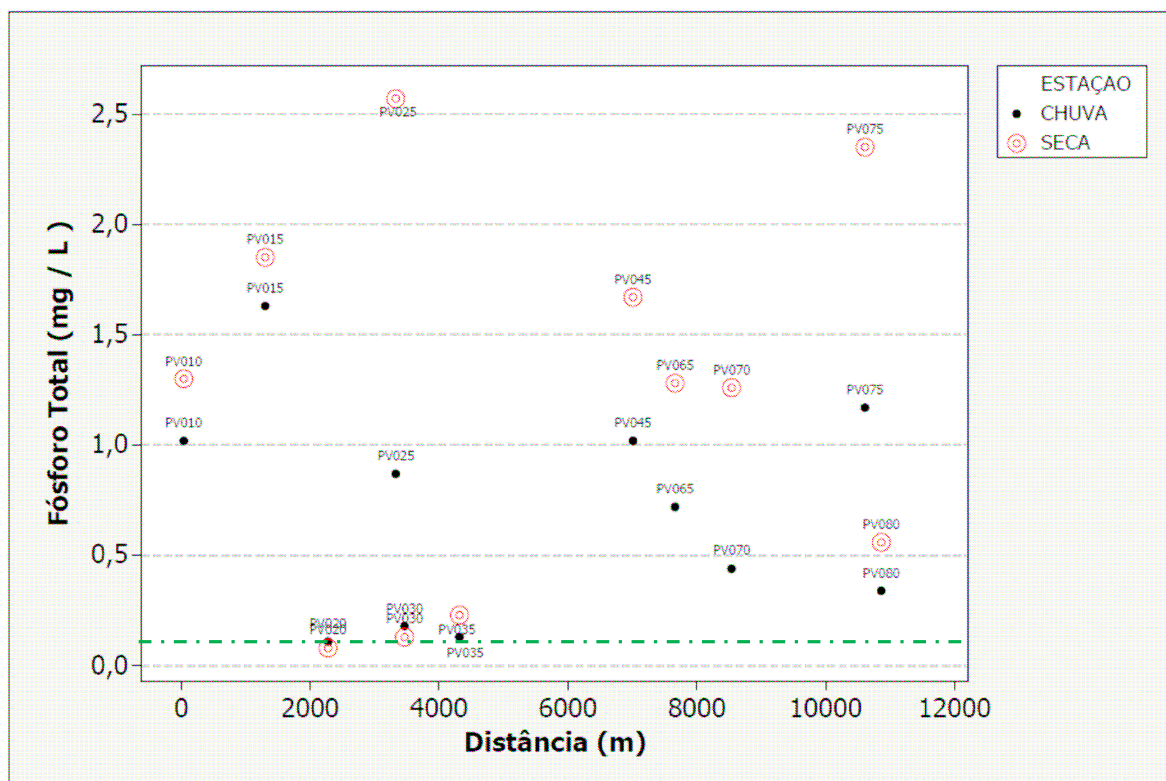


Figura 7.9 - Variação de Fósforo nos afluentes da sub-bacia do Sarandi (IGAM 2007).

Limite CONAMA No. 357/2005: máximo 0,050 mg.L<sup>-1</sup> (linha traço-pontilhada em cor verde)

O comportamento do Nitrogênio Amoniacal nos córregos que compõem a sub-bacia é semelhante na época de seca e chuva (Fig.7.10). À exceção dos PV020 e PV035, todos os pontos apresentam valores acima do estabelecido em legislação, sugerindo a presença de grande quantidade de matéria orgânica em decomposição.

A Resolução CONAMA No. 357/2005 define este parâmetro como padrão de classificação das águas naturais e padrão de emissão de esgotos. A amônia é um tóxico bastante restritivo à vida dos peixes, sendo que muitas espécies não suportam concentrações acima de  $5 \text{ mg.L}^{-1}$ . Além disso, a amônia provoca consumo de oxigênio dissolvido das águas naturais, ao ser oxidada biologicamente, a chamada DBO de segundo estágio. Isso explica a importância do controle desse parâmetro na classificação das águas naturais e normalmente utilizado na constituição de índices de qualidade das águas. O nitrogênio amoniacal pode estar presente na água natural em baixos teores, tanto na forma ionizada ( $\text{NH}_4^+$ ), como na forma tóxica não-ionizada ( $\text{NH}_3$ ), como resultado do processo de degeneração biológica de matéria orgânica animal e vegetal. Dependendo da qualidade da água, esta amônia pode acumular-se ou se transformar em nitrito/nitrato por ação de bactérias aeróbicas. Sua presença excessiva na água aponta também que o ambiente tem baixo índice de oxigênio. O PV030 destaca-se por seu nível muito alto, indicando uma contribuição antrópica diferenciada neste córrego.

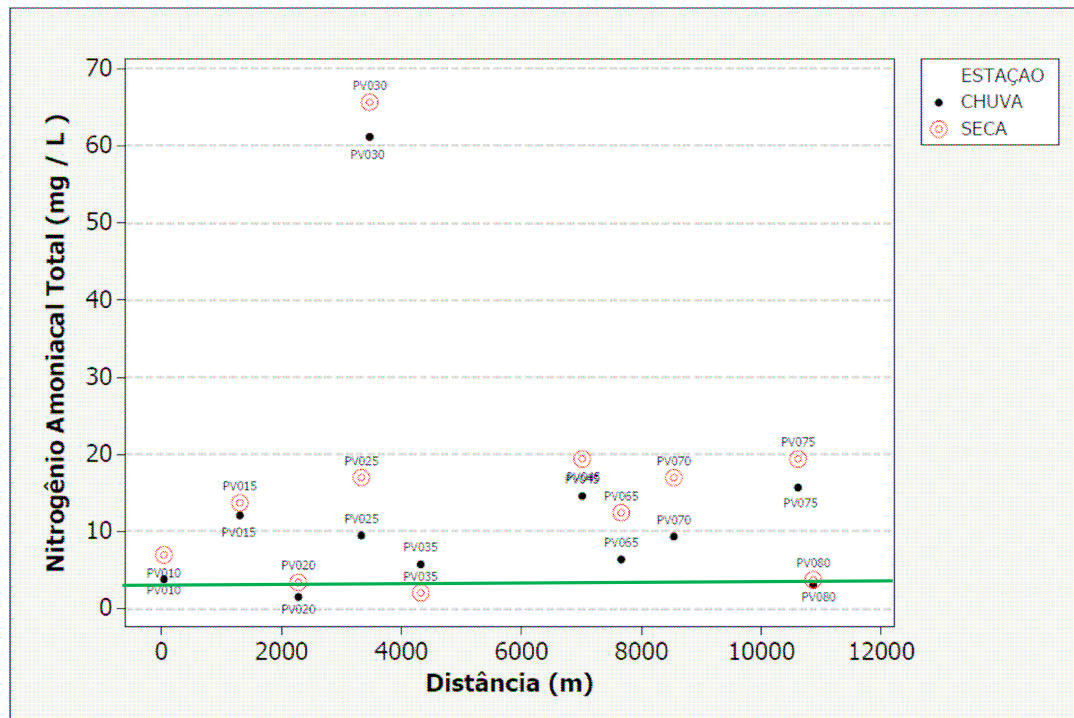


Figura 7.10- Variação de Nitrogênio amoniacal nos afluentes da sub-bacia do Sarandi (IGAM 2007).

Limite CONAMA No. 357/2005: máximo  $3,7 \text{ mg.L}^{-1}$  (linha traço-pontilhada em cor verde)

Os valores de Oxigênio Dissolvido nos córregos da sub-bacia do Sarandi se mostram abaixo do limite mínimo exigido pela Norma, indicando que os córregos encontram-se poluídos do ponto de vista orgânico. Entretanto, observa-se tendência a crescimento a partir do PV075 (Fig.7.11).

O oxigênio dissolvido é essencial para a manutenção de processos de autodepuração em sistemas aquáticos naturais e estações de tratamento de esgotos. Durante a estabilização da matéria orgânica, as bactérias fazem uso do oxigênio nos seus processos respiratórios, podendo vir a causar uma redução de sua concentração no meio. Através da medição do teor de oxigênio dissolvido, os efeitos de resíduos oxidáveis sobre águas receptoras e a eficiência do tratamento dos esgotos durante a oxidação bioquímica, podem ser avaliados. Como consequência dos baixos níveis de oxigênio dissolvido tem-se a incapacidade destes córregos em manter a vida aquática.

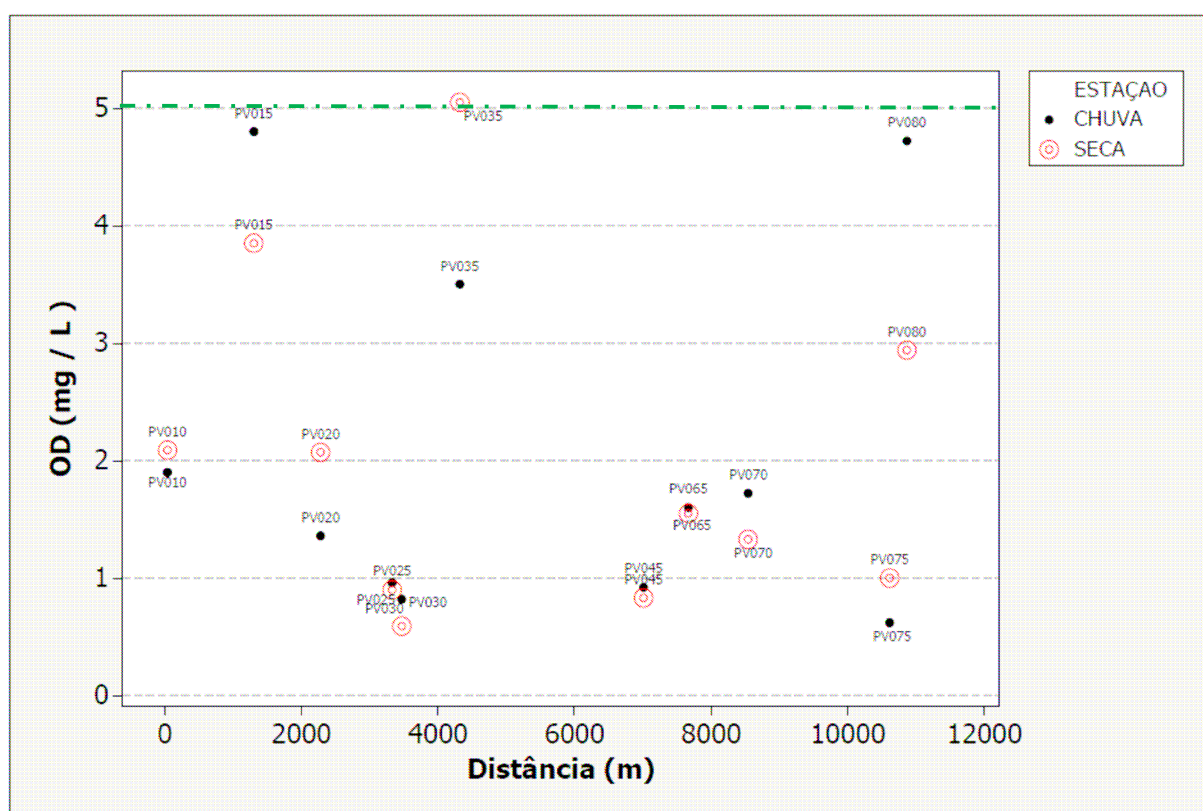


Figura 7.11- Variação de Oxigênio disponível nos afluentes da sub-bacia do Sarandi (IGAM 2007).

Limite CONAMA No. 357/2005: mínimo: 5,0 mg.L<sup>-1</sup> (linha traço-pontilhada em cor verde)



Os valores de Demanda Bioquímica de Oxigênio nos córregos da sub-bacia do Sarandi se mostram acima do limite exigido pela Norma (Fig.7.12), confirmando poluição orgânica dos córregos. Os maiores aumentos em termos de  $DBO_{5,20}$ , num corpo d'água, são provocados por despejos de origem predominantemente orgânica. A presença de um alto teor de matéria orgânica pode induzir ao completo esgotamento do oxigênio na água, provocando o desaparecimento de peixes e outras formas de vida aquática. Um elevado valor da  $DBO_{5,20}$  pode indicar um incremento da microflora presente e interferir no equilíbrio da vida aquática, além de produzir sabores e odores desagradáveis além da possibilidade de obstrução dos filtros de areia utilizados nas estações de tratamento de água.

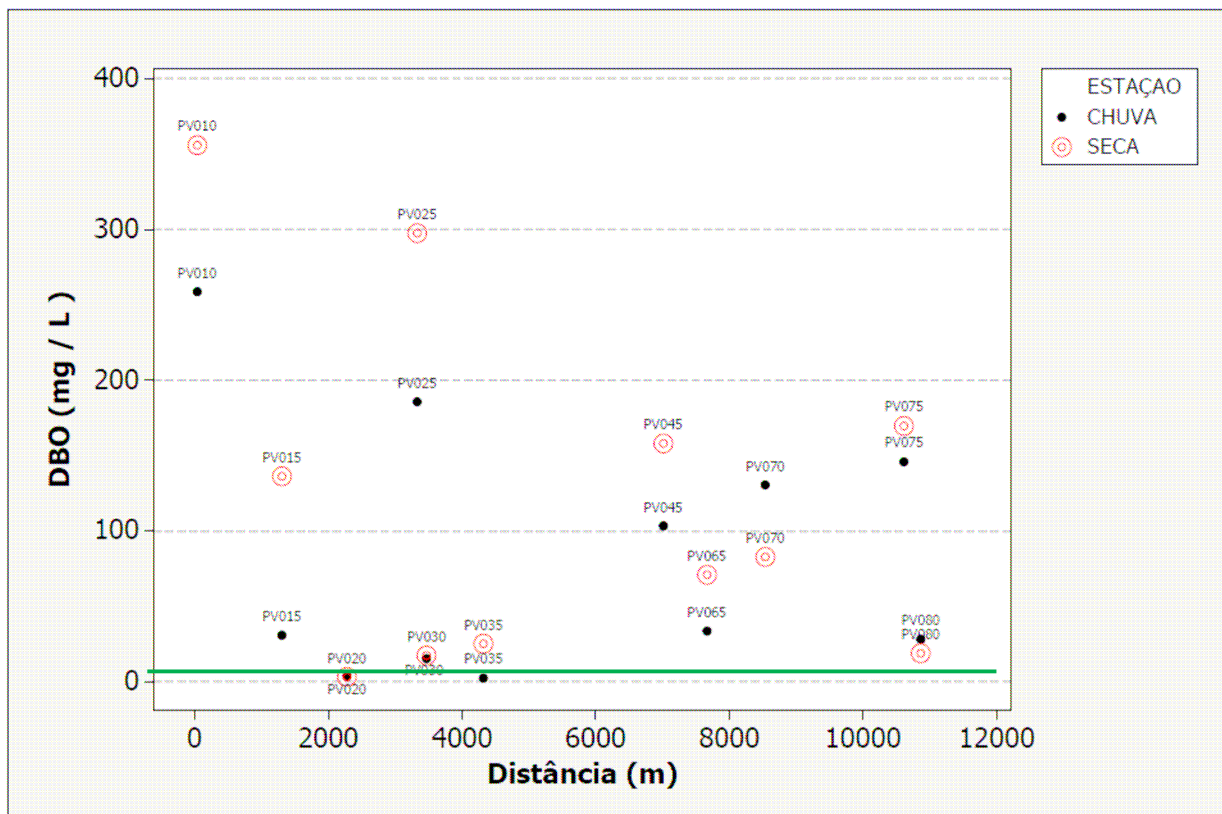


Figura 7.12- Variação da Demanda Bioquímica de Oxigênio nos afluentes da sub-bacia do Sarandi (IGAM 2007)

Limite CONAMA No. 357/2005: máximo:  $5,0 \text{ mg.L}^{-1}$  (linha traço-pontilhada em cor verde)

A figura 7.13 apresenta os teores de DQO ao longo dos afluentes. À quantidade de oxigênio necessária para oxidação da matéria orgânica através de um agente químico se chama DQO - Demanda Química de Oxigênio. O aumento da concentração de DQO em um corpo d'água deve-se principalmente a despejos de origem industrial. A legislação não prevê limite para este parâmetro. Os valores da DQO - normalmente são maiores que os da DBO<sub>5,20</sub>.

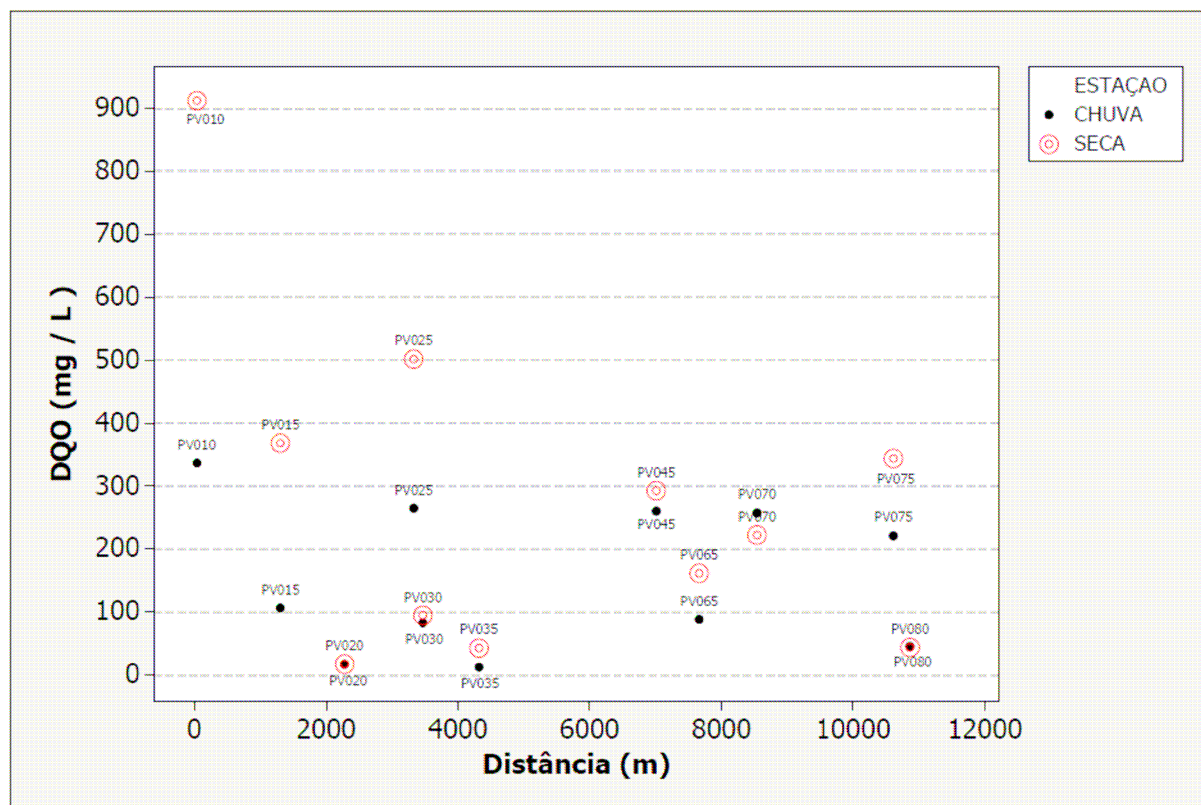


Figura 7.13- Variação de Demanda Química de Oxigênio nos afluentes da sub-bacia do Sarandi (IGAM 2007).

A DQO é um parâmetro indispensável nos estudos de caracterização de esgotos sanitários e de efluentes industriais, muito útil quando utilizada conjuntamente com a DBO<sub>5,20</sub> para observar a biodegradabilidade de despejos.

Não tem limite estabelecido em Legislação, mas Crites & Tchobanoglous (1998) afirmam que a relação DQO/DBO é importante, pois indica a presença ou não de esgoto industrial, informa quanto à biodegradabilidade do efluente, isto é, se relação DQO/DBO >1,7 apenas o tratamento biológico não é suficiente, por ser inadequado, podendo prejudicar o tratamento biológico com grande possibilidade de insucesso. Além de, caso os valores sejam superiores a 3,0, os despejos poderão conter componentes tóxicos e haverá dificuldade para a aclimatação de microrganismos aeróbios responsáveis pela degradação da matéria orgânica, prejudicando as condições operacionais do tratamento. A figura 7.14 apresenta o comportamento da DBO/DQO e confirma a presença de efluentes industriais e tóxicos.

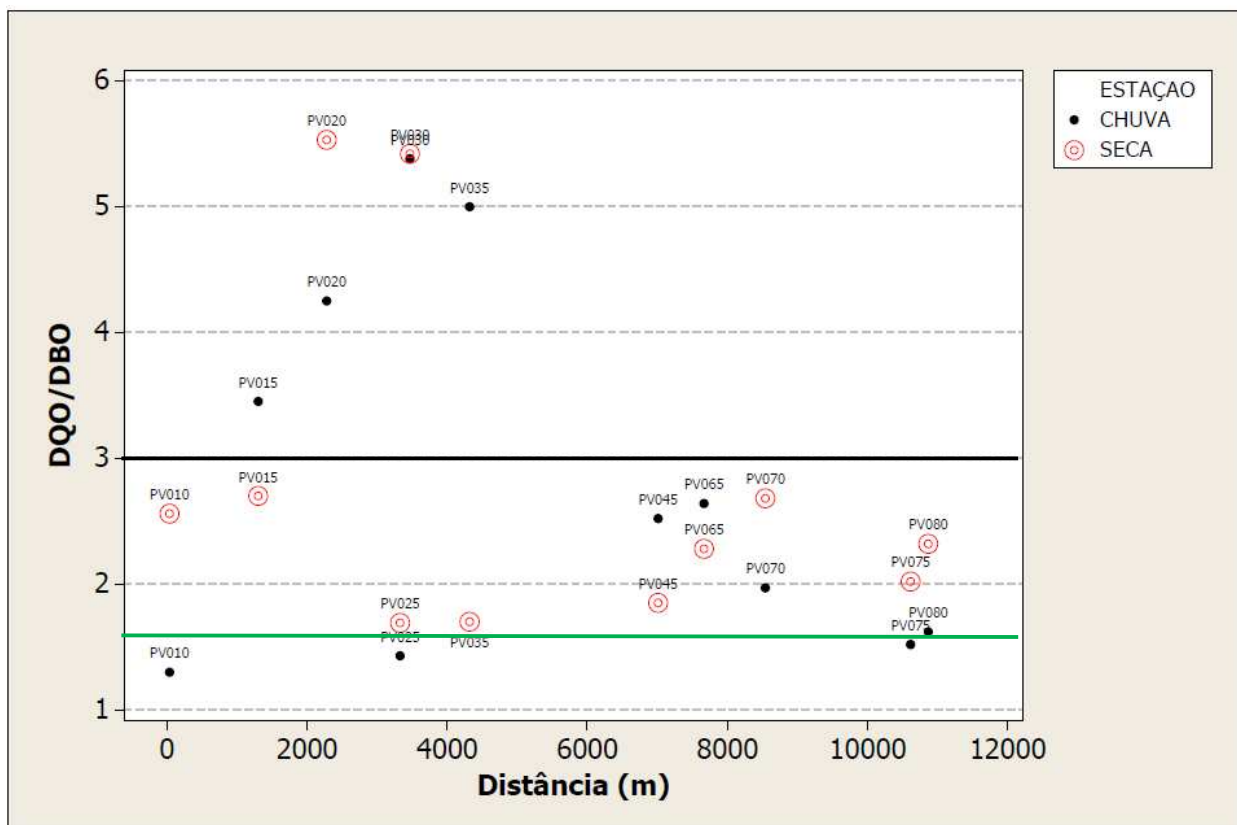


Figura 7.14 - Variação da relação DQO/DBO nos afluentes da sub-bacia do Sarandi (IGAM 2007).

Limite definição efluente tóxico - linha traço-pontilhada em cor preta;

Limite definição efluente industrial - linha traço-pontilhada em cor verde (Crites & Tchobanoglous 1998)



Em todos os afluentes da sub-bacia do Sarandi, o nível de coliformes termotolerantes está acima do estabelecido na Norma, indicando contaminação fecal (Fig.7.15). A determinação da concentração deste parâmetro assume importância como indicador da possibilidade da existência de microorganismos patogênicos, responsáveis pela transmissão de doenças de veiculação hídrica, tais como febre tifóide, febre paratifóide, disenteria bacilar e cólera.

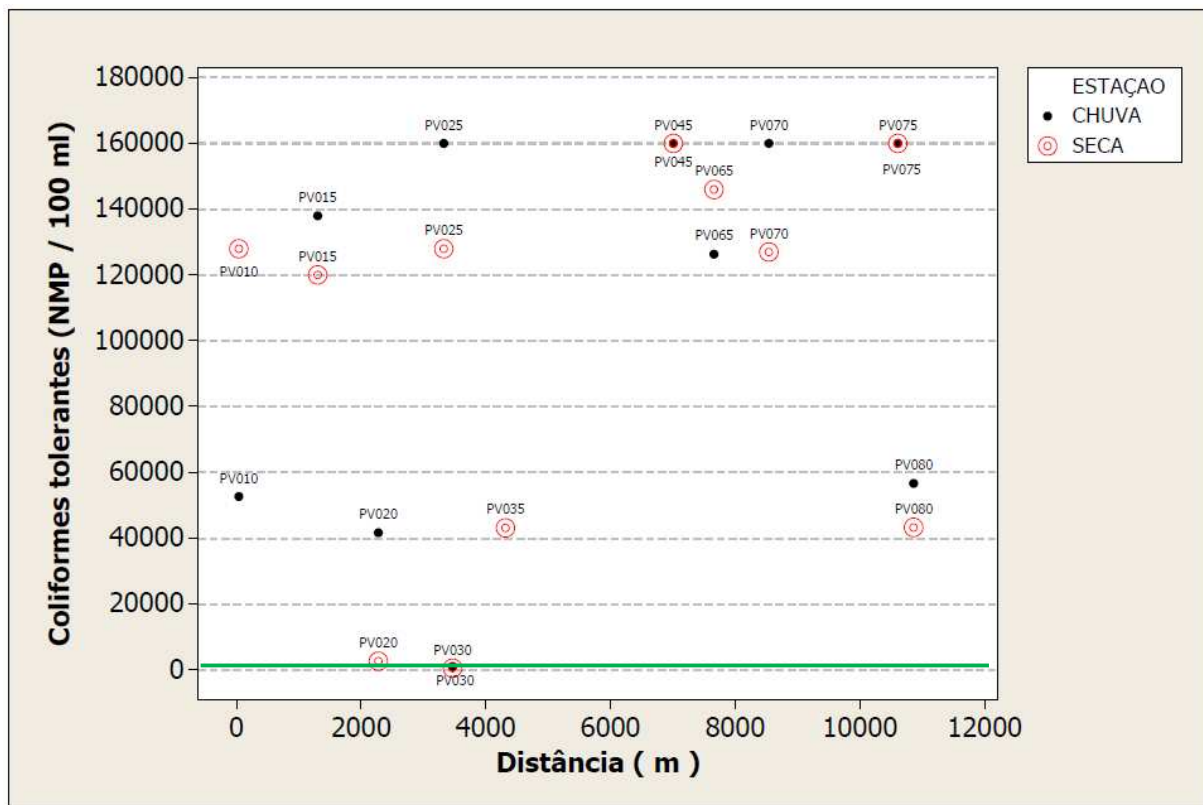


Figura 7.15 - Variação de Coliformes termotolerantes nos afluentes da sub-bacia do Sarandi (IGAM 2007).

Limite CONAMA No. 357/2005: máximo: 1000 NMP/100 ml (linha traço-pontilhada em cor verde)

Os valores de IQA determinados para a sub-bacia do Sarandi permitem uma comparação de qualidade espaço-temporal. Os dados analisados apresentam o mesmo nível de qualidade da Bacia do Rio das Velhas, isto é, qualidade Ruim a Muito Ruim, confirmando ser este trecho, o responsável por grande parte dos contaminantes desta bacia, sobretudo poluição orgânica. Observa-se o comportamento semelhante deste índice de qualidade na época de seca e chuva. Os córregos correspondentes aos PV020, PV035 e PV80 apresentam índices de qualidade próximos a 50%, indicando uma qualidade melhor. Cabe ressaltar aqui, que os parâmetros mais significativos utilizados no cálculo do IQA são Oxigênio Dissolvido e Coliformes tolerantes (Fig.7.16).

Este índice tem a função de avaliar o impacto dos esgotos domésticos, facilitando a compreensão da situação para o público leigo, entretanto. Este índice tem limitação, pois não permite analisar os efeitos originários das outras fontes poluentes.

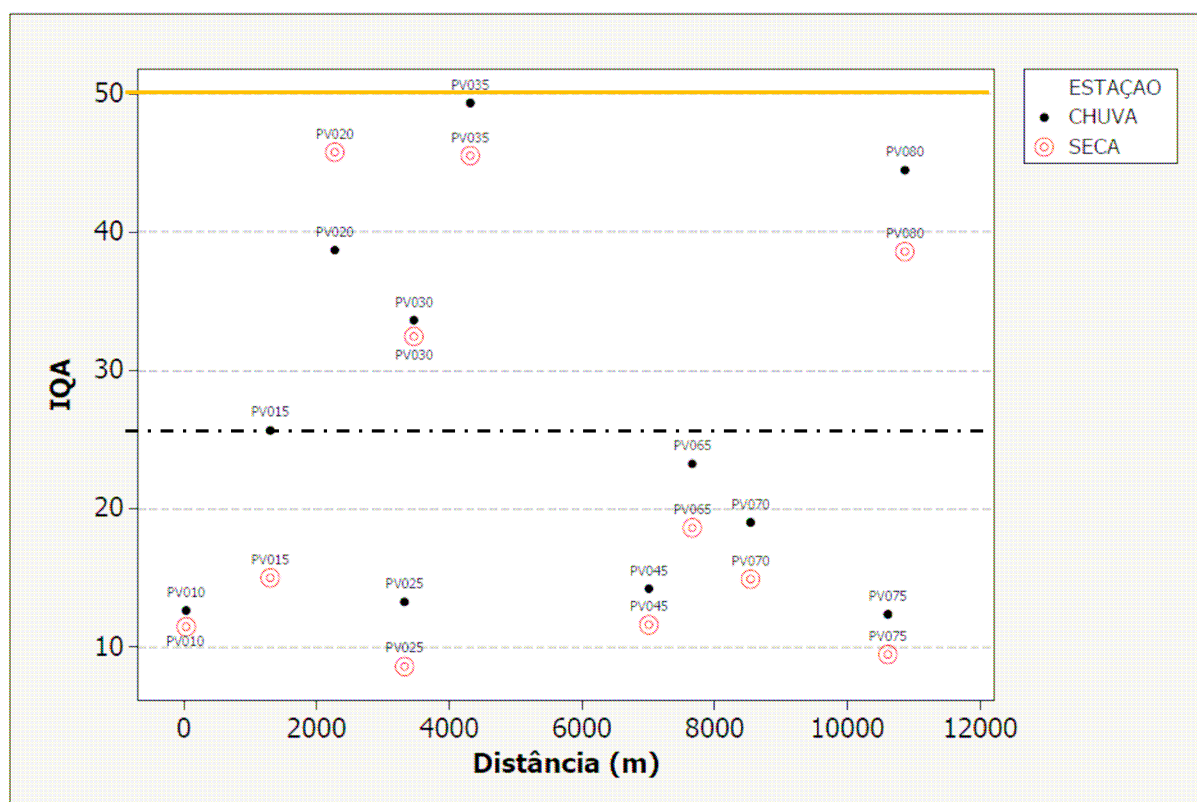


Figura 7.16 - Variação de IQA nos afluentes da sub-bacia do Sarandi (IGAM 2007),

Limite de qualidade muito ruim - linha traço-pontilhada em cor preta  
 Limite de qualidade ruim - linha traço-pontilhada em cor amarela

### 7.1.2 Análise dos elementos metálicos investigados

As figuras 7.17 a 7.25 apresentam a variação espacial e sazonal dos elementos-traço presentes nas águas dos afluentes da sub-bacia. O limite estabelecido na Resolução CONAMA No. 357/2005 encontra-se destacado em cada gráfico em linha tracejada e cor vermelha.

A figura 7.17 apresenta os teores de Arsênio ao longo dos afluentes. Observa-se que todos os pontos amostrados apresentam valores abaixo do limite da Legislação que é de  $0,01 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ , indicando a não contaminação por este elemento em toda a sub-bacia.

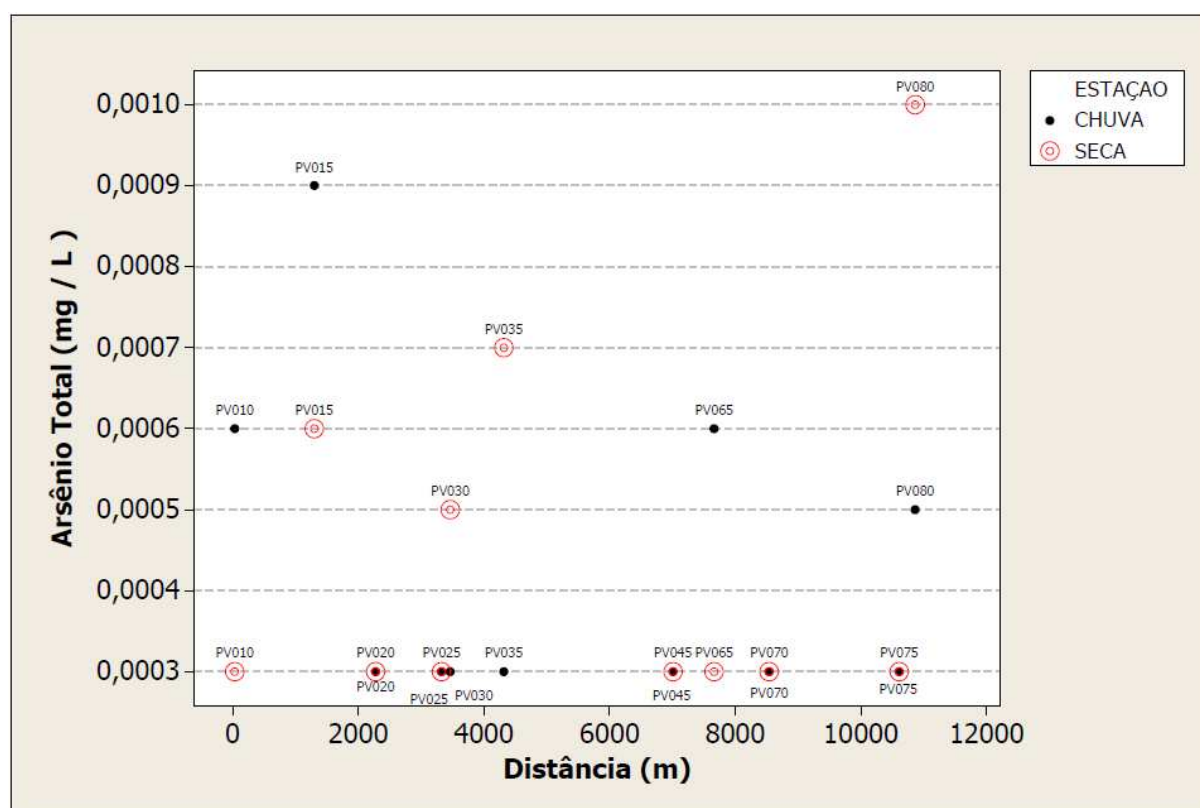


Figura 7.17 - Variação do Arsênio nos afluentes da sub-bacia do Sarandi (IGAM 2007).

Limite CONAMA No. 357/2005: mínimo:  $0,010 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$

A variação do teor de Cádmiio (Fig.7.18) ao longo da sub-bacia demonstra que, à exceção dos PV015 e PV070, os demais pontos apresentam valores abaixo do limite estabelecido na legislação. O cádmio é liberado para o ambiente por efluentes industriais, principalmente, de galvanoplastias, produção de pigmentos, soldas, equipamentos eletrônicos, lubrificantes e acessórios fotográficos, bem como por poluição difusa causada por fertilizantes e poluição do ar local, entretanto, pode ocorrer contaminação devido à presença de cádmio como impureza no zinco de tubulações galvanizadas, soldas e alguns acessórios metálicos.

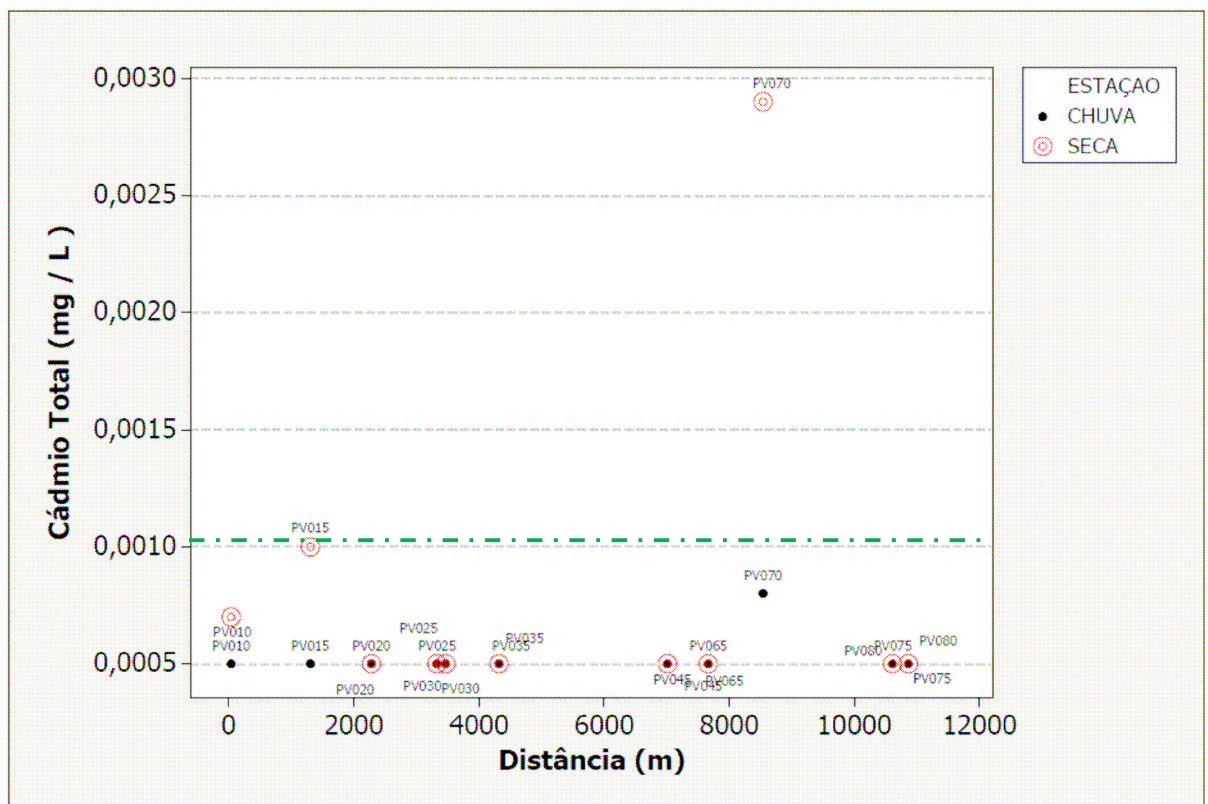


Figura 7.18 - Variação do Cádmio nos afluentes da sub-bacia do Sarandi (IGAM 2007).

Limite CONAMA No. 357/2005: máximo: 0,001 mg.L<sup>-1</sup> (linha traço-pontilhada em cor verde)

A figura 7.19 apresenta o comportamento do Chumbo ao longo dos afluentes. À exceção dos pontos PV010, PV015, PV020 e PV 070, correspondentes aos córregos Bernardo Monteiro, Sarandi, córrego Sem Nome, os demais córregos que compõem a sub-bacia não apresentam valores acima da legislação. Isso sugere a presença de alguma atividade econômica, na área desses pontos, em que se faz o uso deste elemento. O chumbo está presente no ar, tem ampla aplicação industrial, como na fabricação de baterias, tintas, esmaltes, inseticidas, vidros, ligas metálicas etc. A presença do metal na água ocorre por deposição atmosférica ou lixiviação do solo.

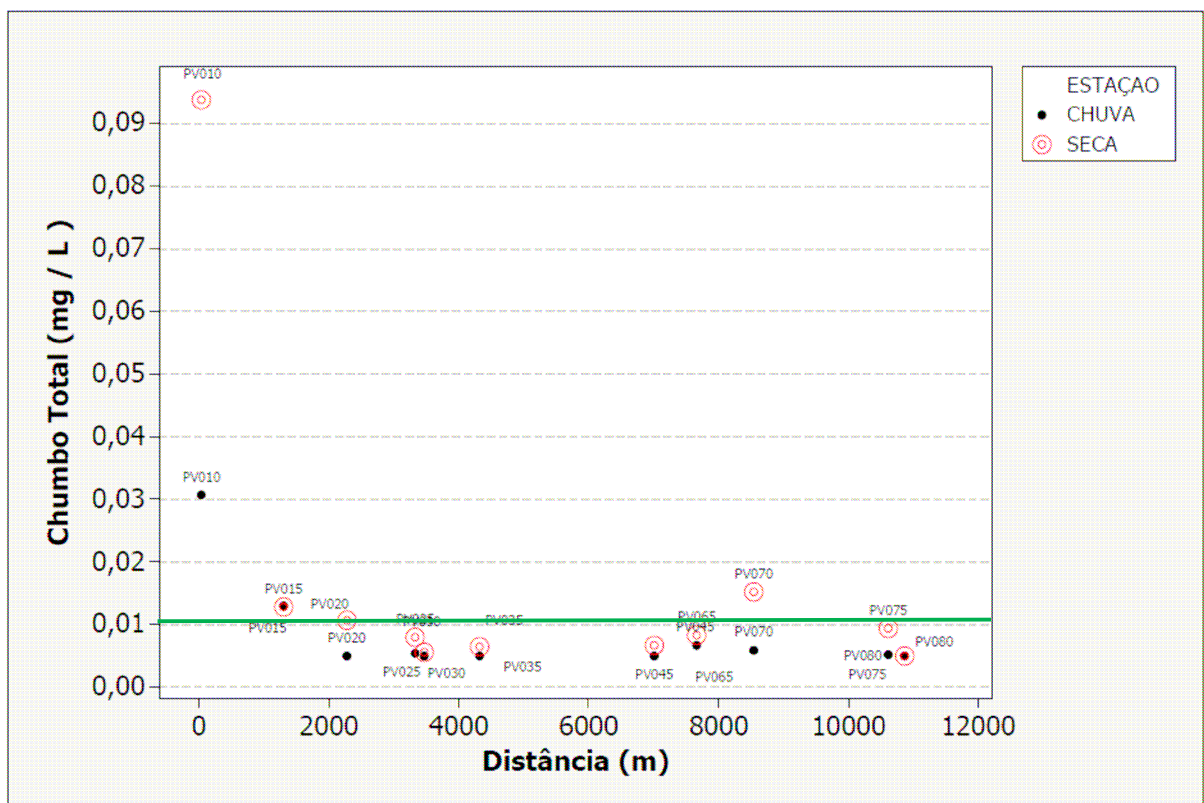


Figura 7.19 - Variação do Chumbo nos afluentes da sub-bacia do Sarandi (IGAM 2007).

Limite CONAMA No. 357/2005: máximo: 0,01 mg.L<sup>-1</sup> (linha traço-pontilhada em cor verde)

Na figura 7.20, observa-se que, apenas os PV010 e PV015, correspondentes aos córregos Bernardo Monteiro e Sarandi apresentam valores de Cu acima do estabelecido na legislação, estando contaminados por esse elemento, sugerindo a presença de atividade econômica que faça uso desse elemento em seu processo produtivo.

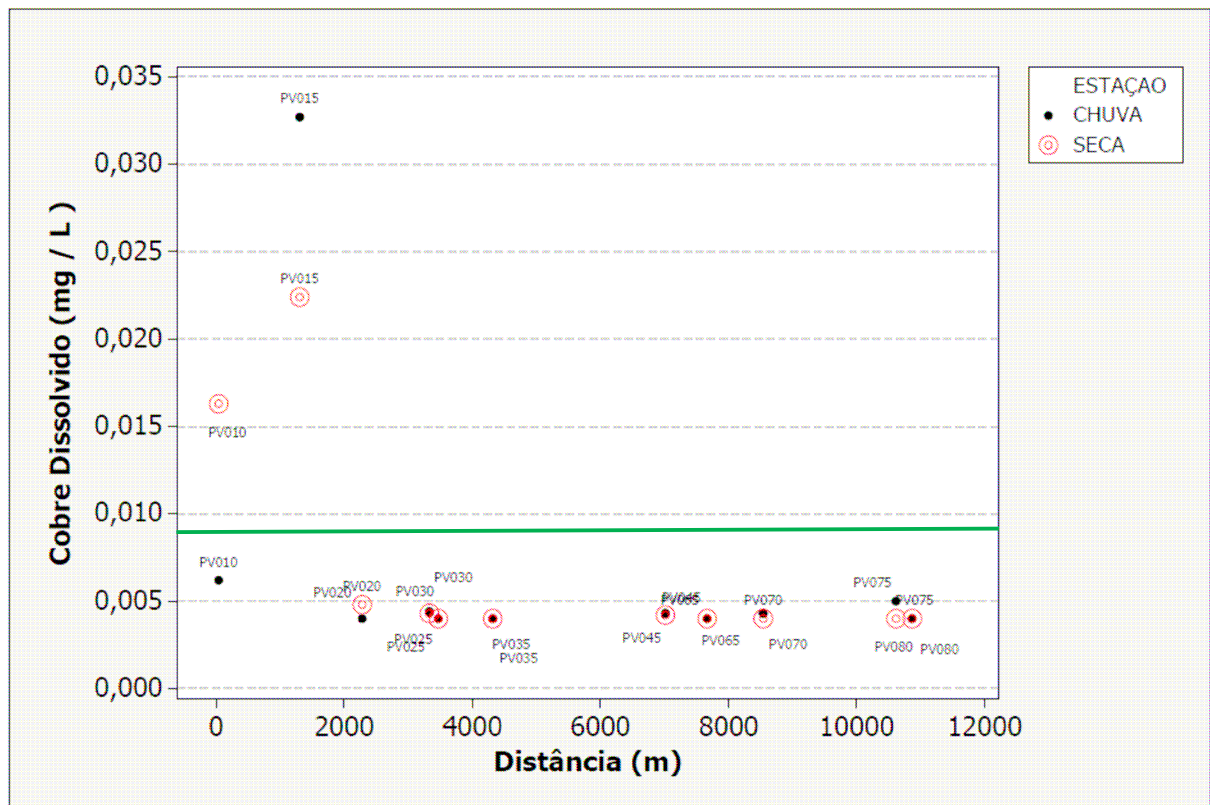


Figura 7.20 - Variação do Cobre dissolvido nos afluentes da sub-bacia do Sarandi (IGAM 2007)

Limite CONAMA No. 357/2005: máximo:  $0,009 \text{ mg.L}^{-1}$  (linha traço-pontilhada em cor verde)



A figura 7.21 apresenta o comportamento do Cromo ao longo dos afluentes do córrego Sarandi. Observa-se o desacordo com a legislação nos pontos PV015 e PV070, indicando contaminação por esse elemento, fazendo o conjunto com os elementos cádmio, cobre dissolvido, chumbo. O cromo é utilizado na produção de ligas metálicas, estruturas da construção civil, fertilizantes, tintas, pigmentos, curtumes, preservativos para madeira, entre outros usos. A maioria das águas superficiais contém entre 1 e 10  $\mu\text{g/L}$  de cromo e a concentração do metal na água subterrânea geralmente é baixa ( $< 1 \mu\text{g/L}$ ).

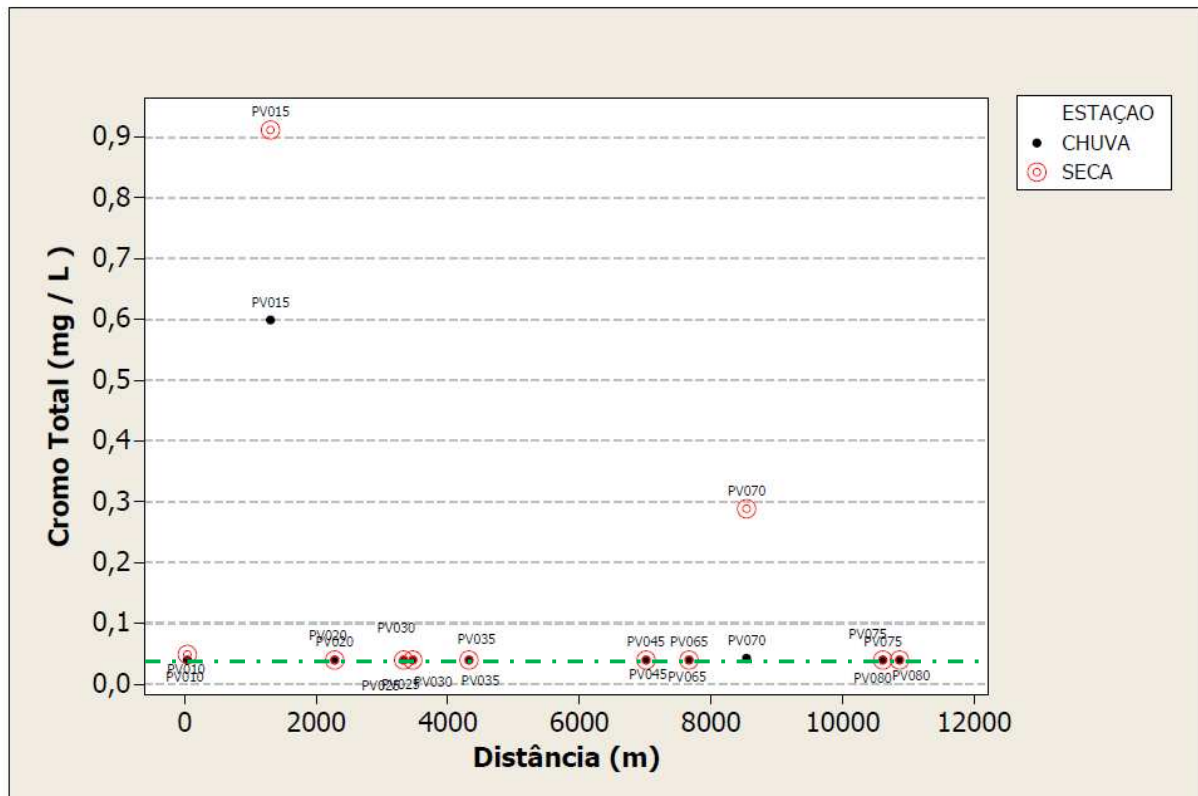


Figura 7.21 - Variação do Cromo total nos afluentes da sub-bacia do Sarandi (IGAM 2007)

Limite CONAMA No. 357/2005: máximo:  $0,05 \text{ mg.L}^{-1}$  (linha traço-pontilhada em cor verde)

A figura 7.22 apresenta o comportamento do Estanho ao longo dos córregos, que não tem limite estabelecido na legislação, entretanto, por se tratar de um metal muito usado (normalmente junto com cobre e chumbo) nas atividades industriais, sua análise vem colaborar para o entendimento das prováveis fontes de poluição. Observa-se que os pontos PV015, PV030 e PV070 apresentam valores mais altos em relação aos demais, concordando com os córregos já ditos contaminados por outros elementos.

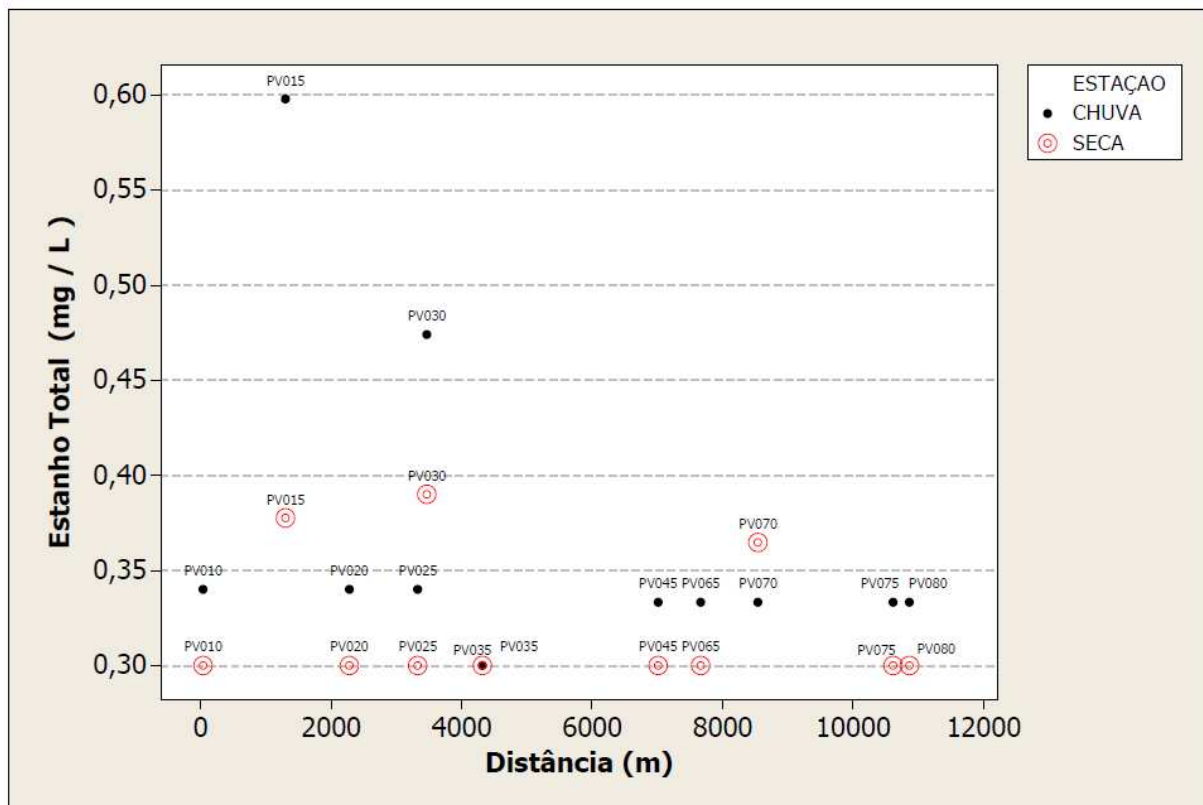


Figura 7.22 - Variação do Estanho total nos afluentes da sub-bacia do Sarandi (IGAM 2007).



A figura 7.23 apresenta o comportamento do ferro acima do limite estabelecido na legislação. Entretanto, a análise requer a consideração do *background* das águas superficiais e a mineralogia das rochas presentes na sub-bacia. Observa-se que os córregos correspondentes aos PV030 e PV35, apresentam valores muito altos em relação aos demais, superior ao valor de *background* indicando alguma atividade antrópica que responda por essa alteração. O ferro, apesar de não se constituir em um tóxico, traz diversos problemas para o abastecimento público de água: confere cor e sabor à água, provocando manchas em roupas e utensílios sanitários, traz problemas de deposição em canalizações e de ferro-bactérias, provocando a contaminação biológica da água na própria rede de distribuição. Por esses motivos, o ferro constitui-se em padrão de potabilidade, tendo sido estabelecida a concentração limite de 0,3 mg. L<sup>-1</sup> pela Portaria No. 518 do Ministério da Saúde.

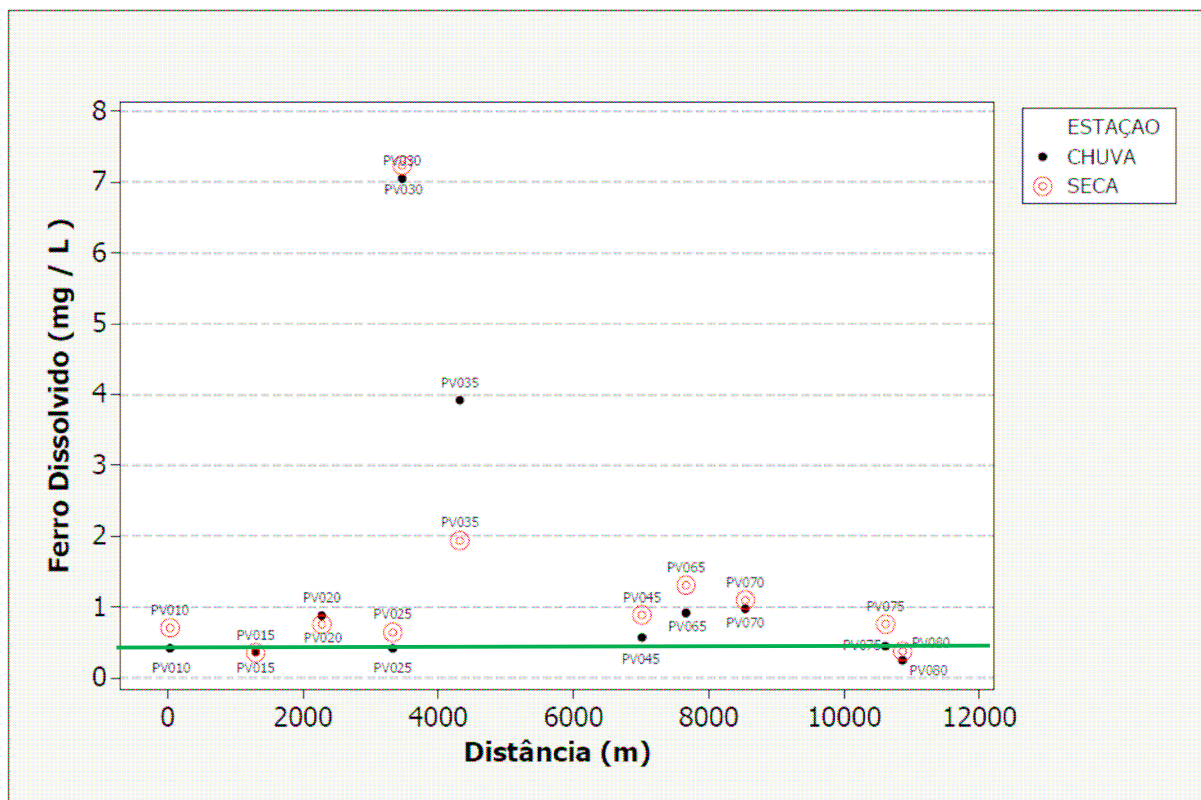


Figura 7.23 - Variação do Ferro dissolvido nos afluentes da sub-bacia do Sarandi (IGAM 2007).

Limite CONAMA No. 357/2005: máximo: 0,3 mg.L<sup>-1</sup> (linha traço-pontilhada em cor verde)

A figura 7.24 apresenta teores de Manganês acima do limite da legislação, sendo que o comportamento em época de chuva e seca mostra-se similar, à exceção do PV035. Cabe salientar que o *background* das águas superficiais apresenta valor de  $0,05 \text{ mg.L}^{-1}$ , muito inferior aos valores encontrados nos afluentes da sub-bacia, indicando haver atividades antropogênicas (indústria do aço, ligas metálicas, baterias, vidros, oxidantes para limpeza, fertilizantes, vernizes, suplementos veterinários) que expliquem a contaminação da água. Raramente atinge concentrações de  $1,0 \text{ mg.L}^{-1}$  em águas superficiais naturais e, normalmente, está presente em quantidades de  $0,2 \text{ mg.L}^{-1}$  ou menos (CETESB 2000). Ressalta-se que os pontos PV015, PV030 e PV035 apresentam os valores mais altos em relação aos demais pontos.

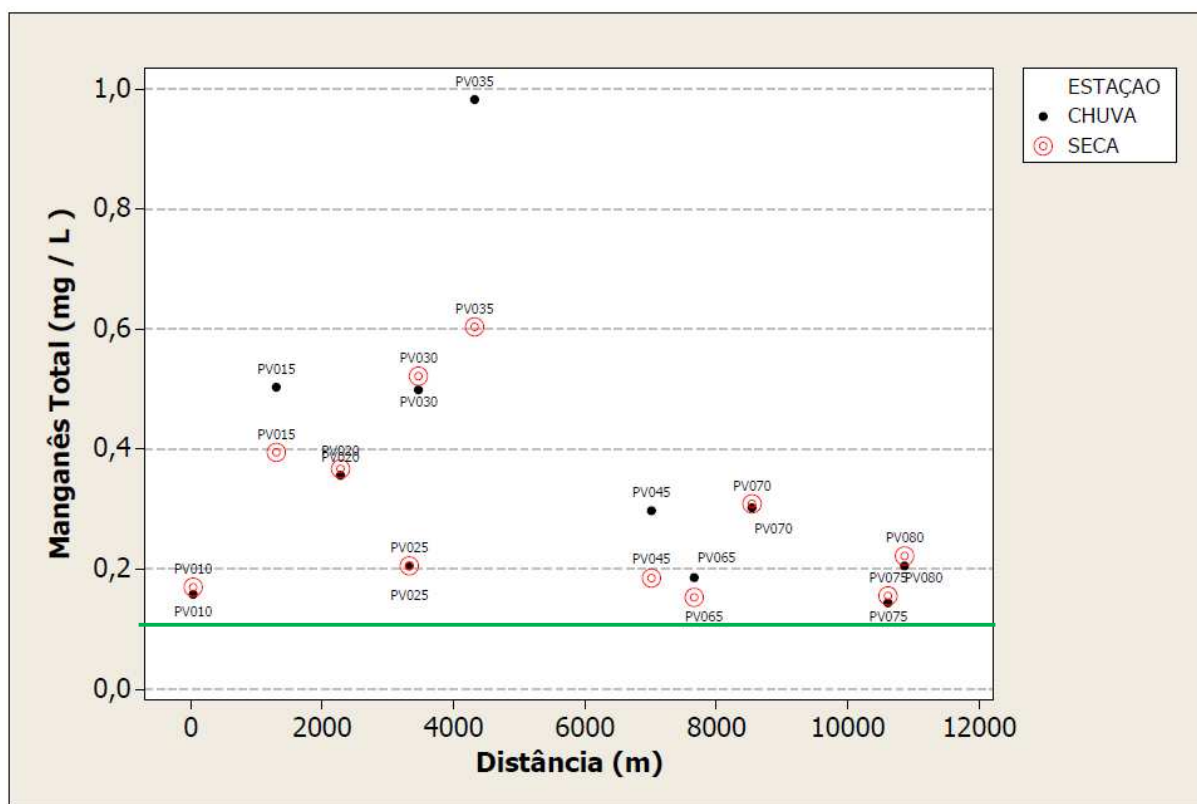


Figura 7.24 - Variação do Manganês total nos afluentes da sub-bacia do Sarandi (IGAM 2007),

Limite CONAMA No. 357/2005: máximo:  $0,10 \text{ mg.L}^{-1}$  (linha traço-pontilhada em cor verde)

A figura 7.25 apresenta o comportamento do Níquel ao longo dos afluentes da sub-bacia do Sarandi. Apenas o PV015, ponto de amostragem no córrego Sarandi, apresenta valores de Níquel acima do estabelecido na norma, permitindo afirmar a existência de fonte de contaminação nessa área de drenagem. O Níquel e seus compostos são utilizados em galvanoplastia, na fabricação de aço inoxidável, manufatura de baterias Ni-Cd, moedas, pigmentos, entre outros usos. Concentrações de níquel em águas superficiais naturais podem chegar a  $0,1 \text{ mg.L}^{-1}$ , geralmente encontrados em áreas de mineração. A maior contribuição antropogênica para o meio ambiente é a queima de combustíveis.

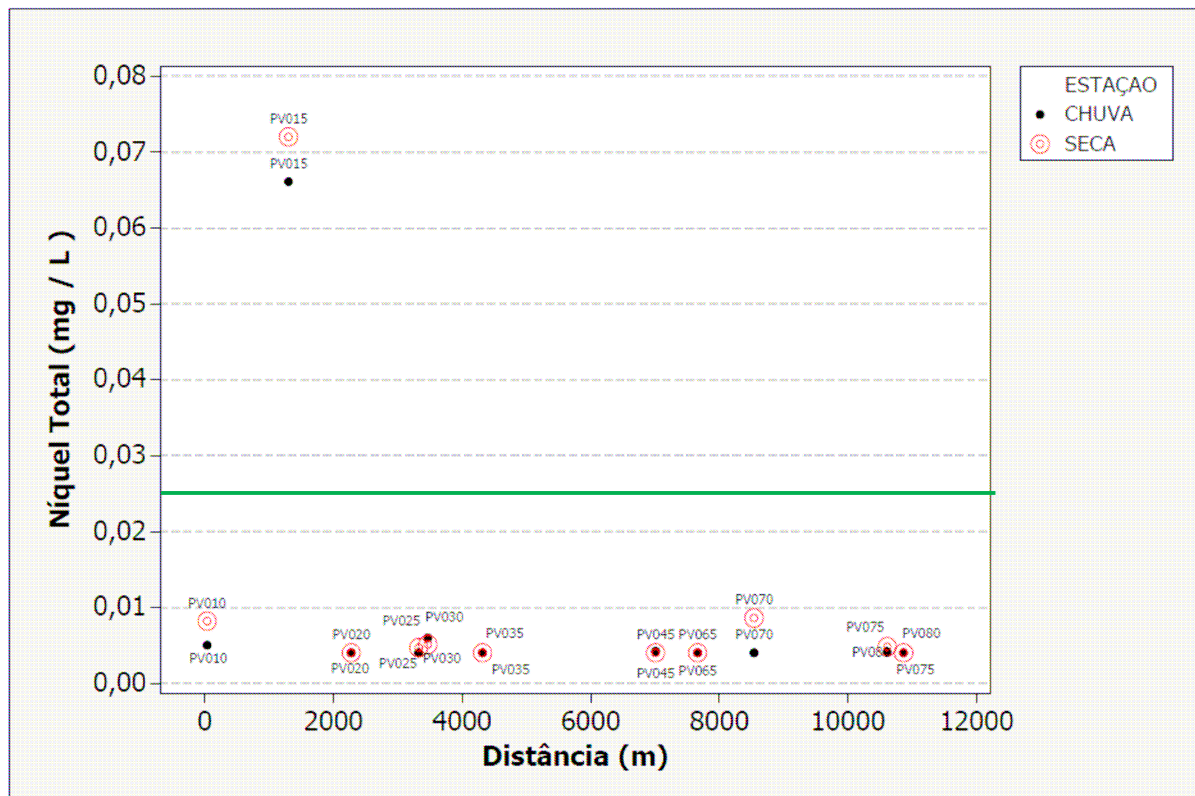


Figura 7.25 - Variação do Níquel nos afluentes da sub-bacia do Sarandi (IGAM 2007),.

Limite CONAMA No. 357/2005: máximo:  $0,025 \text{ mg.L}^{-1}$  (linha traço-pontilhada em cor verde)

Observa-se que níveis de Zinco acima do estabelecido na legislação ocorrem novamente nos PV015 e PV070, indicando a provável presença de atividade industrial, cujo efluente é lançado sem adequado tratamento, podendo também ter sua origem explicada pelo lançamento de esgotos domésticos. O zinco e seus compostos são muito usados na fabricação de ligas e latão, galvanização do aço, na borracha como pigmento branco, suplementos vitamínicos, protetores solares, desodorantes, xampus, etc. A presença de zinco é comum nas águas superficiais naturais, em concentrações geralmente abaixo de  $10 \mu\text{g.L}^{-1}$ ; em águas subterrâneas ocorre entre  $10\text{-}40 \mu\text{g.L}^{-1}$  (Fig.7.26)

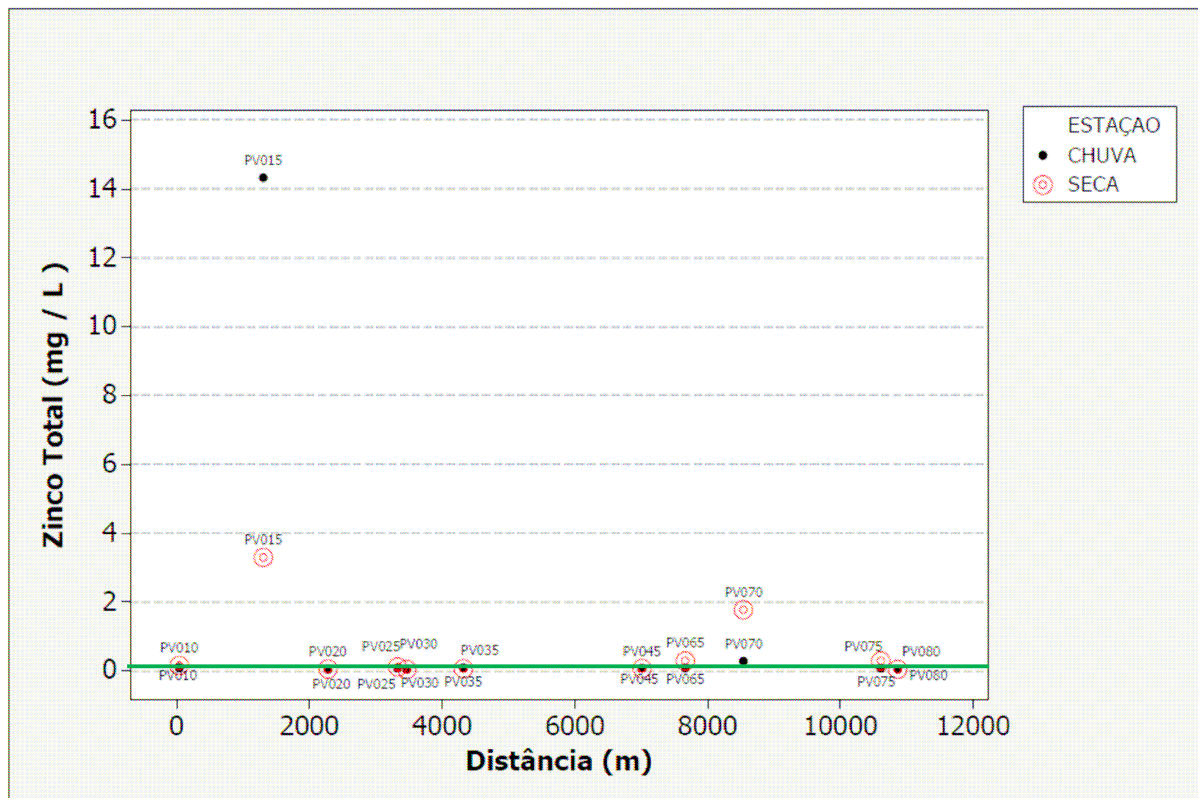


Figura 7.26 - Variação do Zinco total nos afluentes da sub-bacia do Sarandi

Limite CONAMA No. 357/2005: máximo:  $0,18 \text{ mg.L}^{-1}$  (linha traço-pontilhada em cor verde)

Os afluentes que compõem a sub-bacia, em sua maioria, apresentam valores dos índices de contaminação por tóxicos nível 3, isto é alta toxicidade (Fig. 7.27). Este parâmetro não identifica qual é o poluente tóxico responsável, e é definido, conforme tabela 4.5.A finalidade deste índice é avaliar a contaminação de outras fontes de poluição pontuais e difusas associadas ao uso e ocupação do solo.

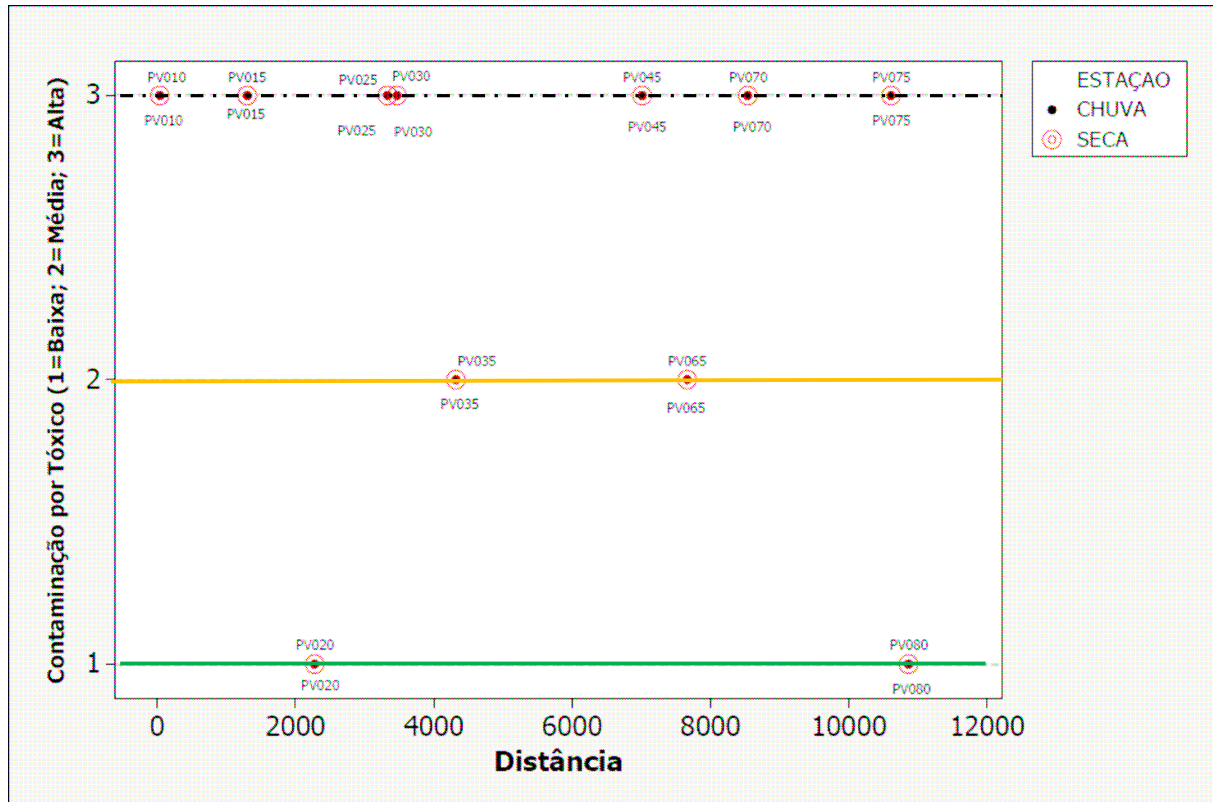


Figura 7.27 - Variação do índice CT – Contaminação por Tóxicos (IGAM 2007) nos afluentes da sub-bacia do Sarandi

**Nível 1:** baixa toxicidade- linha tracejada; verde; **Nível 2:** média toxicidade – linha tracejada amarela; **Nível 3:** alta toxicidade- linha tracejada preta

A seguir, a tabela 7.2 resume os parâmetros físico-químicos e elementos metálicos dos afluentes da sub-bacia do Sarandi, que se encontram em desacordo com a Legislação.

*Tabela 7.2 - Resumo dos parâmetros físico-químicos e de elementos metálicos, em desacordo com o estabelecido em CONAMA 357/2005, nas amostras de água da sub-bacia do Sarandi - Dados IGAM (2007).*

PONTO	Parâmetros químicos	Parâmetros físicos	Metais	CT	IQA
PV010	P, N amoniacal, OD, DBO, Coliformes tolerantes	Ph, Turbidez, Sólidos totais , Sólidos suspensos, Condutividade	Pb, Cu, Mn, Fe		
PV015	P, N amoniacal, OD, DBO, Coliformes tolerantes	Turbidez, Sólidos totais ,Sólidos suspensos, Condutividade	Cd,Pb, Cu, Cr, Mn, Fe, Ni, Zn, Sn		
PV020	P, OD, DBO, Coliformes tolerantes	Condutividade	Pb, Mn, Fe		
PV025	P, N amoniacal, OD, DBO, Coliformes tolerantes	Turbidez, Sólidos totais, Sólidos suspensos, Condutividade	Mn, Fe		
PV030	P, N amoniacal, OD, DBO, Coliformes tolerantes	Sólidos totais , Sólidos suspensos, condutividade	Mn, Fe		
PV035	P, OD, DBO, Coliformes tolerantes	Condutividade, Sólidos suspensos	Mn, Fe		
PV045	P, N amoniacal, OD, DBO, Coliformes tolerantes	condutividade	Mn, Fe		
PV065	P, N amoniacal, OD, DBO, Coliformes tolerantes	Condutividade, Sólidos suspensos	Mn, Fe		
PV070	P, N amoniacal, OD, DBO	Condutividade, sólidos totais e sólidos suspensos	Cr, Pb, Cd, Zn, Fe, Mn, Zn		
PV075	P, N amoniacal, OD, DBO, Coliformes tolerantes	Turbidez, Sólidos totais ,Sólidos suspensos, Condutividade	Cd, Pb, Cr, Mn, Zn		
PV080	P, N amoniacal, OD, DBO, Coliformes tolerantes	Condutividade, Sólidos suspensos	Mn, Fe		

LEGENDA	
	IQA - Índice de Qualidade de Água      CT - Contaminação por tóxicos
	Qualidade de água Muito Ruim      Toxicidade alta
	Qualidade de água Ruim      Toxicidade média
	Qualidade de água Regular      Toxicidade baixa
	Qualidade de água Boa      sem toxicidade



### 7.1.3 Comportamento dos elemento-traço presentes nas amostras de água dos afluentes da sub-bacia do Sarandi, em função de alguns fatores físico-químicos

As figuras 7.28 a 7.42 apresentam os elementos metálicos (Cu, Cr, Cd, Pb, Fe, Mn, e Zn) encontrados nas amostras de água dos afluentes da sub-bacia. Observa-se o comportamento de independência das concentrações dos metais em relação aos parâmetros físico-químicos: pH, OD, DBO e turbidez. Os picos apresentados estão relacionados principalmente aos pontos PV010, PV015 e PV070, e secundariamente aos PV030 e PV035, pontos relacionados a fontes de contaminação identificadas.

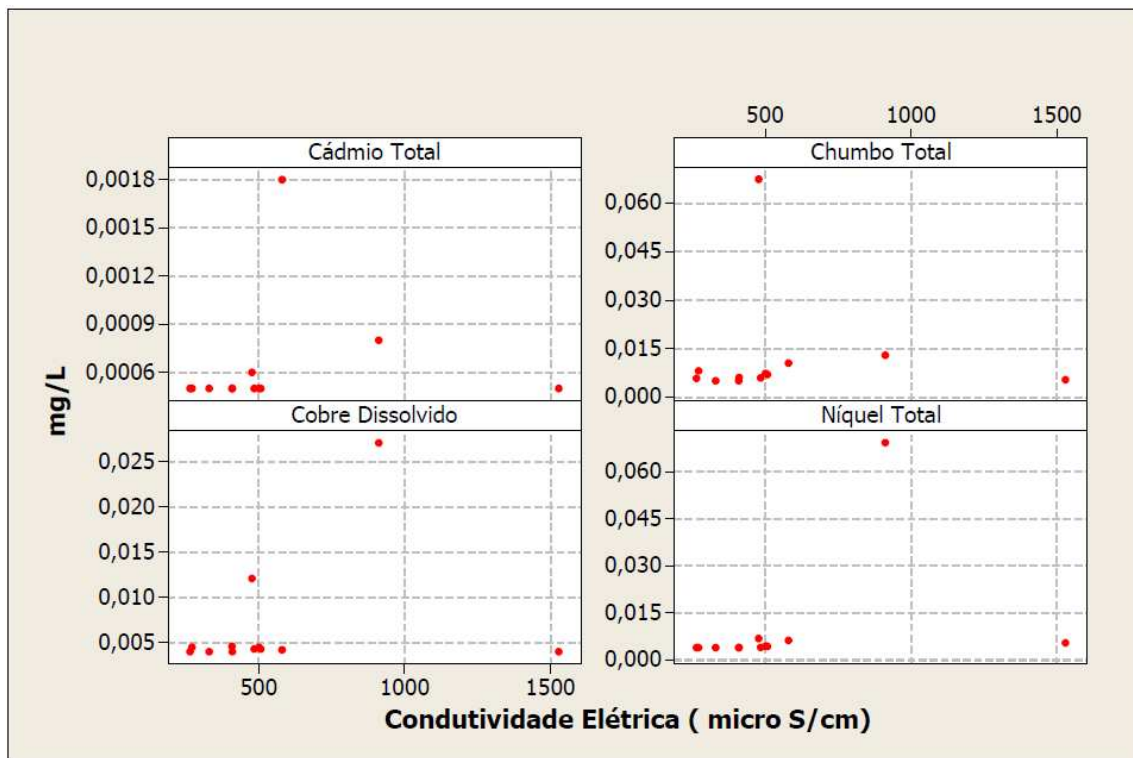


Figura 7.28 - Comportamento dos metais Cd, Pb, Cu e Ni em função da Condutividade elétrica.

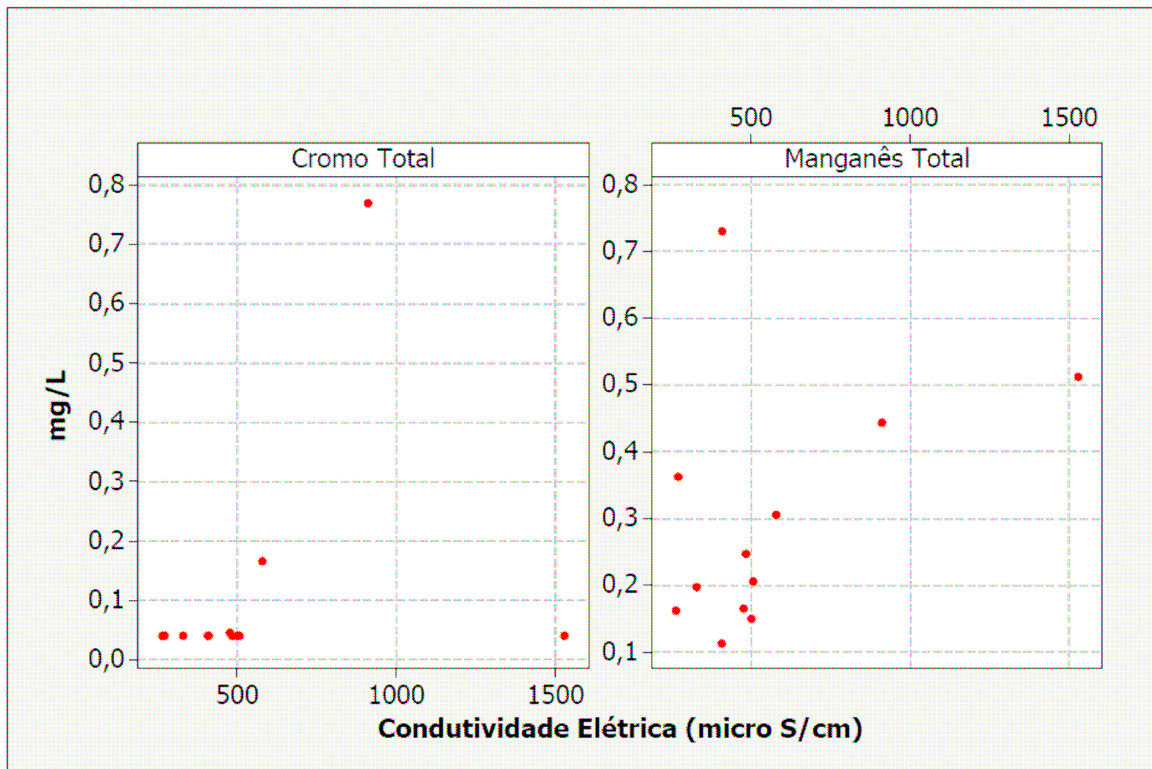


Figura 7.29 - Comportamento dos metais Cr e Mn em função da Condutividade elétrica.

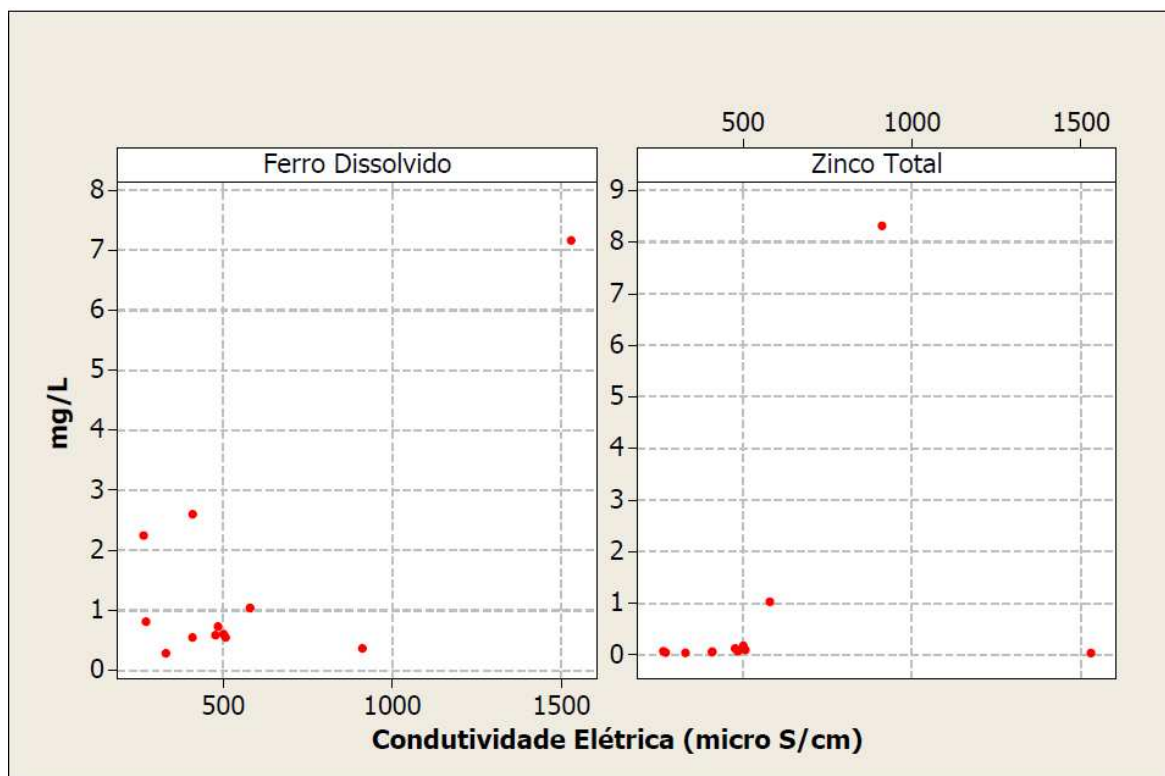


Figura 7.30 - Comportamento dos metais Fe e Zn em função da Condutividade elétrica.



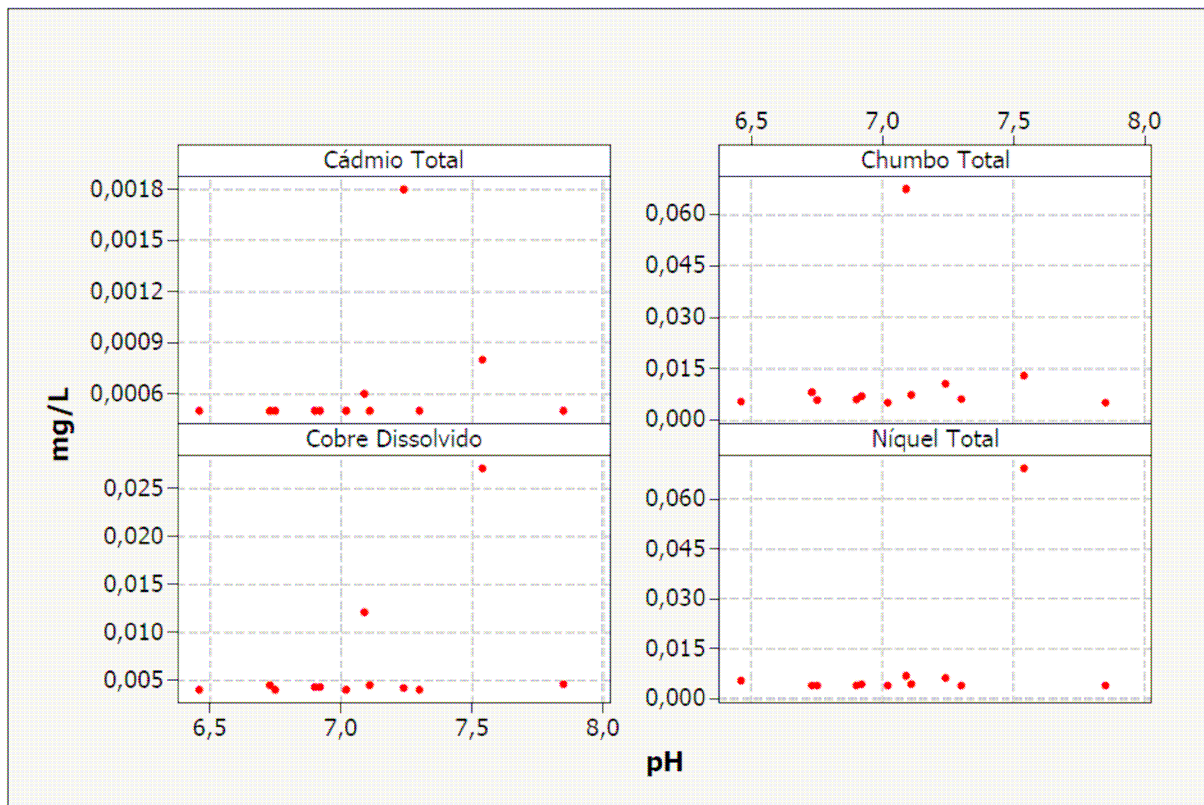


Figura 7.31 - Comportamento dos metais Cd, Pb, Cu, Ni em função do pH.

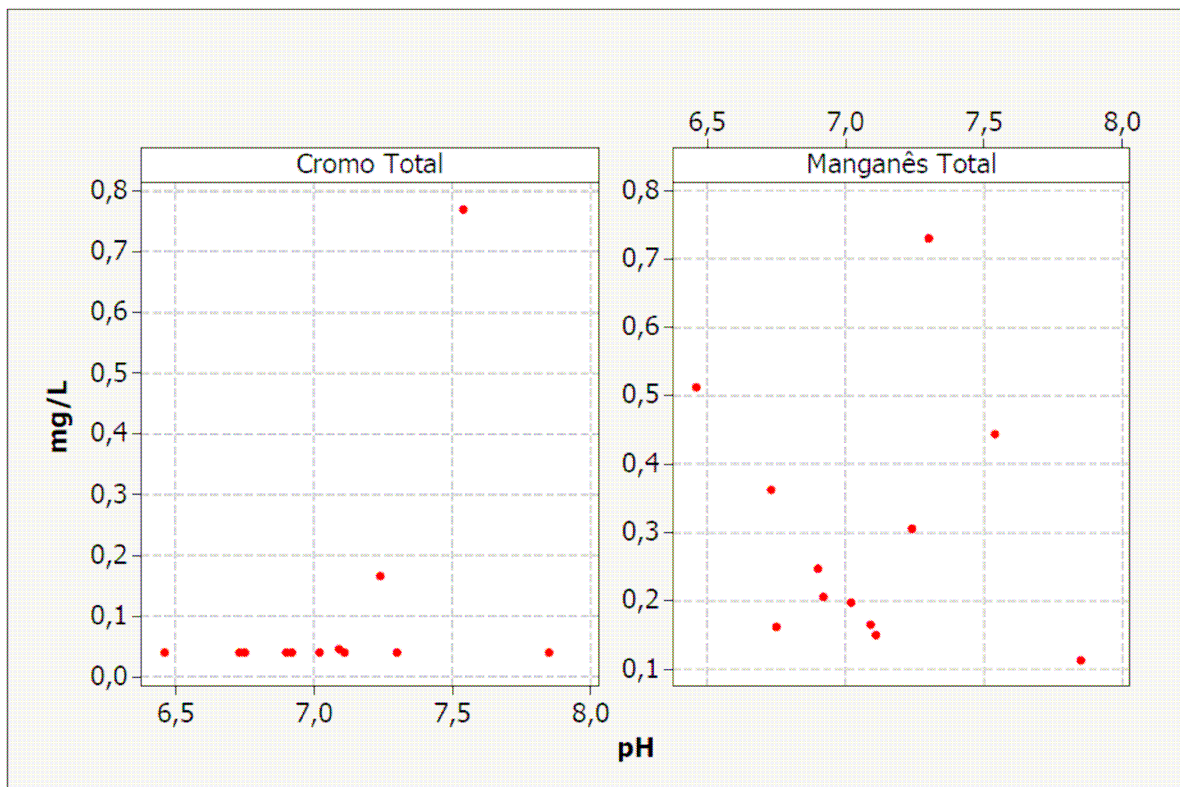


Figura 7.32 - Comportamento dos metais Cr e Mn em função do pH.

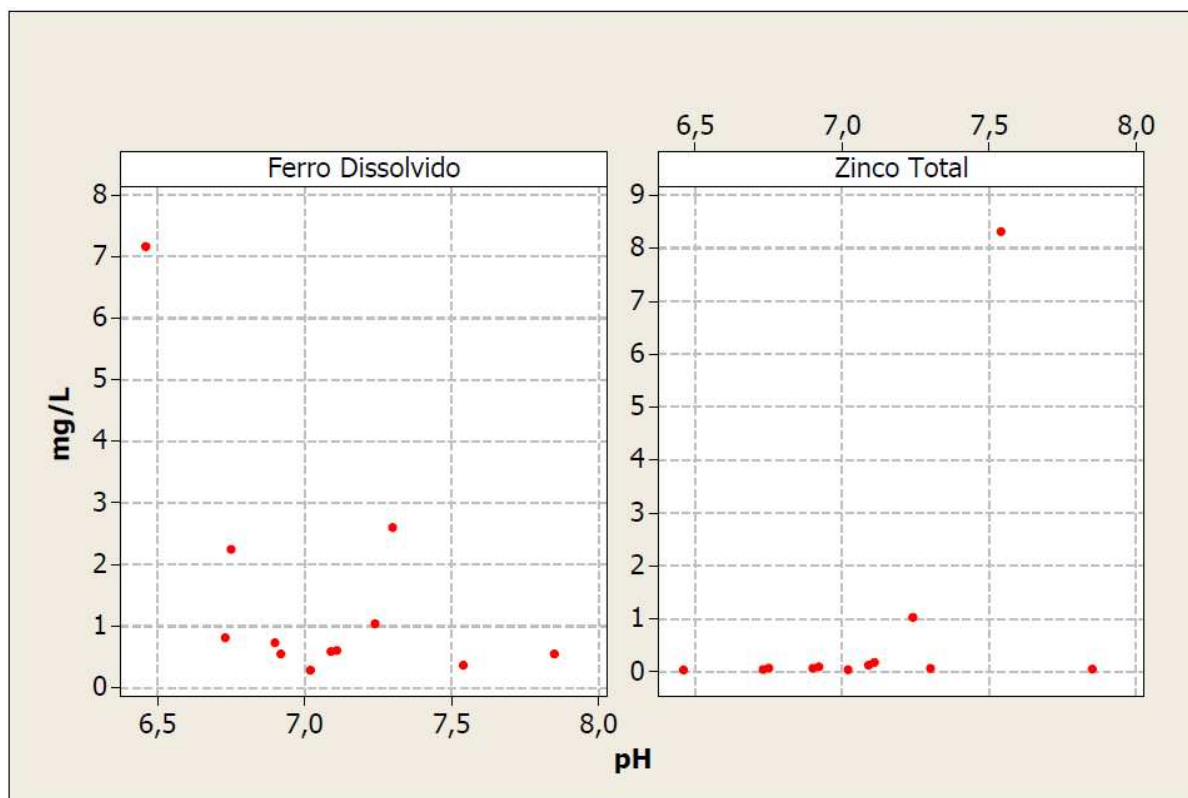


Figura 7.33 - Comportamento dos metais Fe e Zn em função do pH.

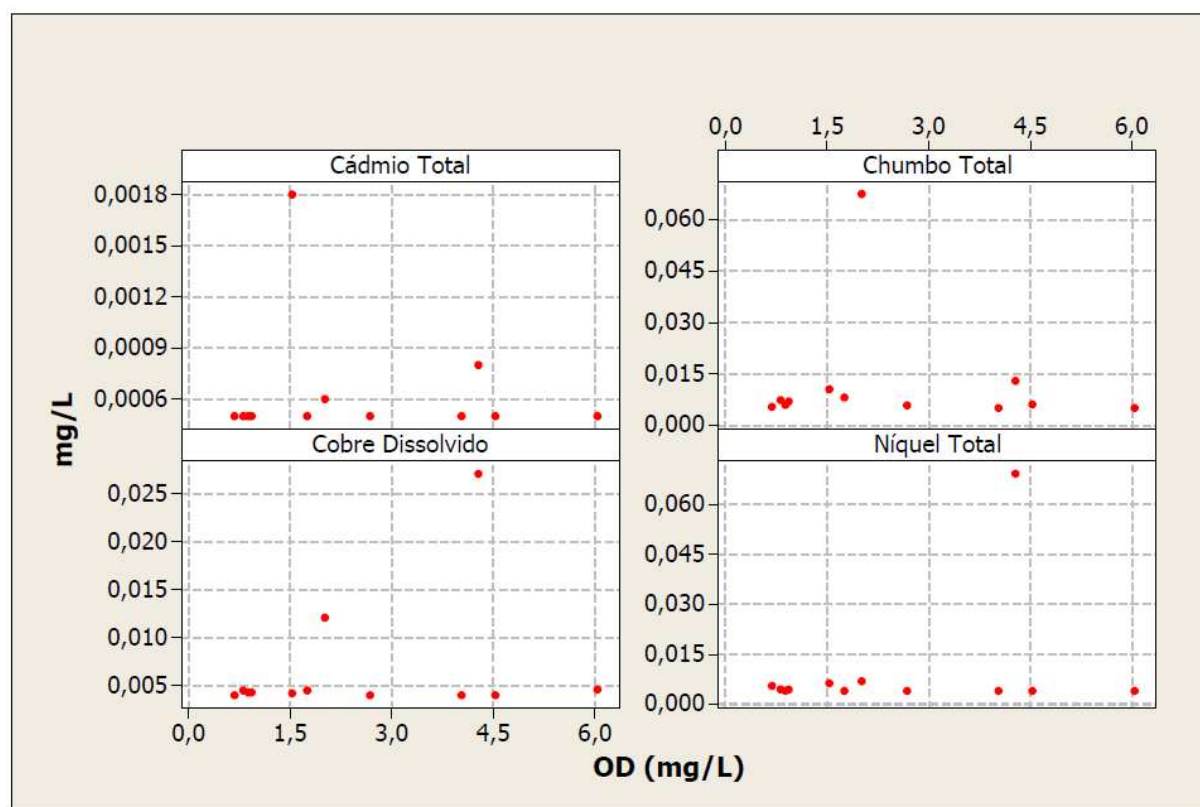


Figura 7.34 - Comportamento dos metais Fe e Zn em função do OD.

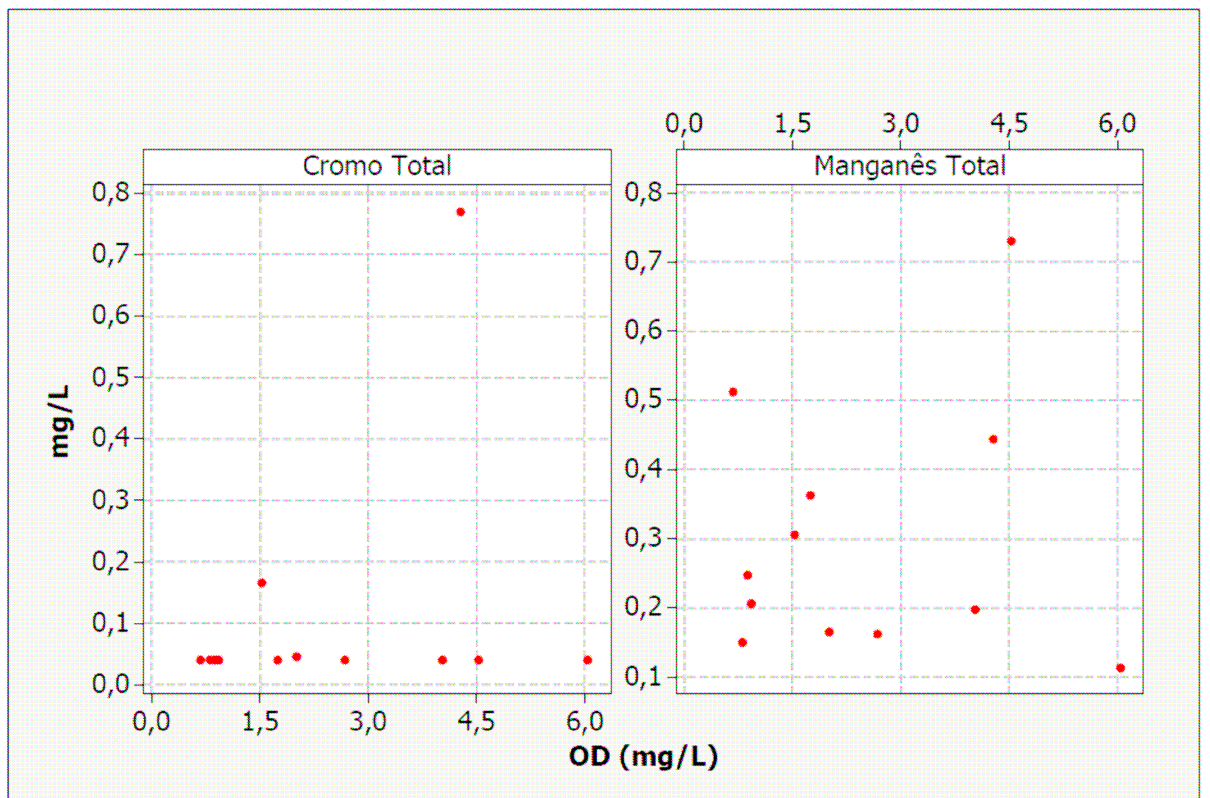


Figura 7.35 - Comportamento dos metais Cr e Mn em função do OD.

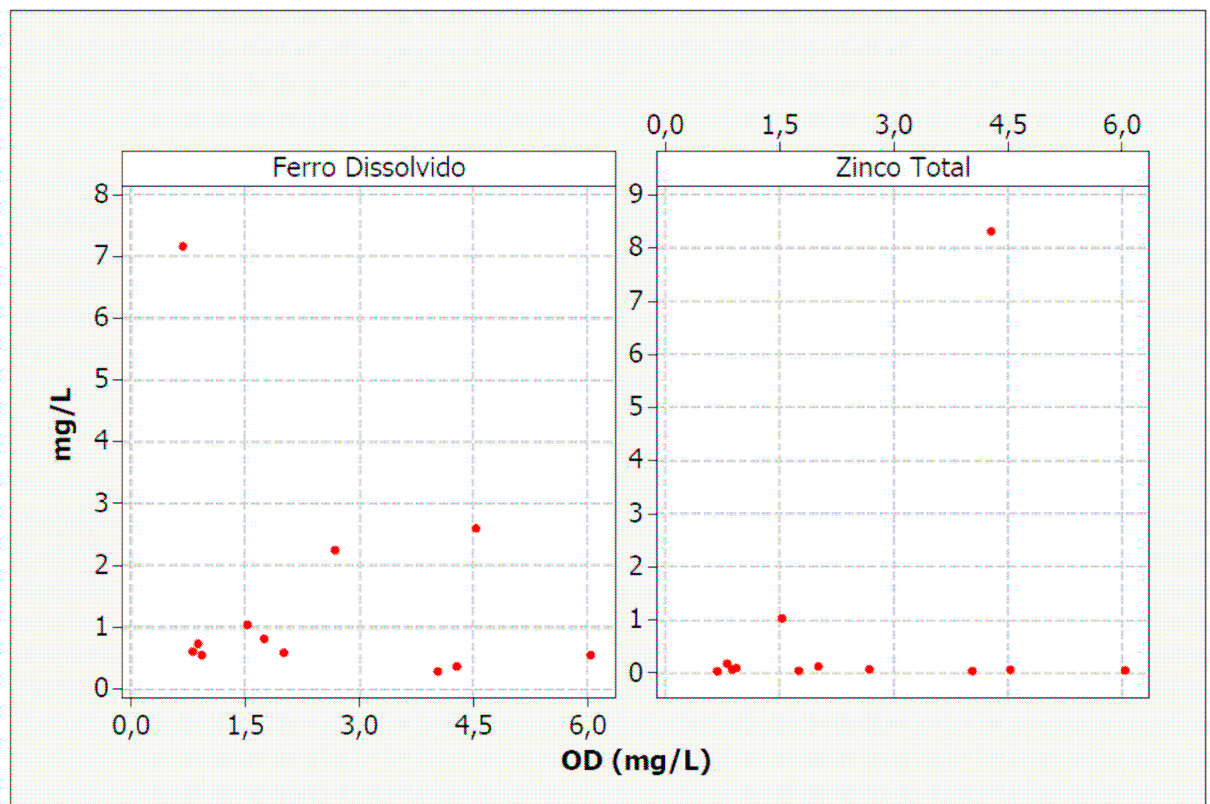


Figura 7.36 - Comportamento dos metais Fe e Zn presentes em função do OD.



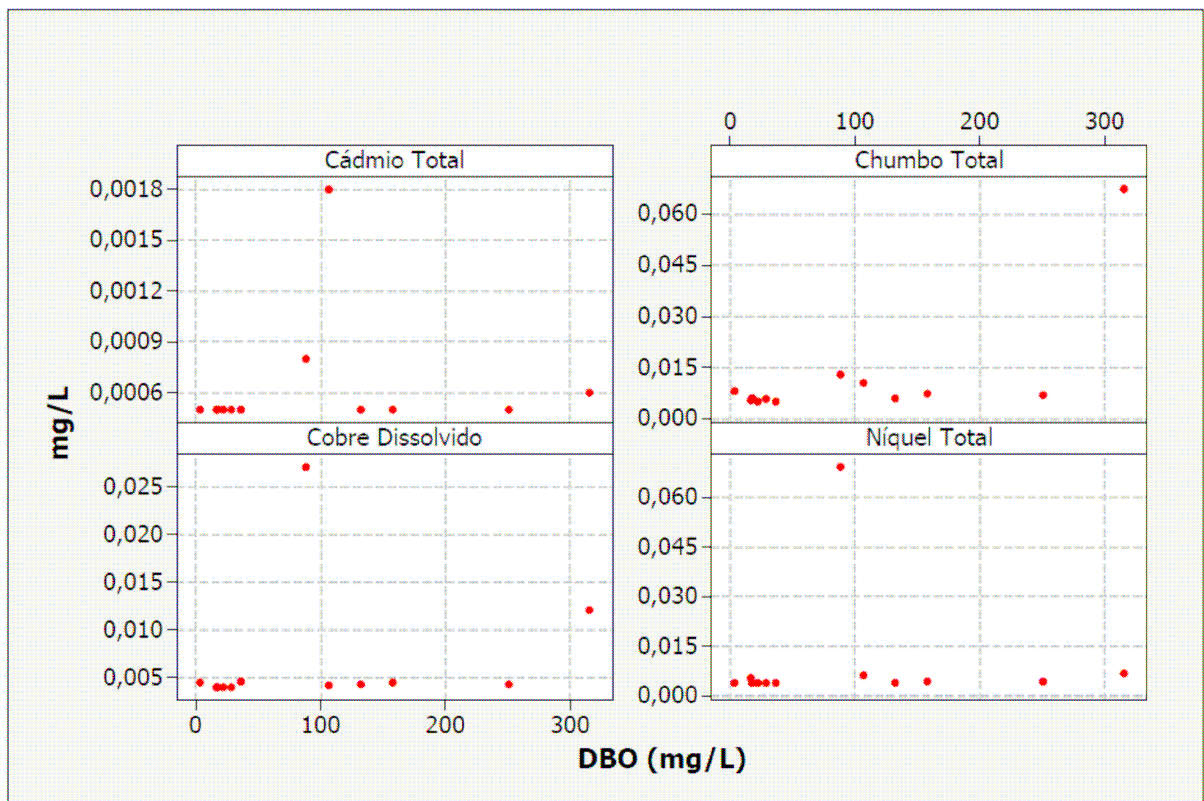


Figura 7.37 - Comportamento dos metais Cd, Pb, Cu e Ni em função da DBO.

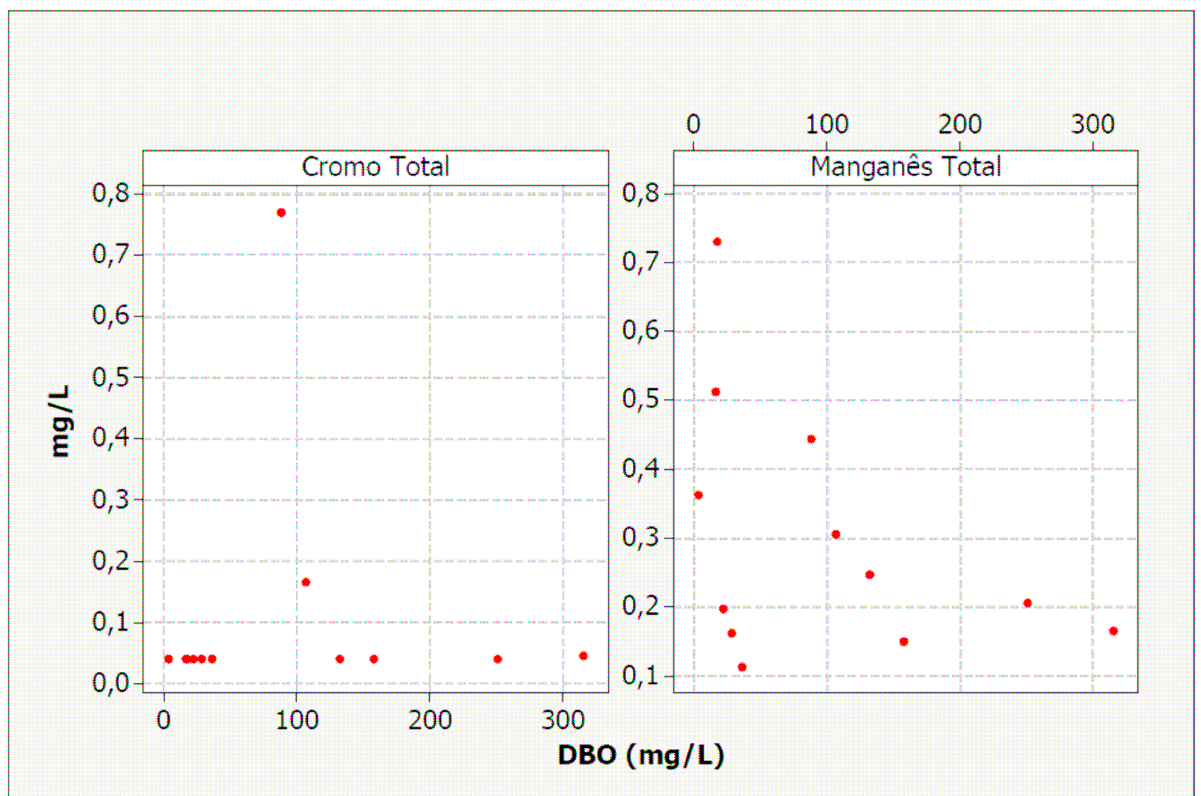


Figura 7.38 - Comportamento dos metais Cr e Mn em função da DBO.

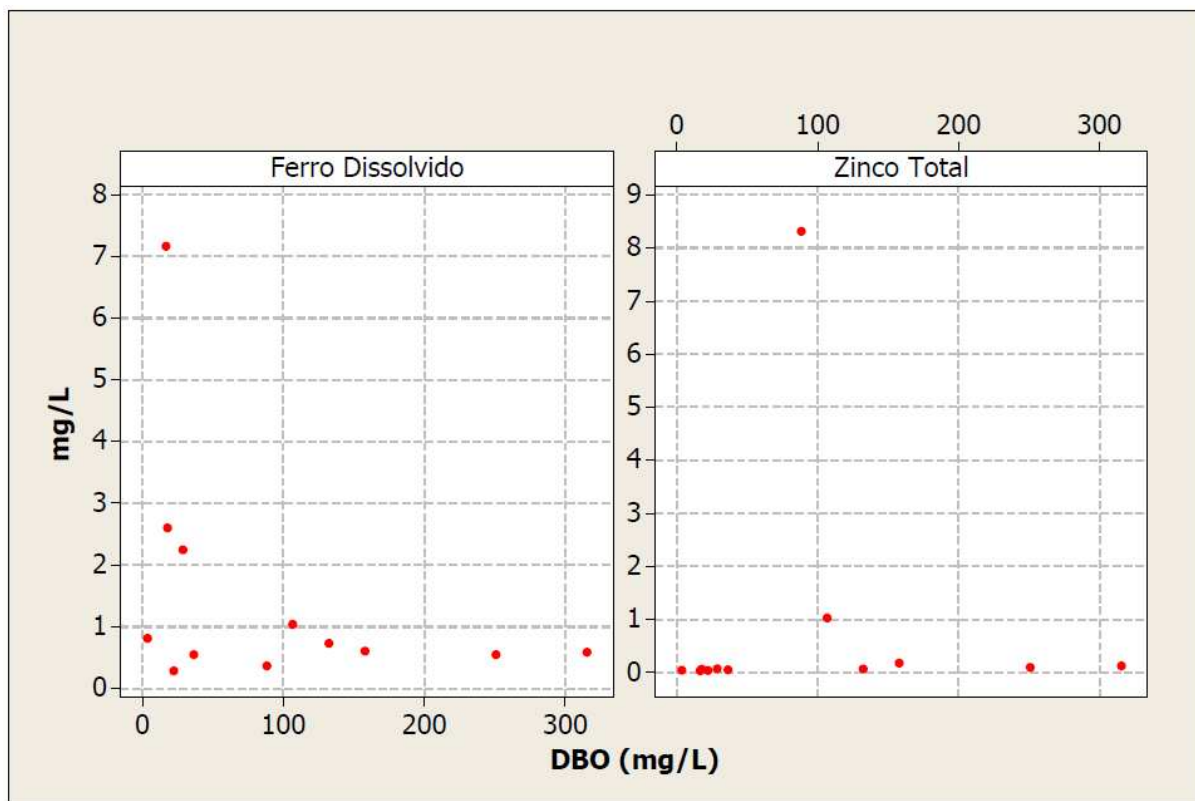


Figura 7.39 - Comportamento dos metais Fe e Zn em função da DBO.

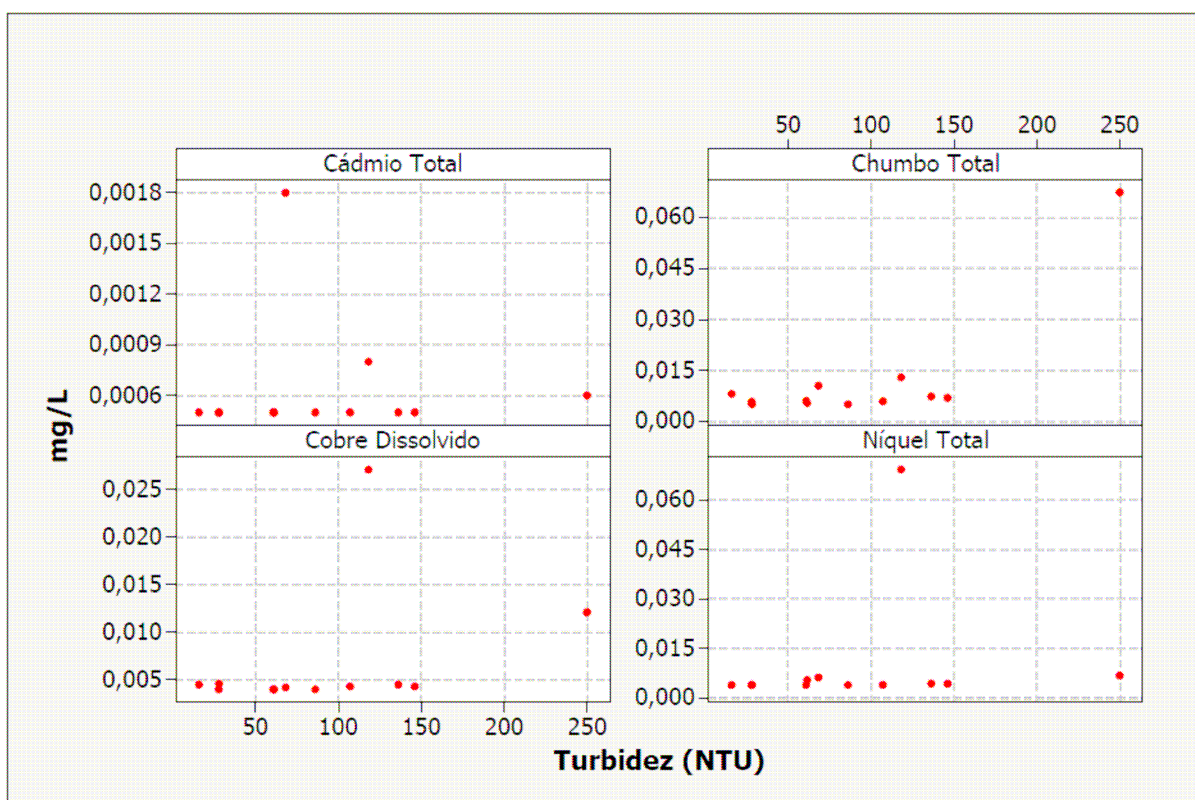


Figura 7.40 - Comportamento dos metais Cd, Pb, Cu e Ni em função da turbidez.

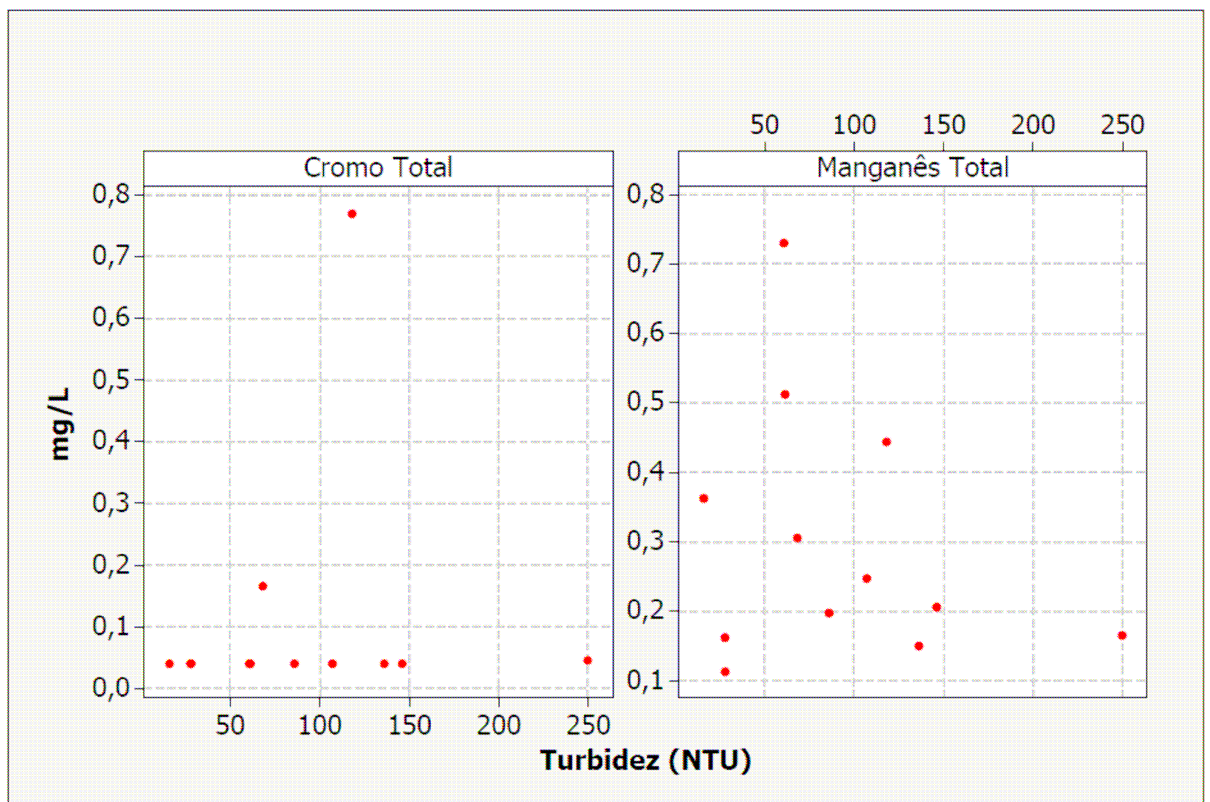


Figura 7.41 - Comportamento dos metais Cr e Mn em função da turbidez.

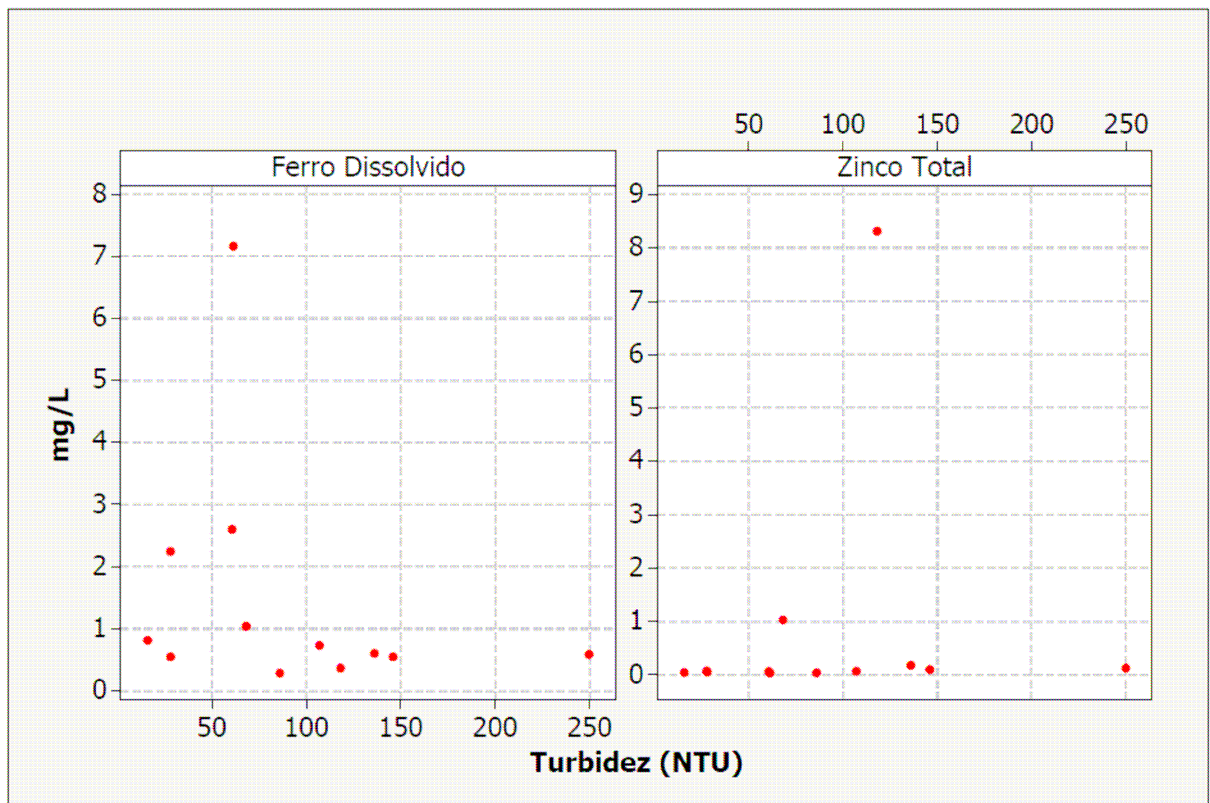


Figura 7.42 - Comportamento dos metais Fe e Zn em função da turbidez.

As figuras 7.43 a 7.50 mostram o comportamento de cada metal em função dos parâmetros físico-químicos. Observa-se que as curvas de pH e OD em função dos teores dos metais apresentam igual feição, assim como as curvas de DBO e turbidez.

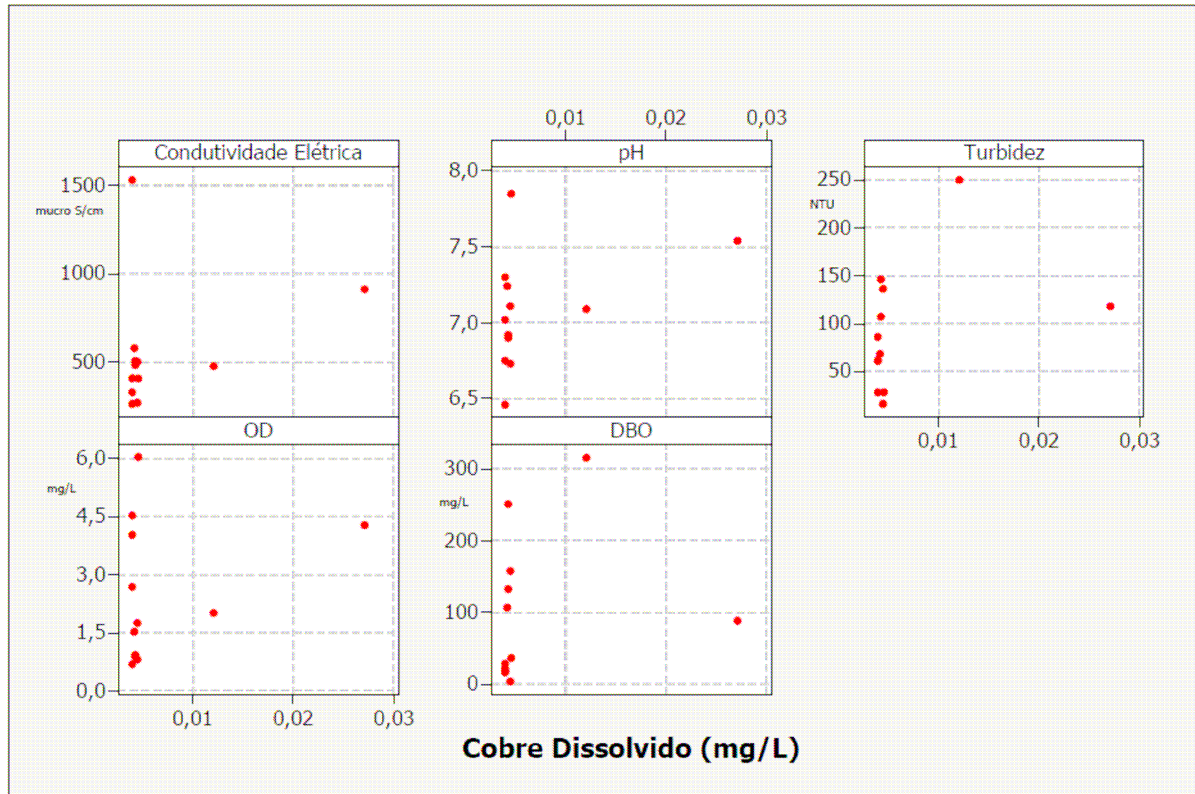


Figura 7.43 - Comportamento do Cobre presente nos afluentes da sub-bacia do Sarandi em função dos fatores físico-químicos.



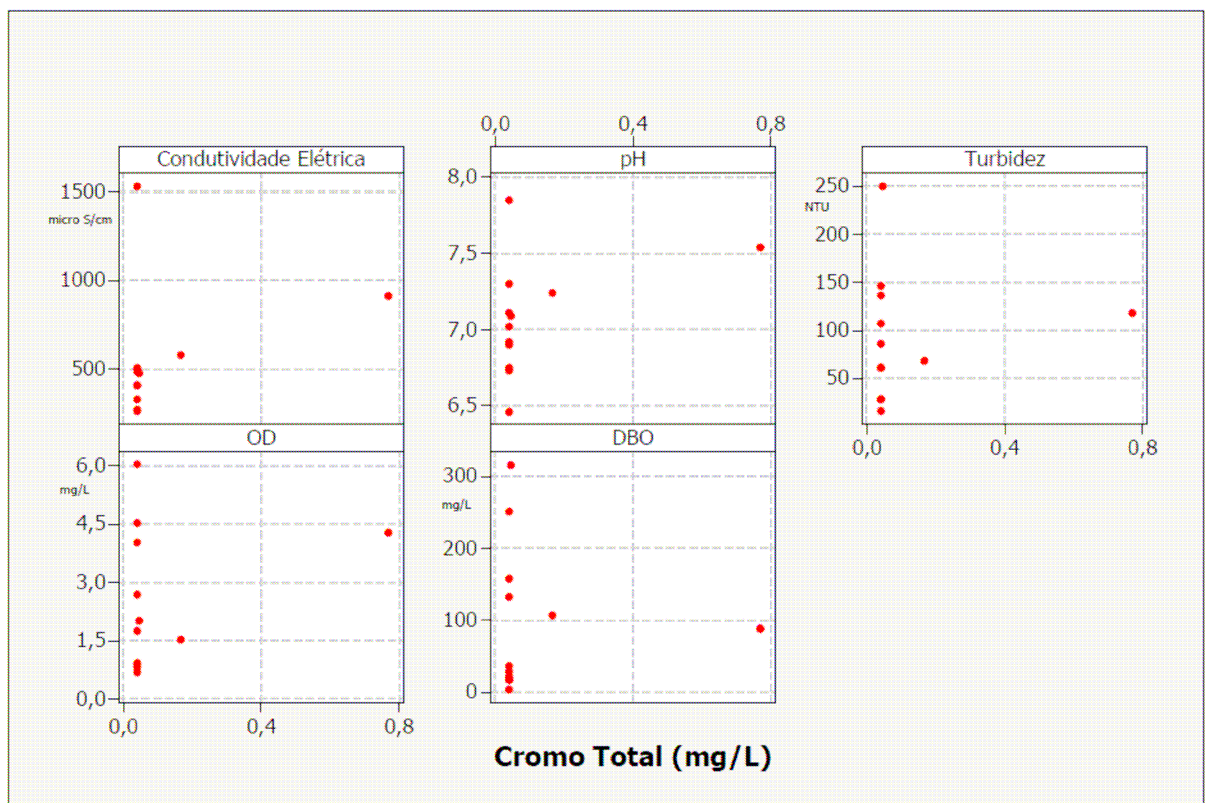


Figura 7.44 - Comportamento do Cromo presente nos afluentes da sub-bacia do Sarandi em função dos fatores físico-químicos.

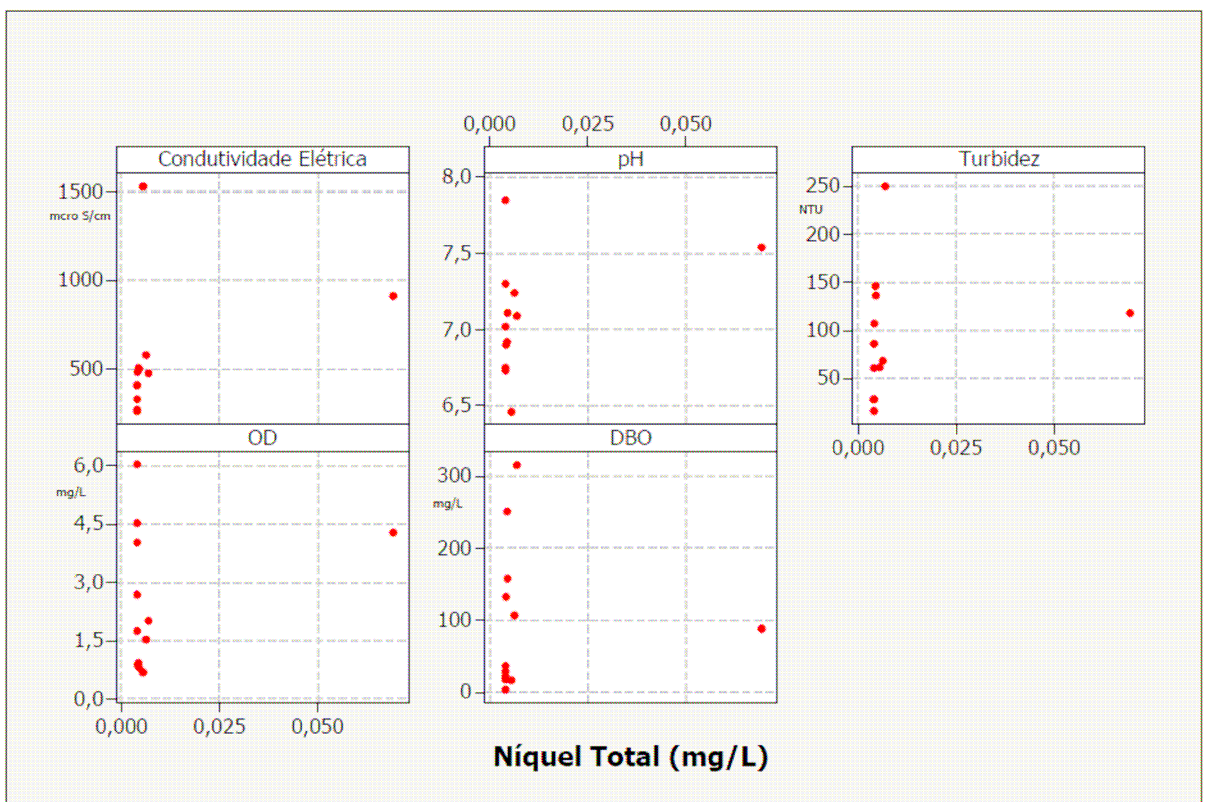


Figura 7.45 - Comportamento do Níquel presente nos afluentes da sub-bacia do Sarandi em função dos fatores físico-químicos.



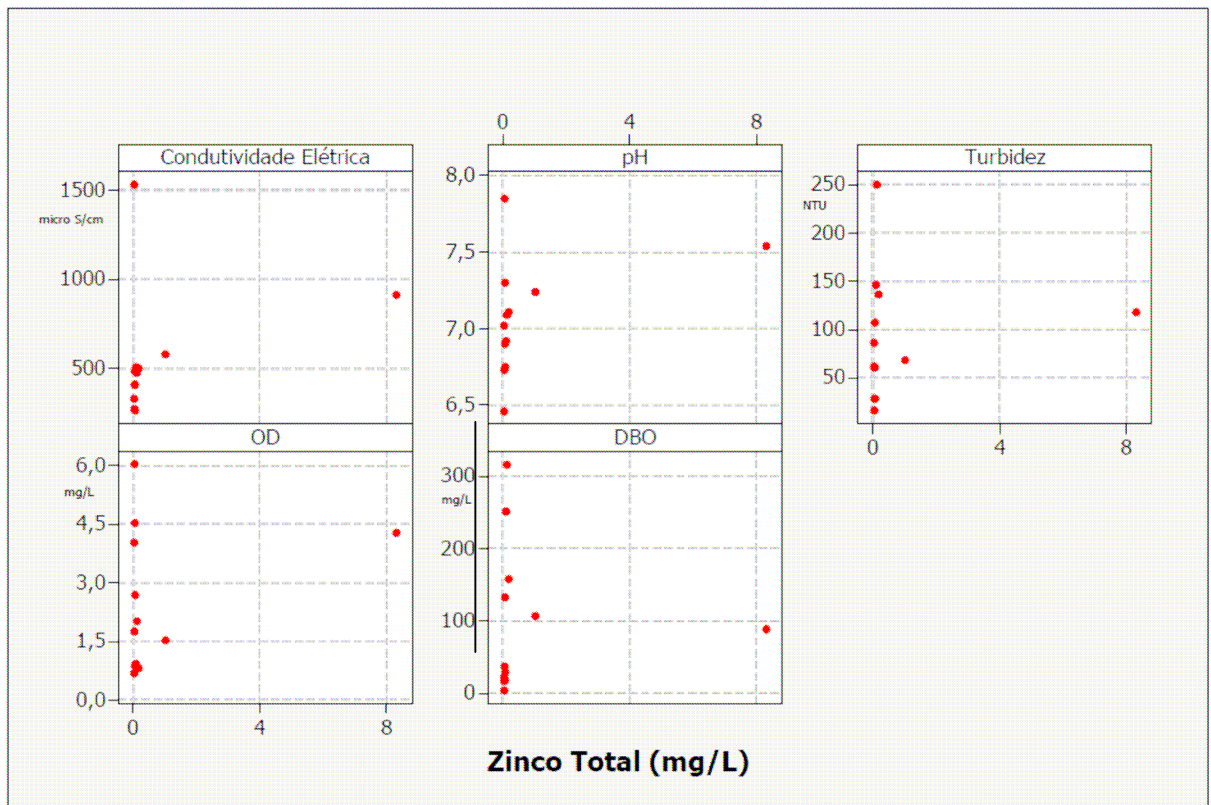


Figura 7.46 - Comportamento do Zinco presente nos afluentes da sub-bacia do Sarandi em função dos fatores físico-químicos.

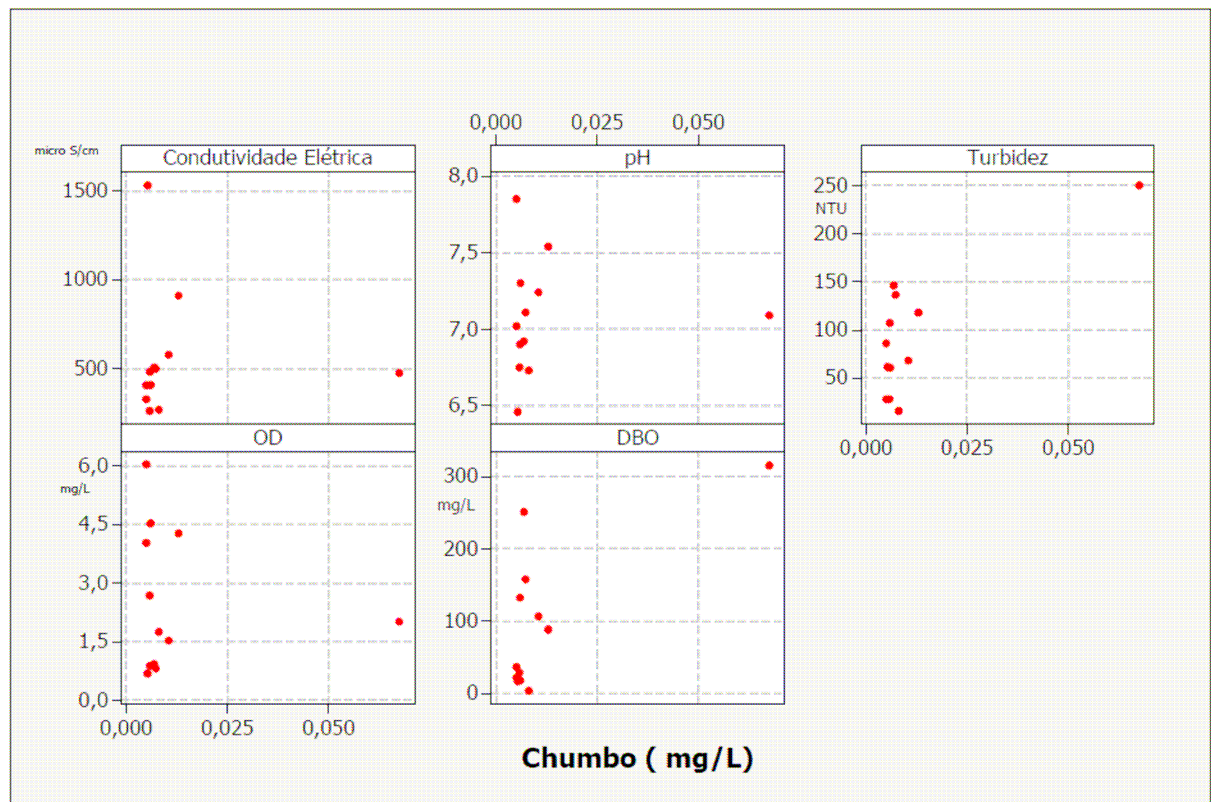


Figura 7.47 - Comportamento do Chumbo presente nos afluentes da sub-bacia do Sarandi em função dos fatores físico-químicos.

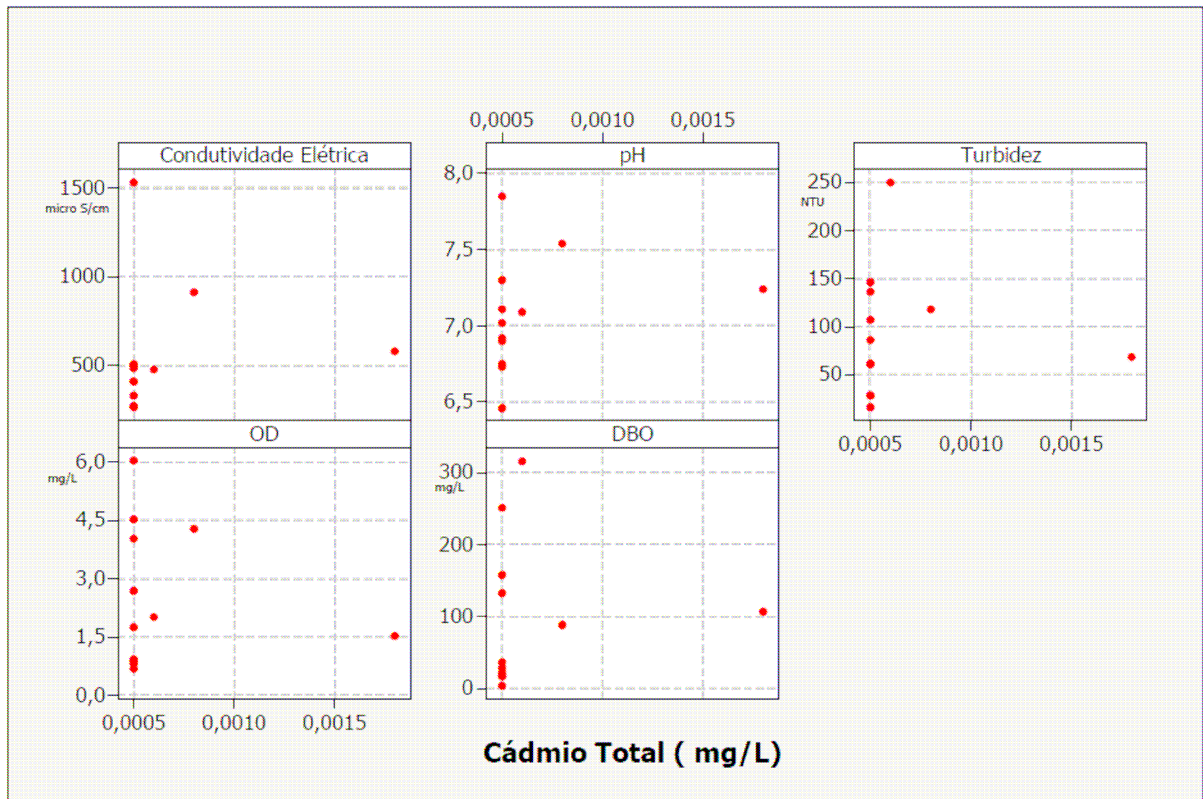


Figura 7.48 - Comportamento do Cádmio nos afluentes da sub-bacia do Sarandi em função dos fatores físico-químicos.

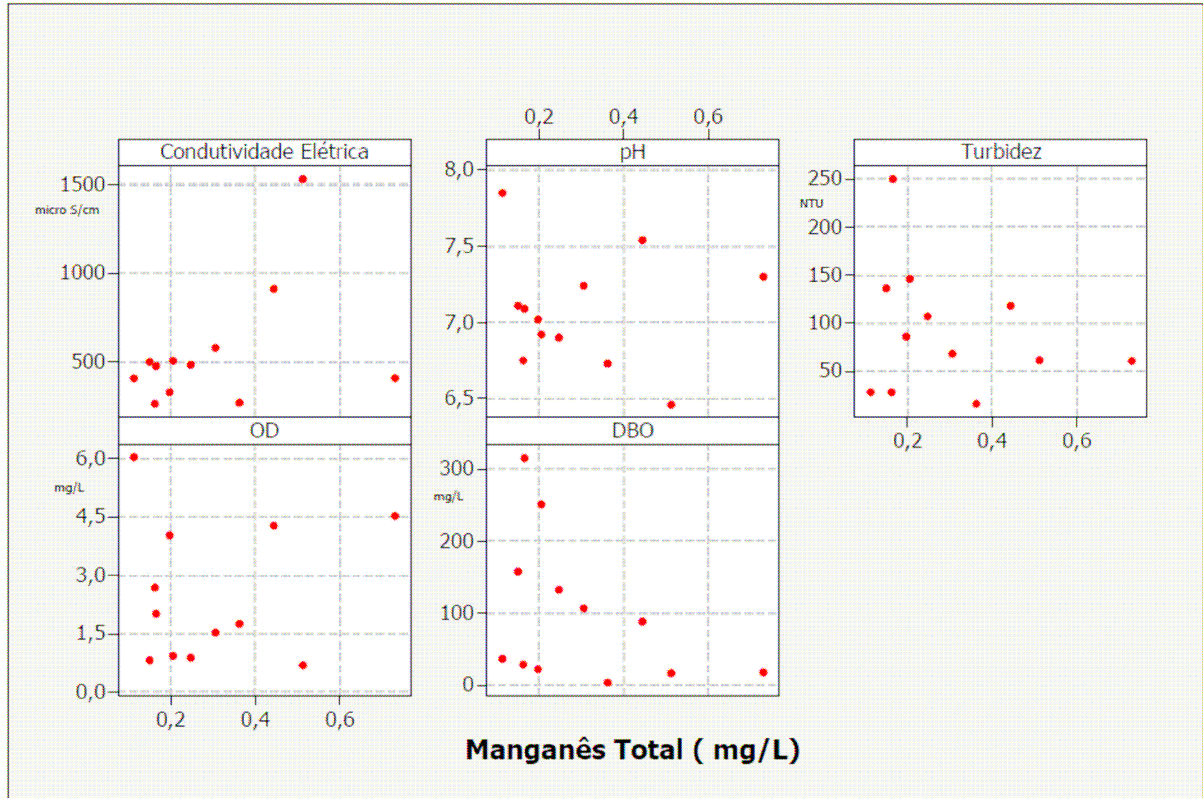


Figura 7.49 - Comportamento do Manganês presente nos afluentes da sub-bacia do Sarandi em função dos fatores físico-químicos.

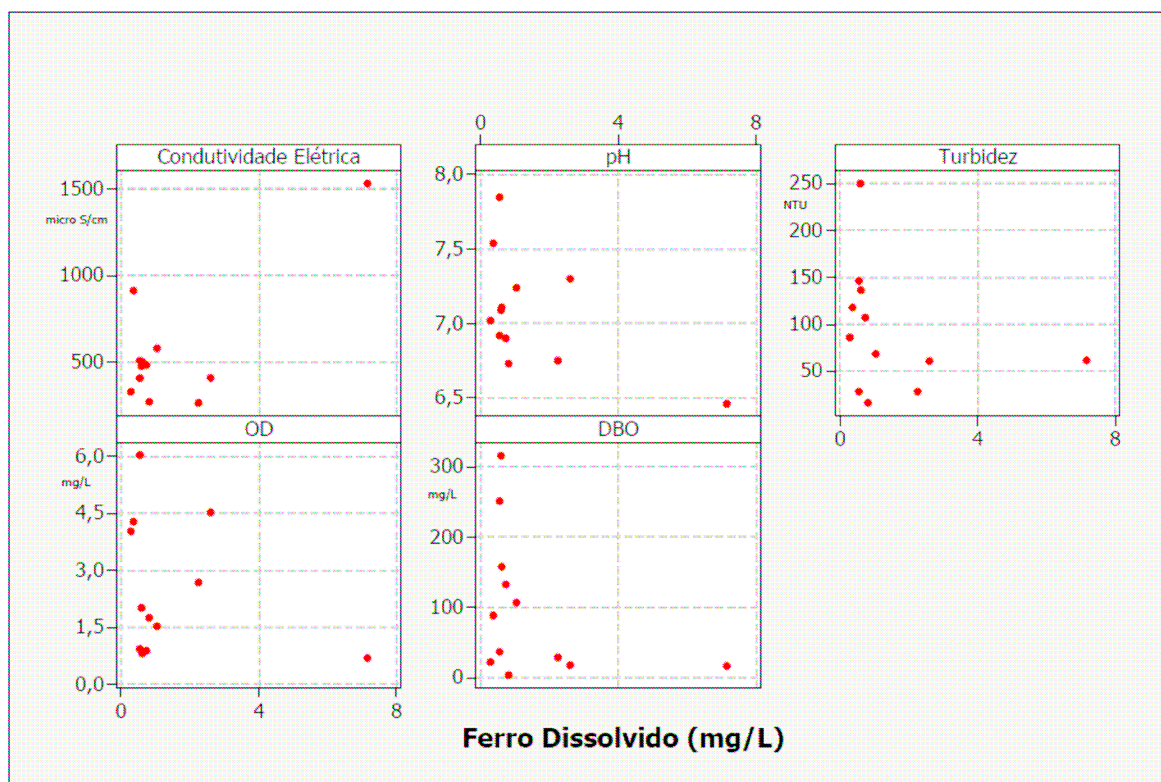


Figura 7.50 - Comportamento do Ferro dissolvido nos afluentes da sub-bacia do Sarandi em função dos fatores físico-químicos.

## 8 RESULTADOS

### 8.1 Resultados analíticos da 1ª. campanha de amostragem

As tabelas 8.1 e 8.2 apresentam os resultados das análises químicas dos sedimentos coletados no córrego Sarandi.

Tabela 8.1 - Teores dos elementos menores dos sedimentos coletados no córrego Sarandi.

Ponto	Teor (ppm)						
	Zn	Pb	Cd	Co	Cr	Ni	Cu
PT01	251	80	1,2	14	51	19	108
PT03	370	44	1,5	5	36	15	96
PT05	235	43	1,1	5	60	12	54
PT07	300	65	1,4	28	482	10	34
PT08	287	81	1	5	66	16	46

*Tabela 8.2 - Teores dos elementos maiores dos sedimentos coletados no córrego Sarandi.*

	Teor %						
Ponto	Na	MgO	Al	K	Fe	Mn	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
PT01	0,20	0,462	2,14	0,56	4,80	0,0554	550
PT03	0,34	0,171	2,57	1,43	2,06	0,0246	10
PT05	0,30	0,155	1,63	1,09	0,76	0,0215	280
PT07	0,22	0,244	1,73	0,93	10,50	0,0901	720
PT08	0,34	0,238	3,46	1,25	1,98	0,0293	620

A tabela 8.3 apresenta os resultados analíticos das amostras de água do córrego Sarandi.

Tabela 8.3 - Teores dos elementos nas amostras de água ao longo do córrego Sarandi.

Ponto	Teor mg.L <sup>-1</sup>									Teor %				Parâmetros físico-químicos		
	As	Cd	Co	Cu	Cr	Ni	Pb	Hg	Ba	Al	Fe	Mn	Zn	pH	condutividade elétrica μS/cm	turbidez NTU
<b>PT01</b>	<0,35	<0,1	0,7	8,3	3,67	2,3	6,2	0,05	35	0,74	1,81	0,29	0,06	6,2	653	90,4
<b>PT02</b>	<0,35	<0,1	2,48	4,1	1,26	7,7	2,6	0,05	38	0,05	0,44	0,34	0,12	6,1	734	98,7
<b>PT03</b>	<0,35	<0,1	1,32	3,8	0,74	4	1,6	0,05	30	0,05	0,14	0,29	0,06	6,3	595	97,7
<b>PT04</b>	<0,35	<0,1	1,27	3,4	0,1	3,7	1,8	0,05	29	0,05	0,15	0,31	0,06	6,5	595	102
<b>PT06</b>	<0,35	<0,1	0,69	28,9	0,69	3,8	47,5	0,05	24	0,05	0,15	0,21	0,03	6,5	519	123,7
<b>PT07</b>	<0,35	<0,1	1,14	4,4	0,77	4,1	1,6	0,05	32	0,05	0,43	0,28	0,05	6,6	554	116,5
<b>PT08</b>	<0,35	<0,1	1,28	2,9	0,71	5,1	0,9	0,05	28	0,05	0,42	0,24	0,06	6,4	534	145,8



## 8.1 Resultados analíticos da 2a. campanha de amostragem

### 8.1.1 Variação espacial– Água

As figuras 8.1 a 8.9 apresentam a variação espacial dos parâmetros físico-químicos e dos elementos-traço presentes nas amostras de água do Córrego Sarandi. Os gráficos traçados mostram a evolução de cada parâmetro ou elemento químico ao longo o córrego Sarandi. Devido à pequena diferença entre os resultados obtidos nas épocas de seca e chuva foram calculadas as médias dos parâmetros físico-químicos e dos elementos metálicos do presente estudo e comparados aos valores médios dos afluentes da sub-bacia do Sarandi, os quais foram plotados considerando a distância linear em que a drenagem referente ao ponto intercepta o córrego Sarandi. O limite estabelecido na Resolução CONAMA 357/2005 encontra-se destacado em cada gráfico em linha tracejada, cor verde.

A figura 8.1 mostra os valores de pH do córrego Sarandi abaixo do valor mínimo estabelecido na legislação, apresentando caráter ácido desde no PT01, ponto de descarga do chorume do Lixão, tendendo ao crescimento na direção da Lagoa, à medida que recebe os afluentes cujos valores de pH são mais elevados.

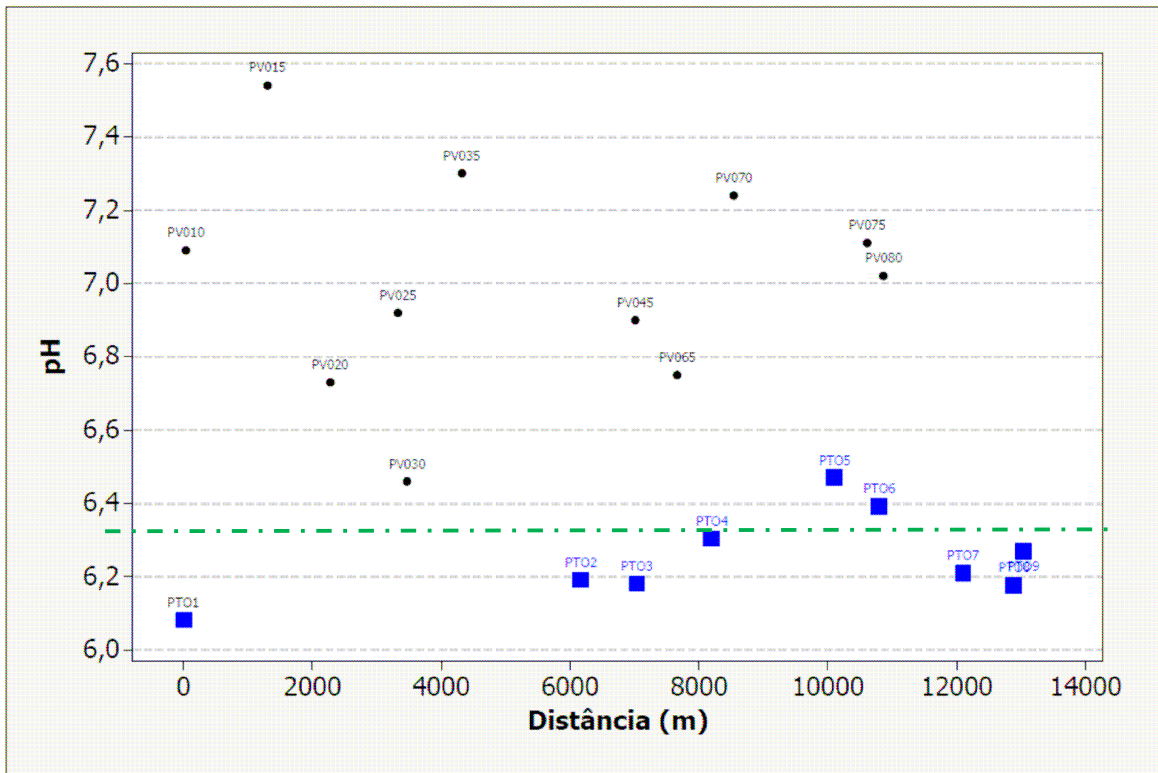


Figura 8.1 - Variação do pH no córrego Sarandi comparando à de seus afluentes.

Limite CONAMA No. 357/2005:  $6,5 < \text{pH} < 8,0$  (linha traço-pontilhada cor verde)

A figura 8.2 apresenta a estreita faixa de temperatura da água do córrego Sarandi, em torno de 24,5 ° C. Os córregos correspondentes aos PV025 e PV030 apresentam temperaturas altas, em torno de 27,5°C e os córregos correspondentes aos PV020 e PV035 apresentam temperaturas mais baixas, e torno de 23°C.

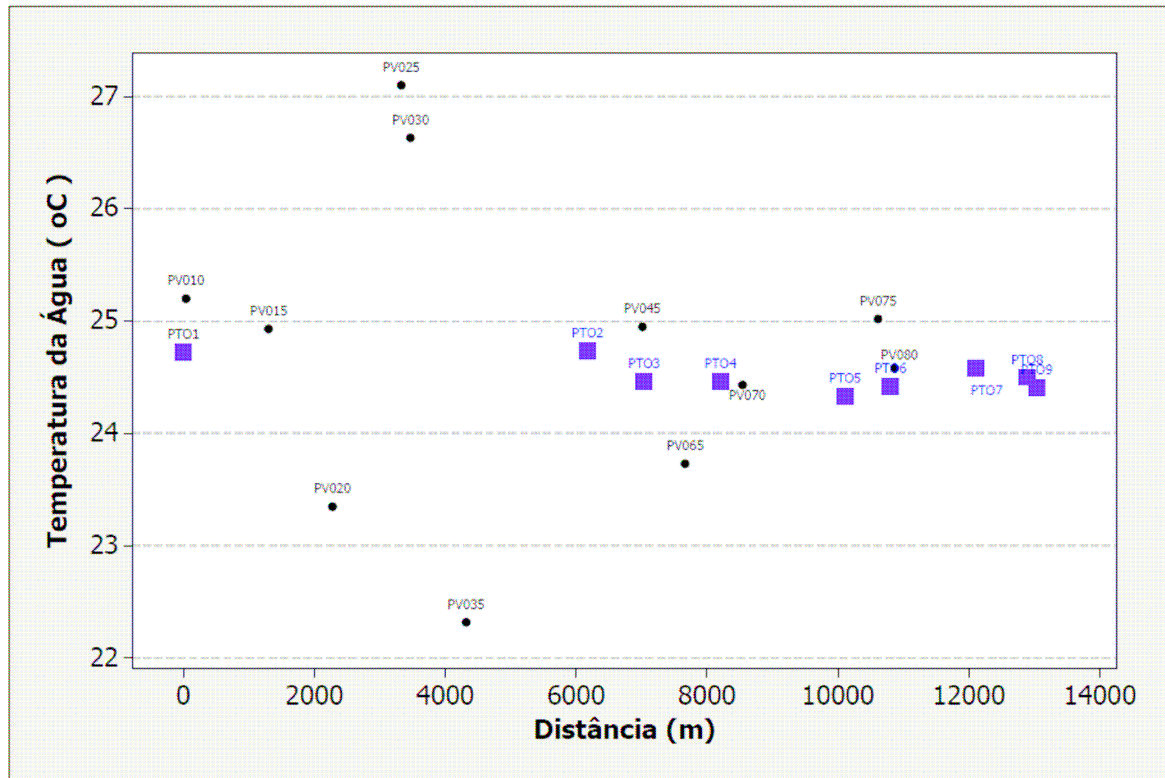


Figura 8.2 - Variação da Temperatura da água do córrego Sarandi comparando à de seus afluentes.

A figura 8.3 mostra que a condutividade elétrica ao longo do córrego Sarandi é uniforme, variando entre 500 e 600  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , valores considerados altos, indicando presença de íons dissolvidos na água, partículas carregadas eletricamente, sugerindo possível contaminação por efluentes industriais.

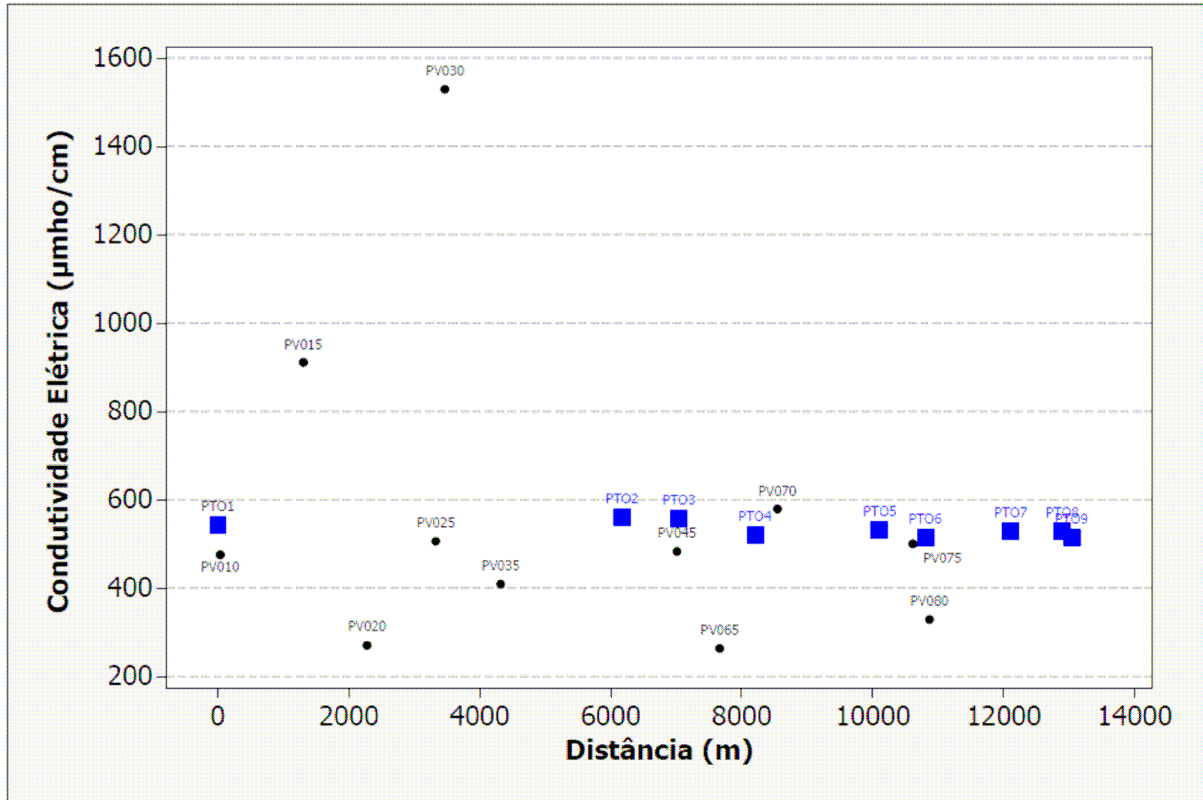


Figura 8.3 - Variação da Condutividade elétrica no córrego Sarandi comparando à de seus afluentes.



A figura 8.4 apresenta os valores da turbidez crescente ao longo do córrego Sarandi. Observa-se que o córrego apresenta valores de turbidez com tendência a crescimento, mas em acordo com a legislação até o ponto PT05, entretanto, ao receber a drenagem dos afluentes correspondentes aos PV 070 e PV075, os valores ultrapassam o determinado em legislação. A causa provável pode ser o lançamento de efluentes domésticos e industriais.

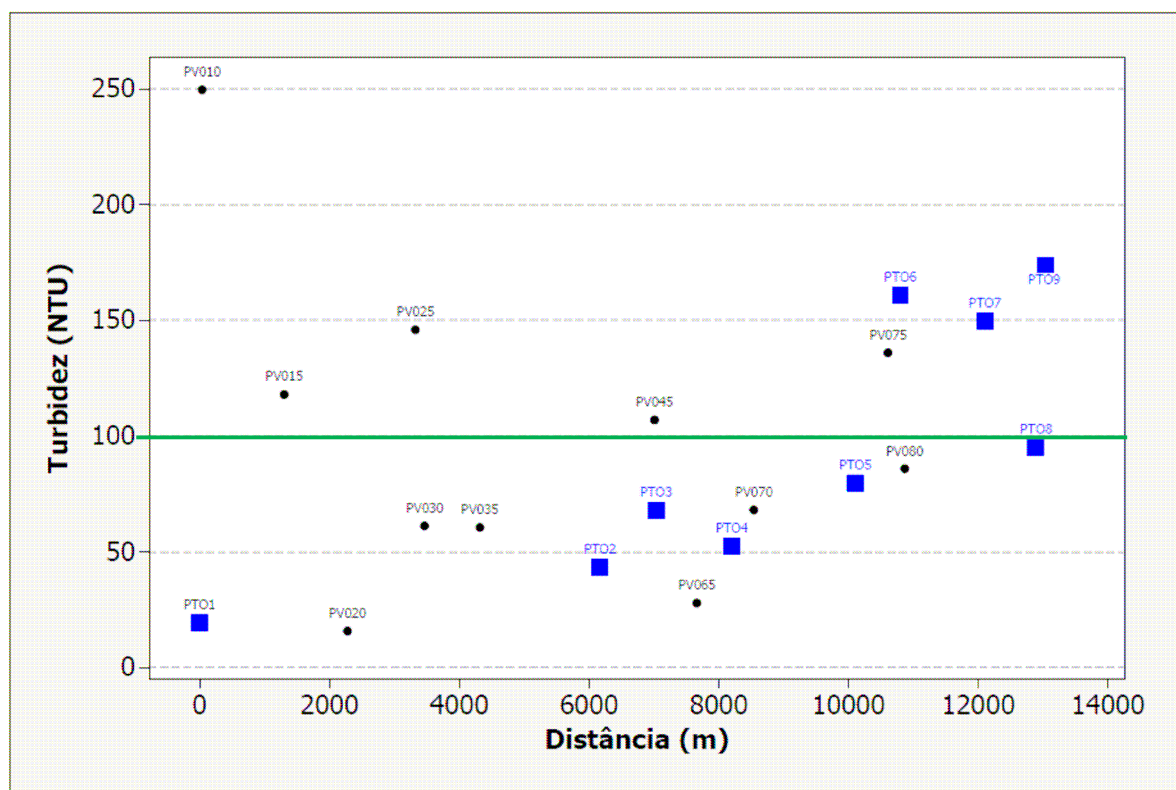


Figura 8.4 - Variação da Turbidez no córrego Sarandi comparando à de seus afluentes.

Limite CONAMA No. 357/2005: 100 NTU (linha traço-pontilhada cor verde)

A figura 8.5 mostra que o córrego Sarandi, próximo à sua nascente, apresenta valores de oxigênio disponível muito abaixo do valor mínimo estabelecido na legislação. Apresentando crescimento a partir do PT03, onde o córrego já não se encontra recoberto. Ressalta-se que o fato da canalização em calha impermeabilizada favorece a velocidade das águas e conseqüentemente implica mais oxigênio no sistema. A partir do PT06 atinge valores acima de 5 mg. L<sup>-1</sup>, considerado satisfatório para enquadramento de classe 2 de um determinado corpo receptor (CONAMA No. 357 2005). Isso se explica também pela presença da rede coletora de esgotos na região próxima à Lagoa.

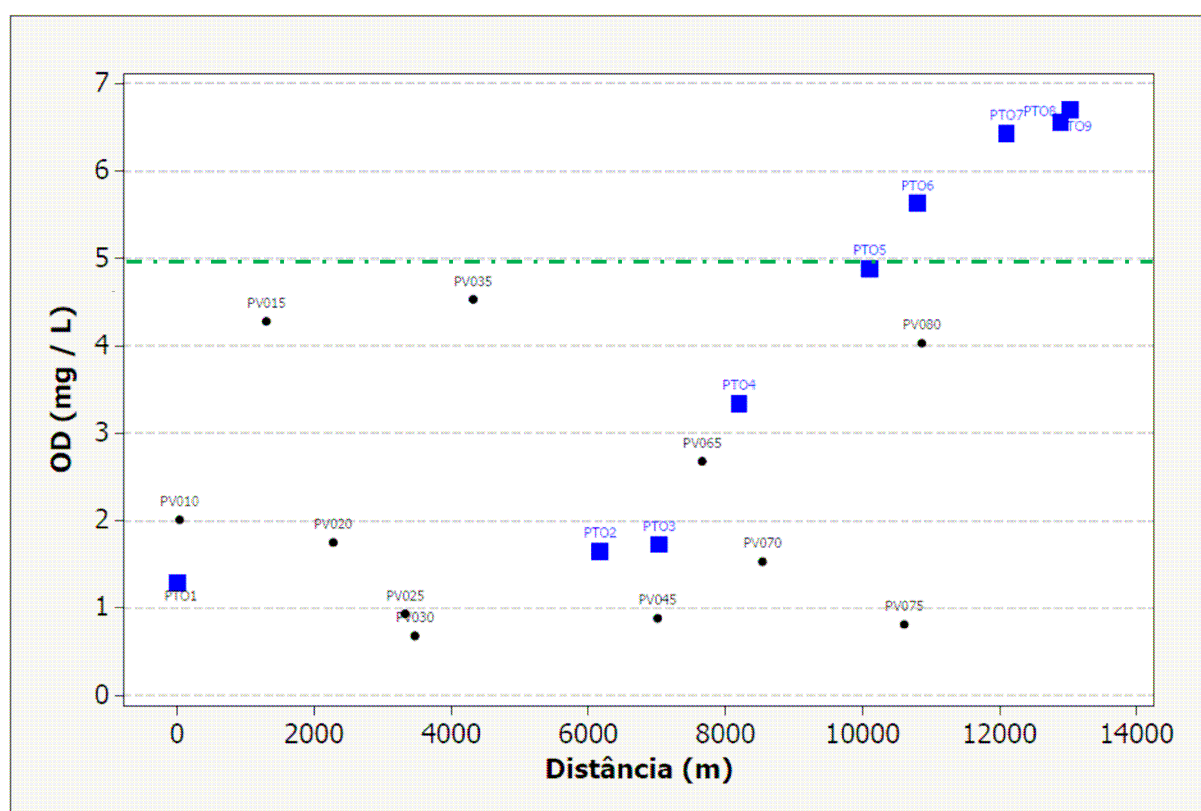


Figura 8.5 - Variação de Oxigênio Disponível no córrego Sarandi comparando à de seus afluentes.

Limite CONAMA No. 357/2005: mínimo: 5 mg.L<sup>-1</sup> (linha traço-pontilhada em cor verde)

As análises químicas de Cádmio, Chumbo, Cromo e Níquel nas amostras de água do córrego Sarandi indicaram valores abaixo do limite do método de análise, porém esse limite é superior ao estabelecido em legislação, o que não permite avaliar a contaminação ou não do córrego. Entretanto, observa-se que as contribuições dos afluentes apresentam teores desse elemento abaixo do limite da legislação, o que sugere a não contaminação das águas do córrego por esses elementos.

A figura 8.6 apresenta os teores de Cobre das amostras de água ao longo do córrego Sarandi. Observa-se se que o PT01 apresenta teor acima do estabelecido em legislação, que pode ser explicado, pela proximidade do Lixão. Os demais pontos apresentam valores abaixo do limite de detecção do método de análise, o que impede a análise conclusiva em relação à contaminação deste trecho do córrego Sarandi em relação a este elemento. Entretanto, da mesma forma que para o Cádmio e Chumbo, os demais afluentes apresentam valores abaixo do limite estabelecido na legislação, à exceção dos córregos correspondentes aos PV010 e PV015, o que sugere a não contaminação do córrego por este elemento.

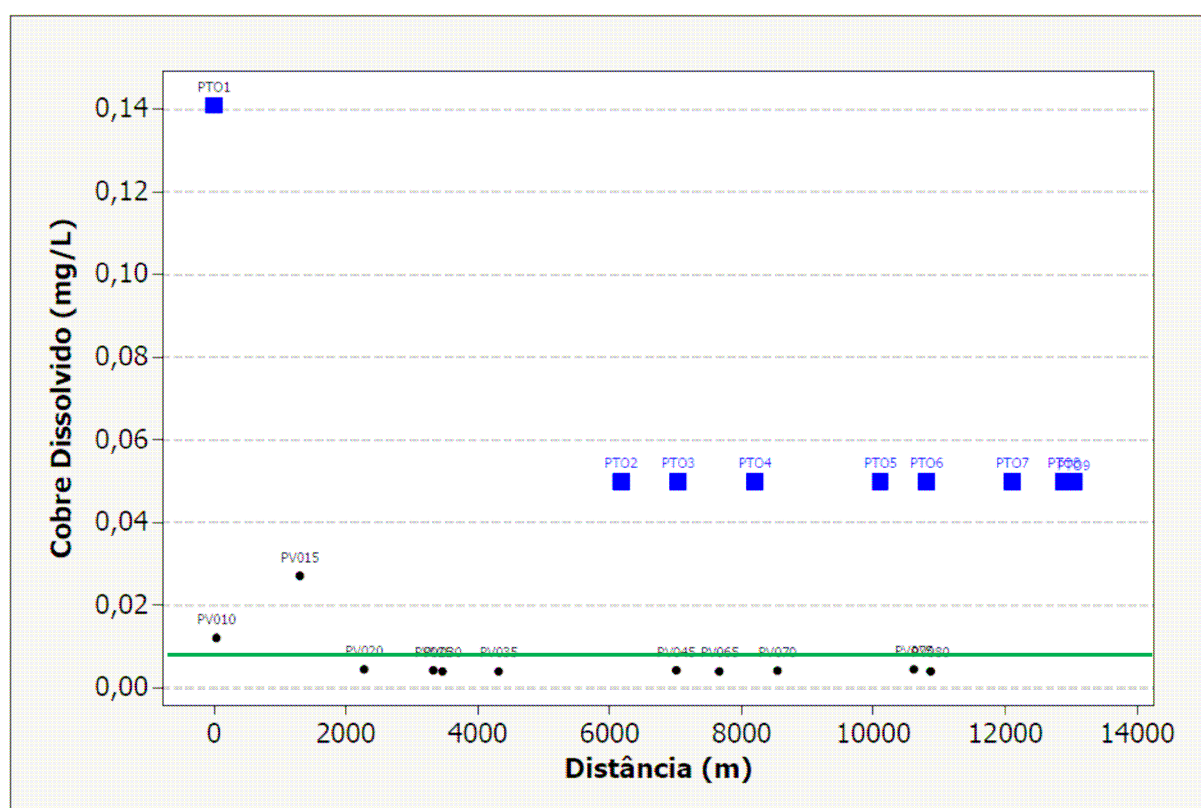


Figura 8.6 - Variação de Cobre dissolvido no córrego Sarandi comparando à de seus afluentes.

Limite CONAMA No. 357/2005: máximo: 0,009 mg.L<sup>-1</sup> (linha traço-pontilhada em cor verde)

A figura 8.7 apresenta teores de Ferro nas amostras de água do córrego Sarandi acima do estabelecido em legislação, confirmado pelas contribuições dos afluentes, porém, com tendência a decréscimo da nascente à foz. Cabe ressaltar que, a sub-bacia se insere em um substrato rochoso, cujas rochas têm em sua composição ferro, cujo *background* para esse elemento é de  $0,26 \text{ mg.L}^{-1}$ , o que permite afirmar a presença de alguma atividade antrópica no entorno.

O ferro aparece, normalmente, da dissolução de compostos do solo e dos despejos industriais. Em épocas de alta precipitação, o nível de ferro na água aumenta em decorrência dos processos de erosão nas margens dos corpos de água. Nas indústrias metalúrgicas, o ferro é disponibilizado através da decapagem que consiste na remoção da camada oxidada das peças antes de seu uso.

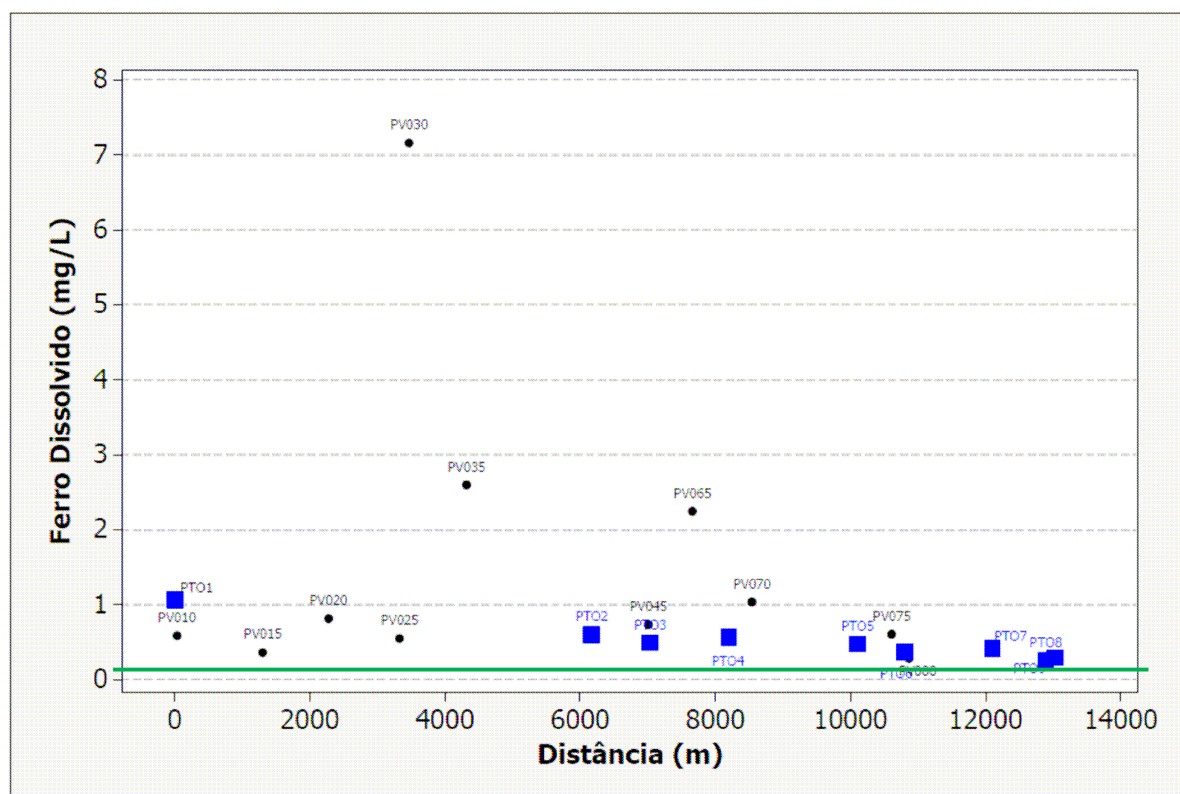


Figura 8.7 - Variação de Ferro no córrego Sarandi comparando à de seus afluentes.

Limite CONAMA No. 357/2005: máximo:  $0,30 \text{ mg.L}^{-1}$  (linha traço-pontilhada em cor verde)

A figura 8.8 apresenta os teores de Manganês nas amostras de água ao longo do córrego Sarandi. Observa-se que os teores estão acima do estabelecido em legislação, confirmado pelas contribuições dos afluentes, porém com tendência crescente da nascente até o PT04, decrescendo até a foz. Sua origem está nas indústrias de ligas metálicas e baterias, inseridas no pólo de indústria metalúrgica presente na sub-bacia,

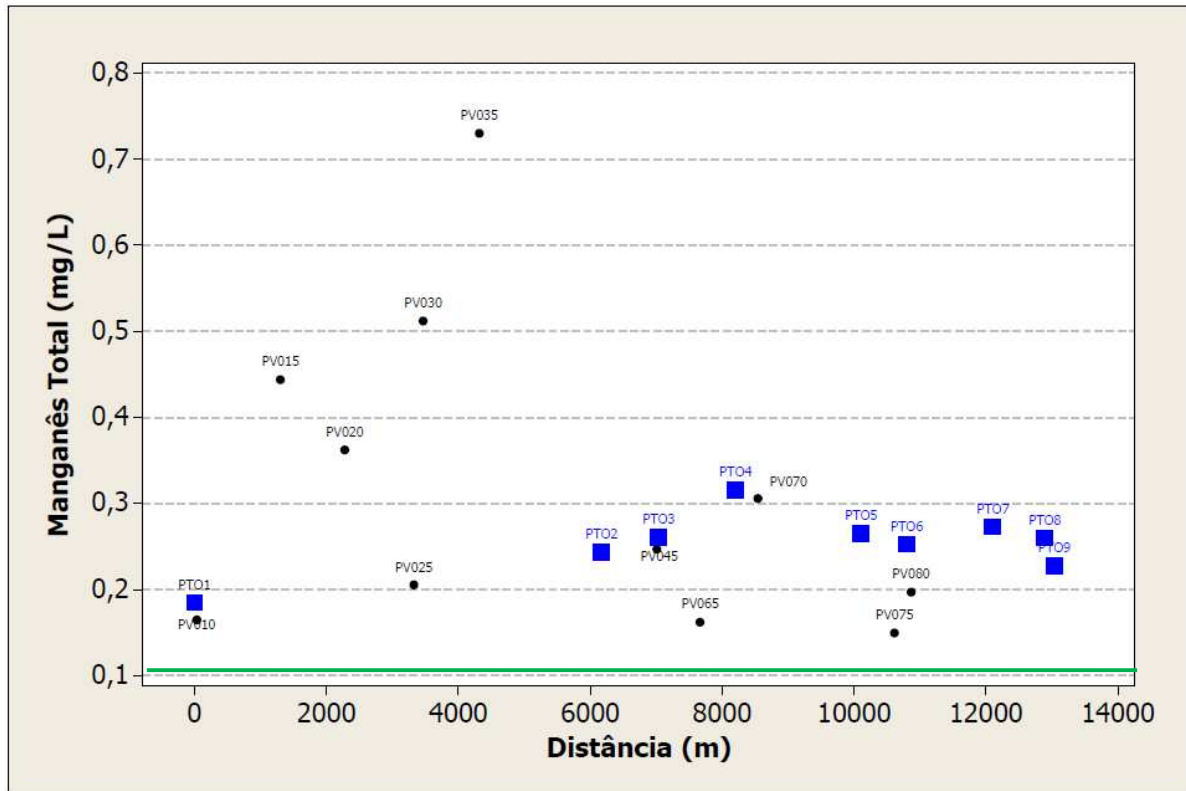


Figura 8.8 - Variação de Manganês no córrego Sarandi comparando à de seus afluentes.

Limite CONAMA No. 357/2005: máximo:  $0,10 \text{ mg.L}^{-1}$  (linha traço-pontilhada em cor verde)

A figura 8.9 apresenta as análises químicas de Zinco para as amostras de água ao longo do córrego. Observa-se que os teores estão acima do estabelecido em legislação. Destaca-se a região entre os pontos PT04 a PT06 e PT08 em que os teores de Zn são mais elevados, corroborado pelos valor mais alto do Zinco para o PV070. A análise permite afirmar que as águas do córrego estão contaminadas por esse elemento oriundo da . indústria de zinco primário, incineração de resíduos, siderurgias, cimento, concreto, cal e gesso, além dos efluentes domésticos.

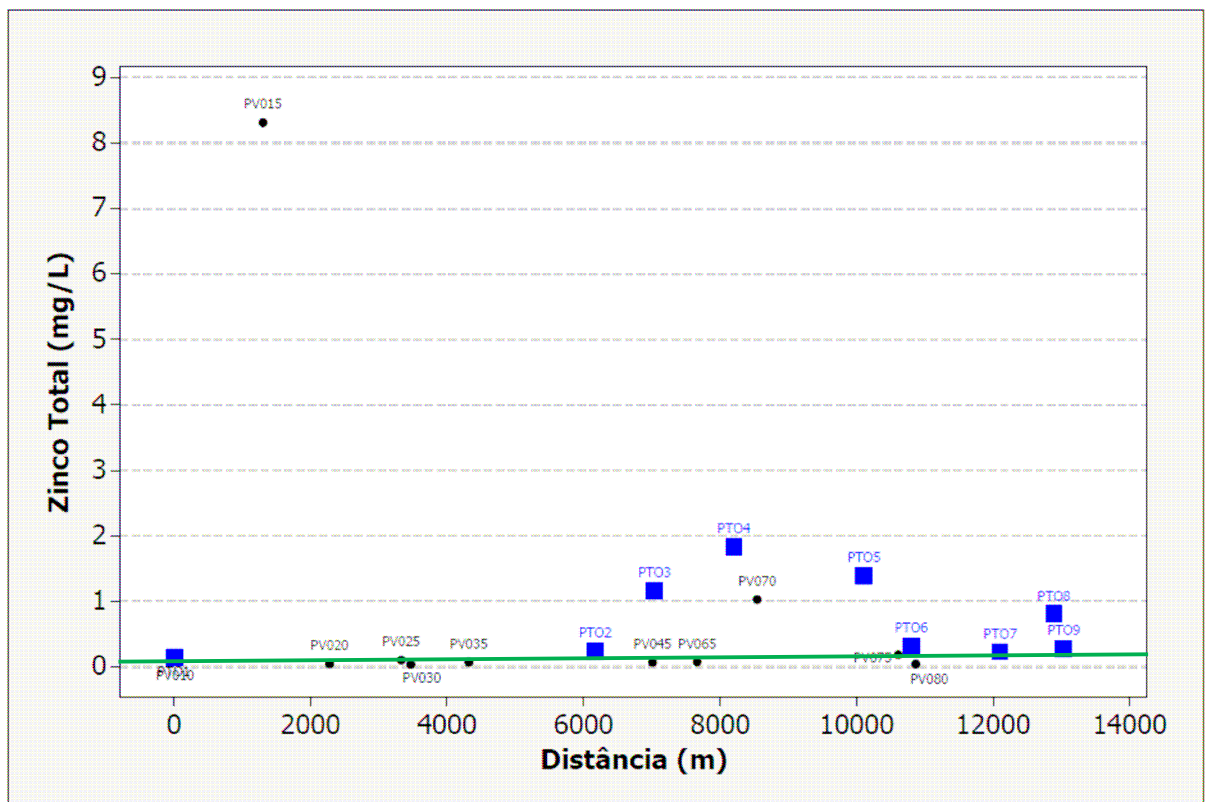


Figura 8.9 - Variação de Zinco no córrego Sarandi comparando à de seus afluentes.

Limite CONAMA No. 357/2005: máximo:  $0,18 \text{ mg.L}^{-1}$  (linha traço-traço-pontilhada em cor verde)



### 8.1.2 Comportamento dos metais em função dos fatores físico-químicos

A seguir serão apresentados o comportamento dos metais Fe, Zn e Mn em função de alguns parâmetros físico-químicos (Figs. 8.10 a 8.13). Não foram traçados os gráficos relacionando os outros metais, uma vez que o limite de detecção do método analítico estava acima do limite estabelecido na legislação. Os picos apresentados correspondem aos pontos PT01, PT04 e PT05, o que não permite afirmar a existência da relação direta dos metais com os parâmetros físico-químicos elencados, e sim com as fontes presentes.

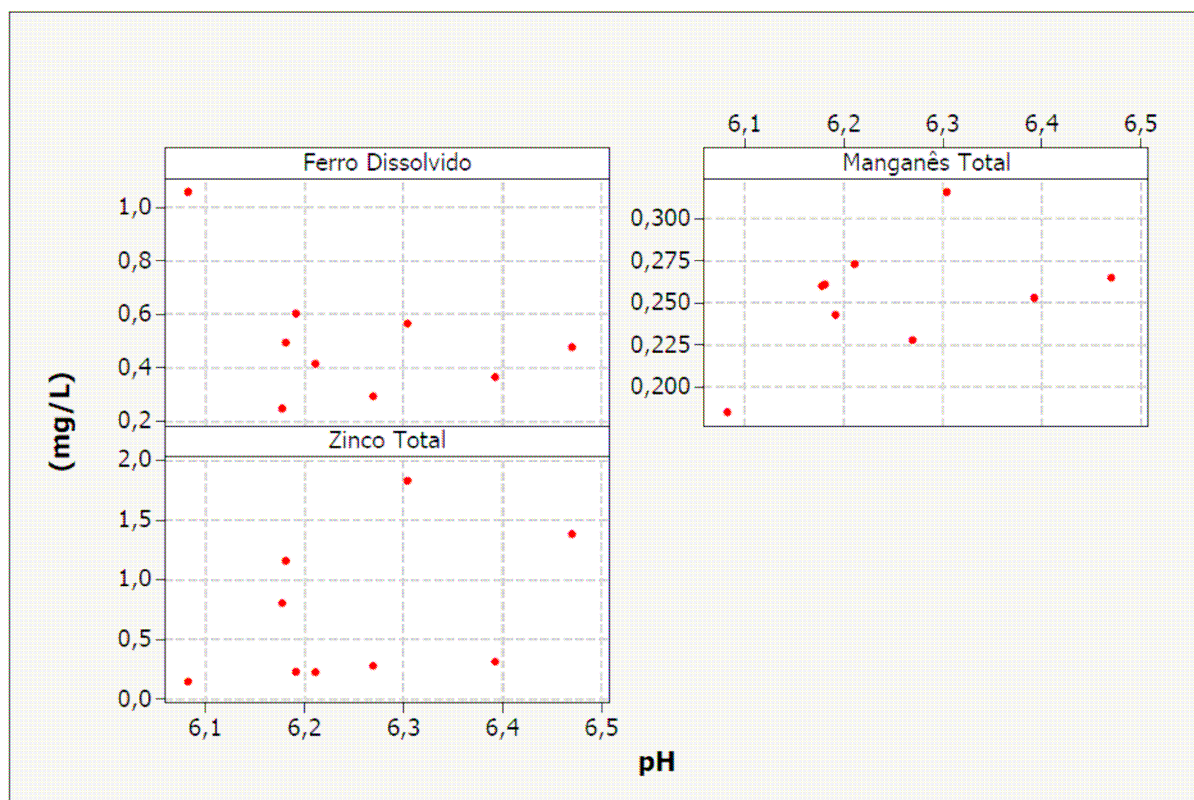


Figura 8.10 - Comportamento dos metais Fe, Mn e Zn ao longo do córrego Sarandi em função do pH.

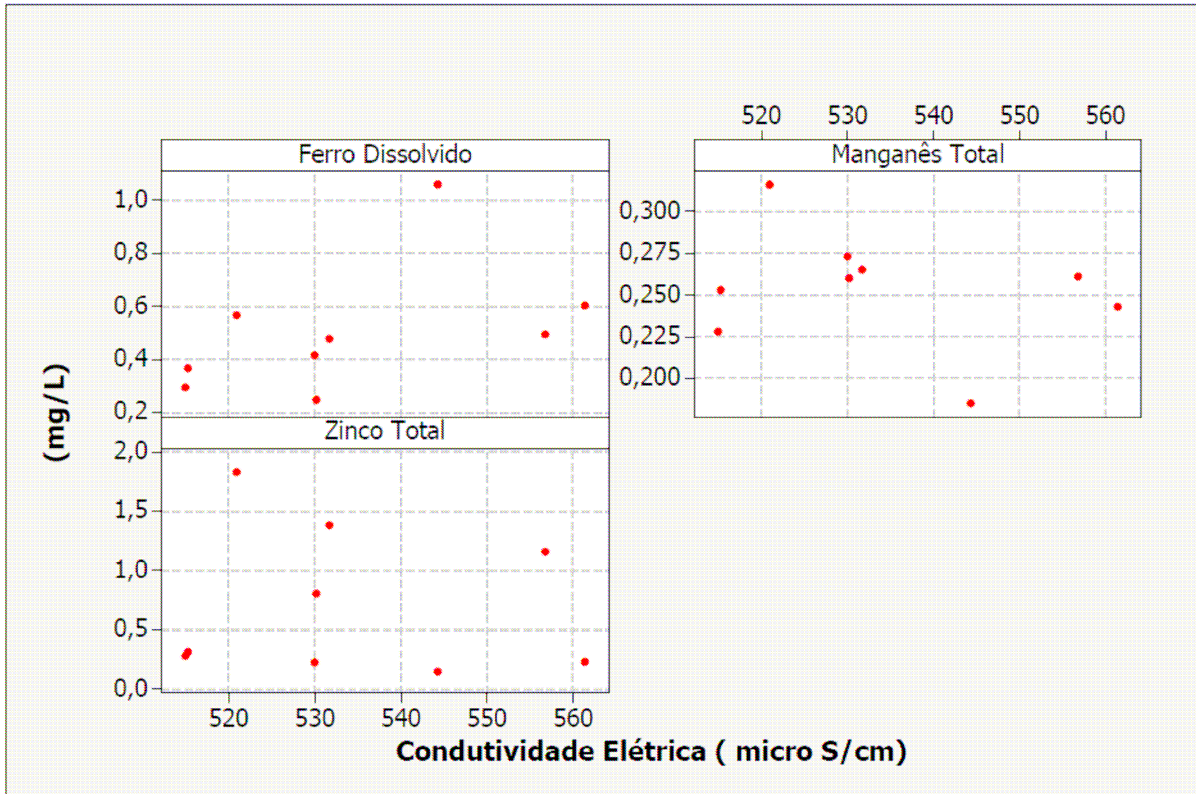


Figura 8.11 - Comportamento dos metais Fe, Mn e Zn em função da Condutividade elétrica.

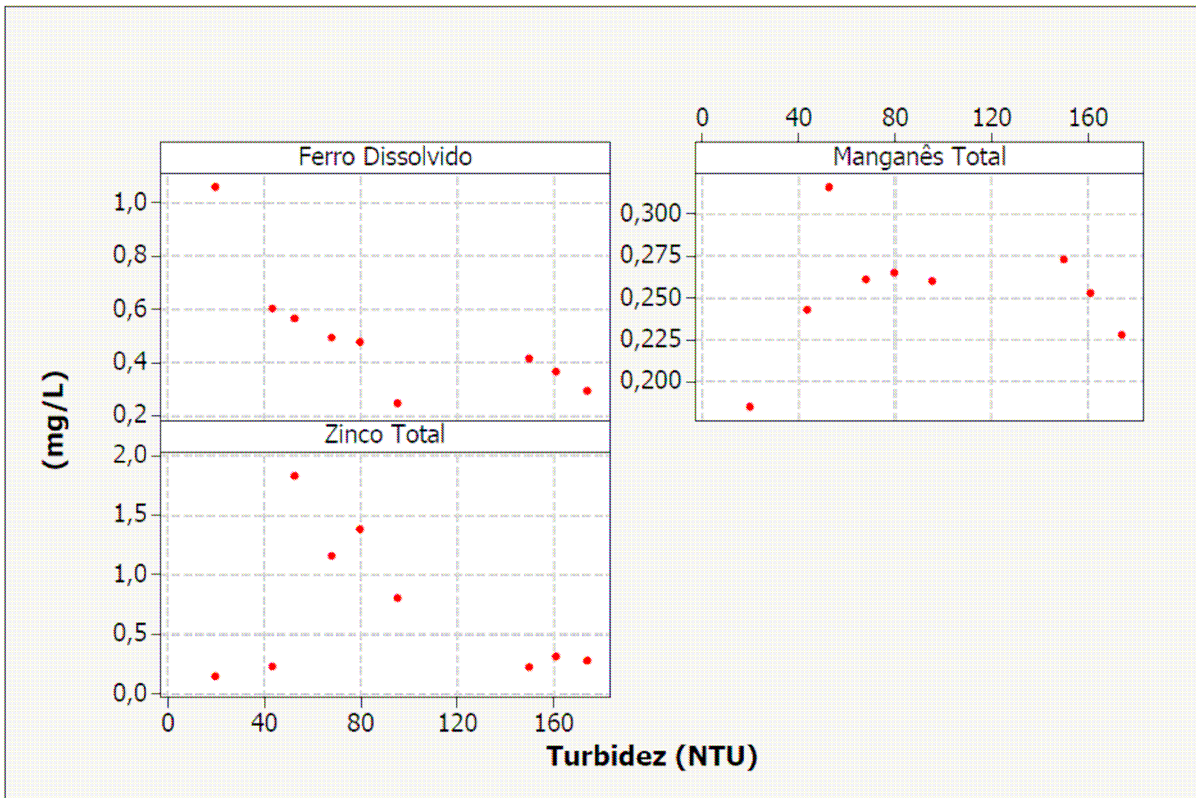


Figura 8.12 - Comportamento dos metais Fe, Mn e Zn em função da Turbidez



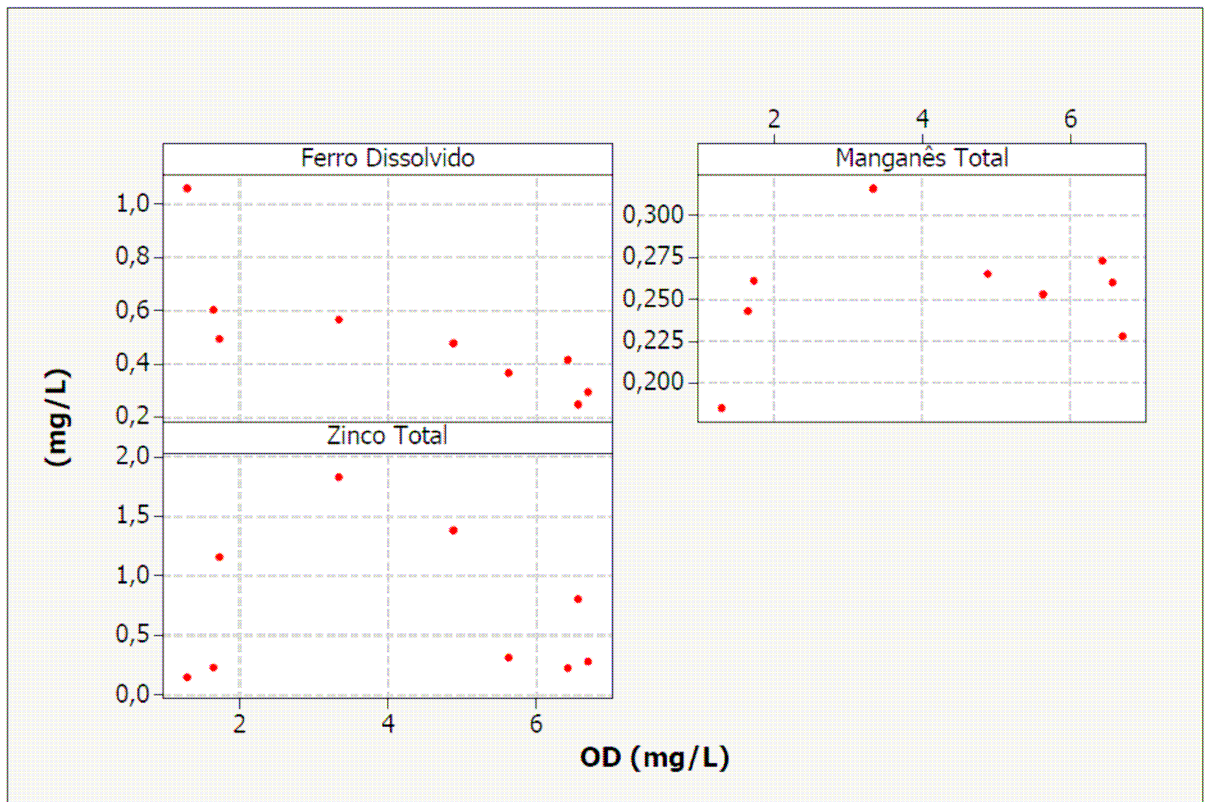


Figura 8.13 - Comportamento dos metais Fe, Mn e Zn em função do Oxigênio Disponível.

As figuras 8.14 a 8.16 apresentam o comportamento de cada metal com os parâmetros físico-químicos. Os parâmetros aqui traçados foram pH, OD, turbidez e condutividade elétrica. A similaridade na feição das curvas pH e OD não foi encontrada nesses gráficos, diferentemente dos gráficos dos afluentes, o que pode ser explicado por ser o córrego Sarandi o ponto de recebimento dos afluentes.

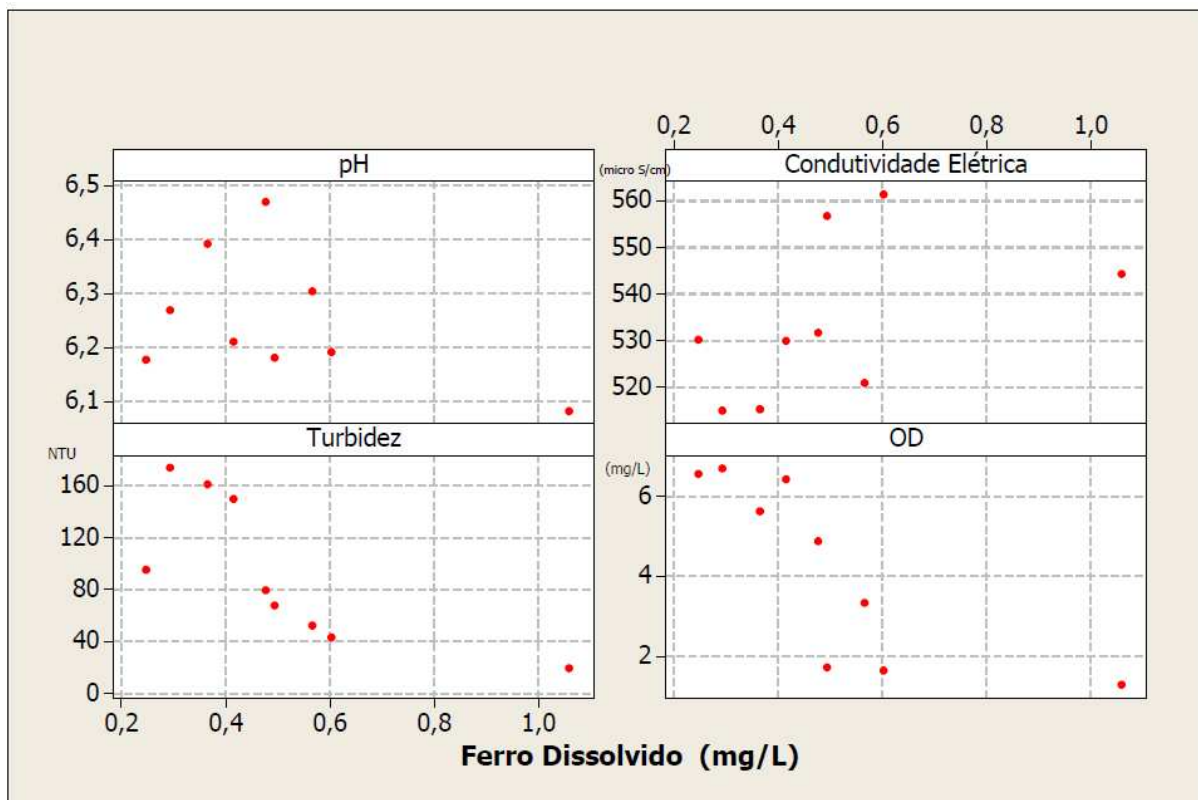


Figura 8.14 - Comportamento do Ferro em função dos fatores físico-químicos

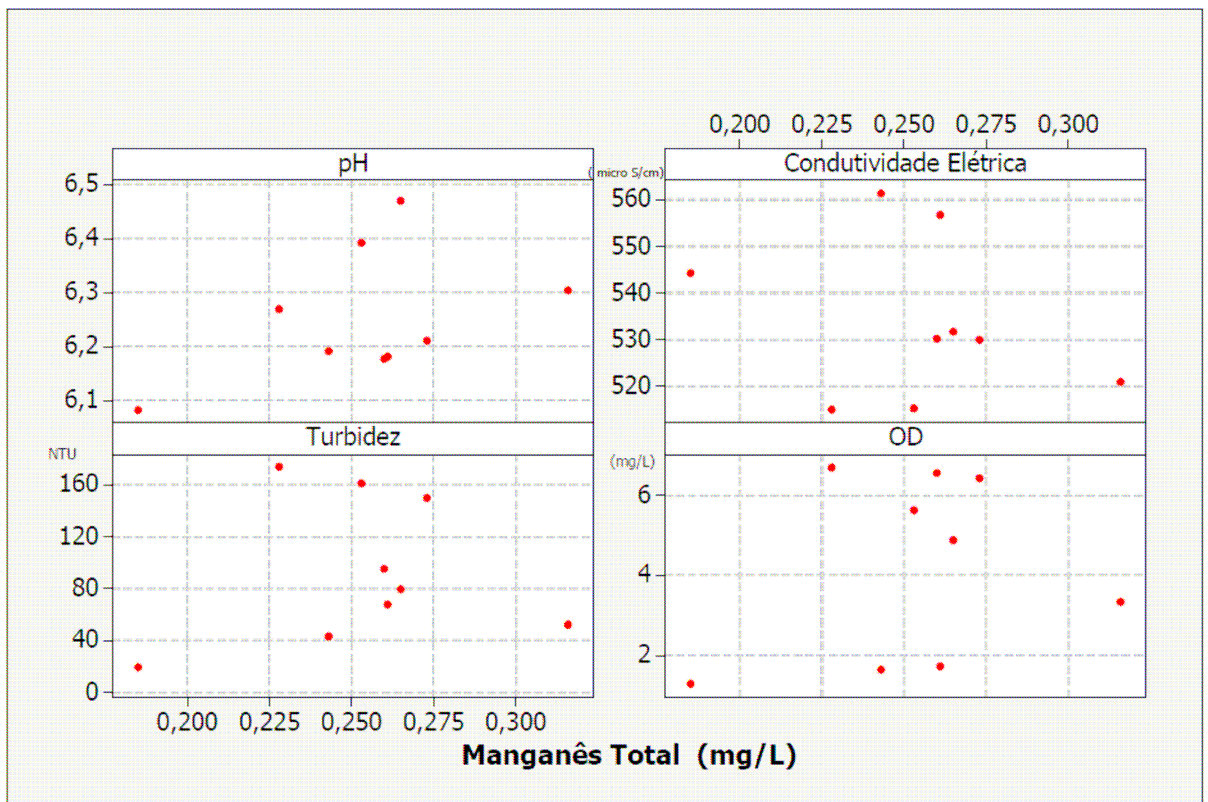


Figura 8.15 - Comportamento do Manganês em função dos fatores físico-químicos

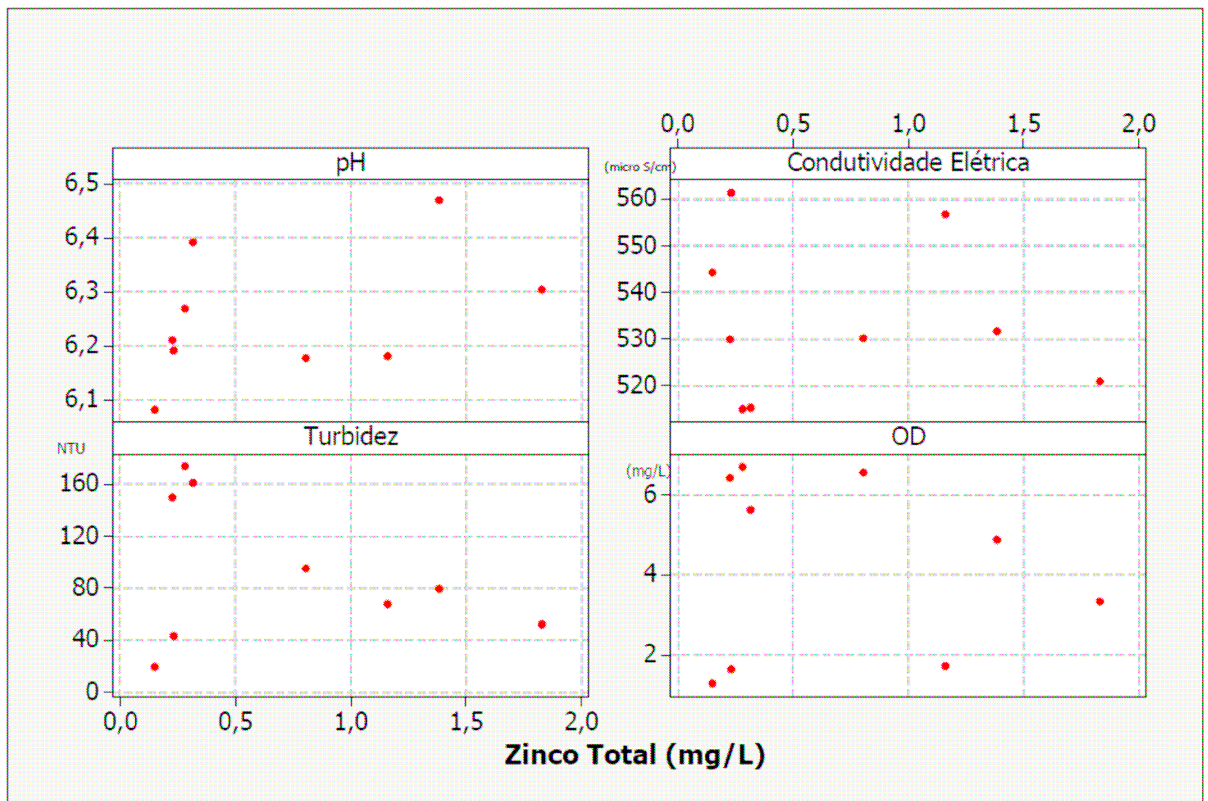


Figura 8.16 - Comportamento do Zinco em função dos fatores físico-químicos

### 8.1.3 Comportamento dos elementos-traço nos sedimentos do córrego Sarandi

#### 8.1.3.1 Análises químicas e determinação dos fatores de contaminação nos sedimentos coletados no córrego Sarandi

Os resultados da análises químicas e dos fatores de contaminação por elementos tóxicos das amostras de sedimentos de fundo tomadas ao longo do córrego Sarandi são apresentados na tabela 8.4.











Tabela 8.4 - Teores dos sedimentos de fundo ao longo do córrego Sarandi

ponto	época	Teor ppm										Matéria orgânica %
		Cr	Co	Cu	Cd	Ni	Pb	Mn	Zn	Ba	Fe	
PT 01	chuva	40,03	4,58	105,02	1,50	15,88	98,78	4937,00	245,50	176,44	1156,50	4,28
PT08	chuva	50,00	5,11	66,69	0,91	4,83	52,69	2648,00	404,23	93,91	1088,50	4,14
PT09	chuva	26,48	6,78	29,25	0,57	6,79	41,94	3497,00	347,66	78,98	900,50	2,48
PT 01	seca	41,84	3,75	89,58	1,47	12,96	121,52	3125,00	580,93	191,79	1350,00	4,42
PT08	seca	70,41	7,47	45,56	1,53	10,90	105,91	4538,00	277,03	98,34	3835,00	2,25
PT09	seca	57,07	5,56	43,60	1,04	10,03	83,11	4679,00	277,03	100,10	1790,00	2,84

A matéria orgânica tem afinidade pelos elementos-traço, entretanto, o pequeno número de amostras de sedimentos impediram que se que se afirmasse quanto à tendência de adsorção de alguns metais na matéria orgânica.

Os índices de Contaminação de Hakanson mostram que os sedimentos estão contaminados por alguns destes elementos. A intensidade da contaminação pode ser vista na tabela 8.5.

Tabela 8.5 - Fatores de contaminação dos sedimentos de fundo ao longo do córrego Sarandi.

ponto	Estação	Cr	Co	Cu	Cd	Ni	Pb	Mn	Zn	Ba	Fe
PT01	chuva	0,44	0,24	2,33	5,00	0,23	4,94	5,81	2,58	0,30	0,02
PT08	chuva	0,56	0,27	1,48	3,03	0,07	2,63	3,12	4,26	0,16	0,02
PT09	chuva	0,29	0,36	0,65	1,89	0,10	2,10	4,11	3,66	0,14	0,02
PT01	seca	0,46	0,20	1,99	4,88	0,19	6,08	3,68	6,12	0,33	0,03
PT08	seca	0,78	0,39	1,01	5,11	0,16	5,30	5,34	2,92	0,17	0,08
PT09	seca	0,63	0,29	0,97	3,46	0,15	4,16	5,50	2,92	0,17	0,04
Nível de contaminação		baixo	baixo	moderado	alto	baixa	alto	alto	muito alto	baixo	baixo
											

Nível de contaminação	fator de Contaminação
Baixo	< 1
Moderado	1 ≤ Fc < 3
Alto	3 ≤ Fc < 6
Muito alto	Fc ≥ 6

A análise da contaminação por elementos-traço presentes nos sedimentos, adotou o

modelo de Hakanson, cujos valores de *background* utilizados foram os teores de Turekian & Wedepohl (1961).

O nível de elementos-traço encontrados nos sedimentos coletados no córrego Sarandi confirma a hipótese de que os efluentes industriais das indústrias, contendo elementos metálicos, são lançados, sem o devido tratamento, nos afluentes da sub-bacia do Sarandi.

Sabe-se que a contaminação do sistema aquático pode acontecer nos compartimentos que o compõem: água, sedimento ou biota, o que depende das condições físico-químicas do corpo receptor, tempo de percurso, do metal e sua afinidade específica. Apesar dos dados de sedimentos corresponderem a apenas três pontos no córrego, é possível ver a importância na sua interrelação com os metais:

- ✓ De uma maneira geral, ao se comparar os fatores de contaminação por estação do ano, observa-se que os valores da época de seca são maiores que os valores da época das chuvas, por exemplo: Mn, Pb, Zn e Cd. Isso pode ser explicado pela ausência de chuvas, quando ocorre maior interação do metal-sedimento, além do menor volume de águas.
- ✓ Ressalta-se que o fator sazonalidade não modifica a classificação quanto à intensidade de contaminação por metal pesado, segundo modelo de Hakanson.
- ✓ A análise dos metais nos sedimentos, coletados no córrego Sarandi, não permite afirmar quanto a seu comportamento da nascente até a foz, o que possibilitaria a classificação do curso d'água, porém, demonstra sua importância na análise do sistema aquático por esses elementos, dando condições para se identificar as fontes de contaminação e assim propor mecanismos para evitá-las.
- ✓ Pode-se afirmar que a contaminação alta dos sedimentos do córrego Sarandi para os elementos Mn, Cd, Zn e Pb, correspondem por cerca de 60% do total de elementos contaminantes (Tab.8.6).

Tabela 8.6 - Principais elementos contaminantes presentes nos sedimentos do córrego Sarandi.

Ponto	Estação	Soma Fatores de Contaminação	Soma dos fatores de contaminação>3	% elementos alta contaminação
PT01	chuva	21,92	15,75	71,87
PT08	chuva	15,59	8,78	56,28
PT09	chuva	13,32	8,10	60,84
PT01	seca	23,95	14,64	61,10
PT08	seca	21,26	15,75	74,06
PT09	seca	18,29	13,12	71,73
Elementos contaminantes			Cd, Pb, Mn e Zn	

Os gráficos, a seguir, apresentam o enriquecimento dos elementos-traço nos sedimentos. Os elementos Cádmio e Chumbo apresentaram teores abaixo do limite de detecção do método de análise para as amostras de água, mesmo assim a representação gráfica é válida, considerando o fim para o qual esses gráficos foram traçados (Fig. 8.17).

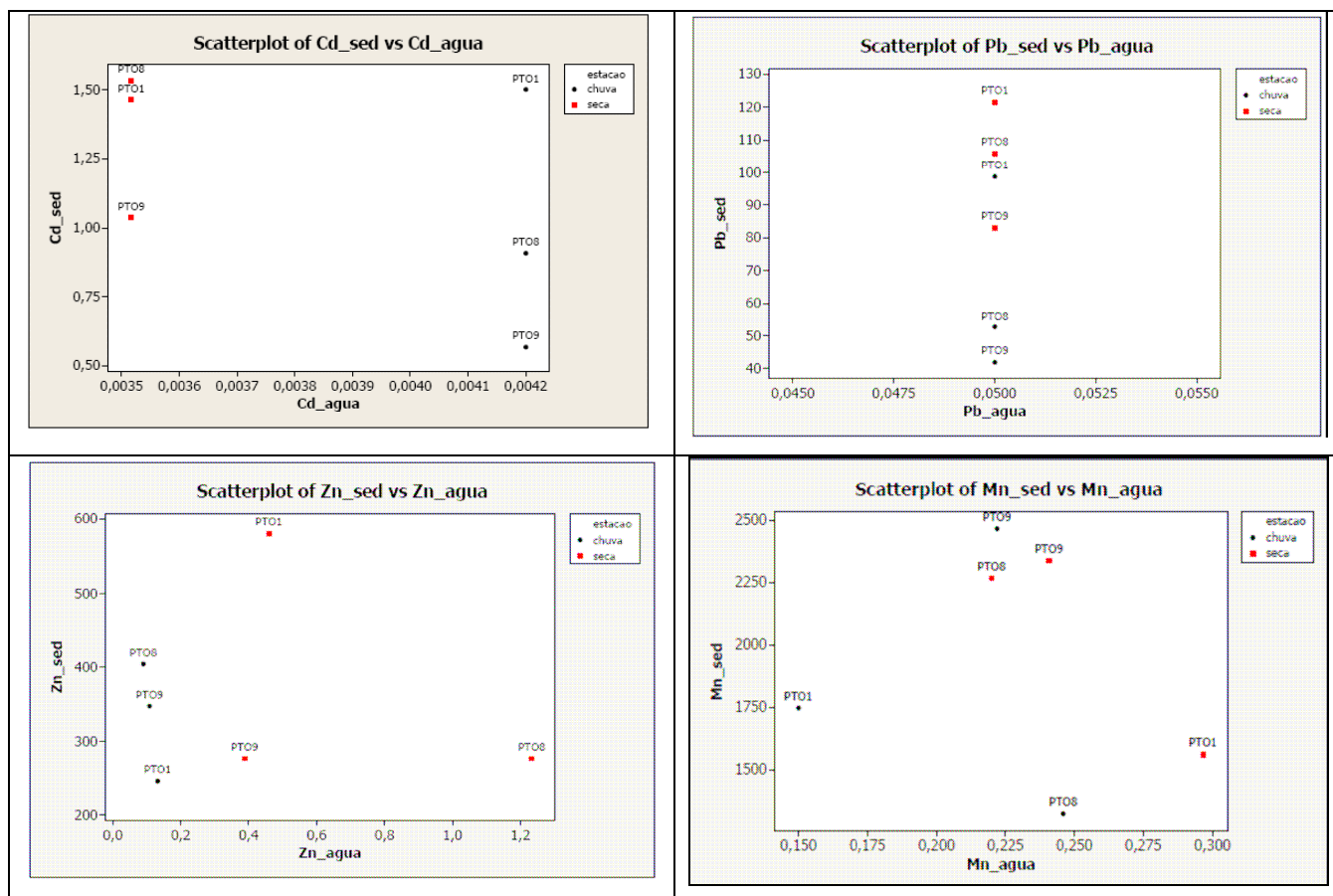


Figura 8.17 - Relação da concentração do metal no sedimento e na água do córrego Sarandi.

## 8.2 Análise difratométrica dos sedimentos coletados no córrego Sarandi - fração fina (<0,074mm)

A tabela 8.7 apresenta os resultados da análise difratométrica dos sedimentos..

Tabela 8.7 - Mineralogia da fração fina (<0,074 mm) dos sedimentos do córrego Sarandi.

AMOSTRA	ÉPOCA	LOCALIZAÇÃO	MINERAIS
01	Chuva	Casa	Quartzo, caulinita, hematita, gibbsita, muscovita, calcita, albita.
08	Chuva	Antes da confluência	Quartzo, caulinita, rutilo, calcita, muscovita, gibbsita, hematita.
09	Chuva	Lagoa	Quartzo, caulinita, rutilo, calcita, muscovita, gibbsita, hematita.
01	Seca	Casa	Quartzo, caulinita, gibbsita, rutilo, hematita.
08	Seca	Antes da confluência	Quartzo, calcita, caulinita, rutilo, gibbsita, feldspato, muscovita, goethita.
09	Seca	Lagoa	Quartzo, rutilo, caulinita, calcita, hematita, gibbsita, feldspato.

## 8.3 Distribuição granulométrica dos sedimentos coletados no córrego Sarandi

As figuras 8.18 a 8.20 apresentam a distribuição granulométrica dos sedimentos coletados, em época de chuvas e seca, da nascente à foz do córrego Sarandi.

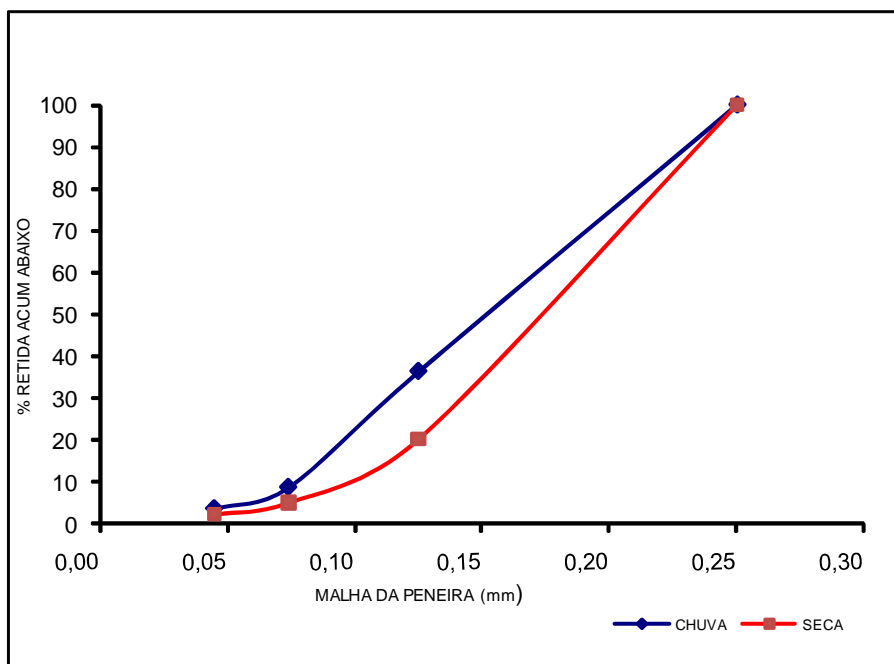


Figura 8.18 - Distribuição granulométrica dos sedimentos do córrego Sarandi em sua nascente.



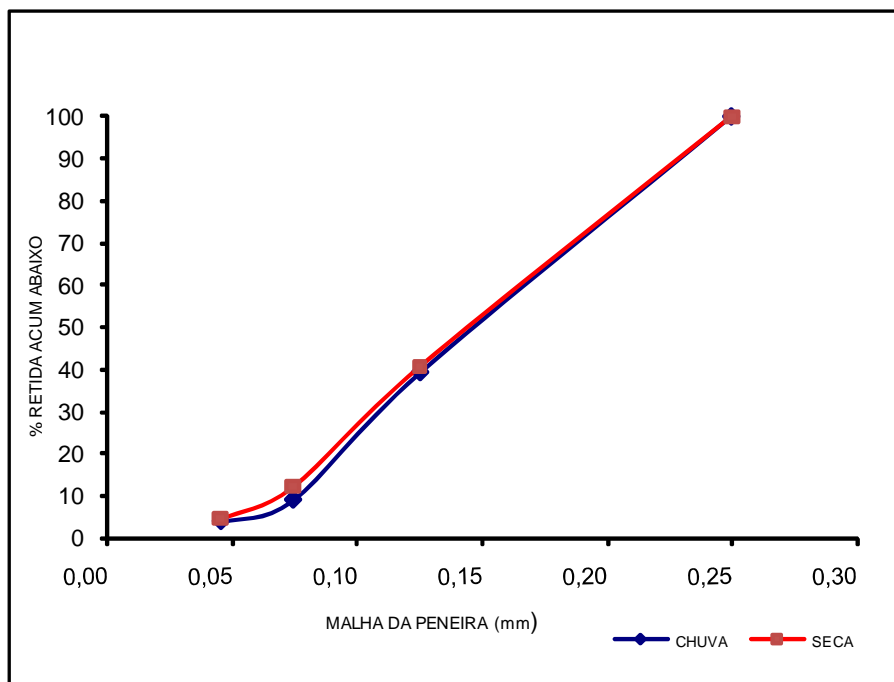


Figura 8.19 - Distribuição granulométrica dos sedimentos do córrego Sarandi antes da confluência com o córrego Ressaca.

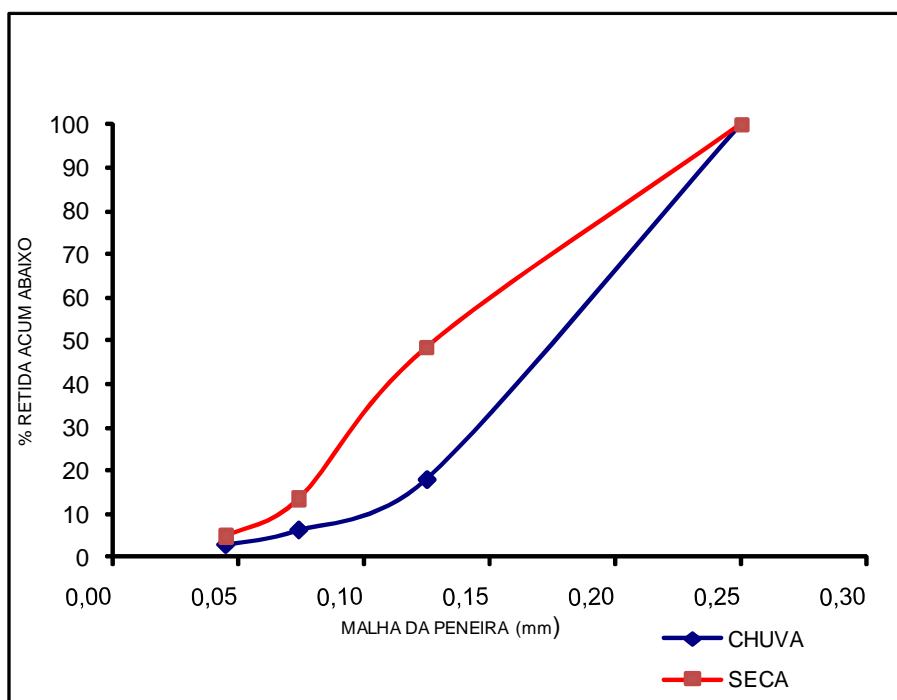


Figura 8.20 - Distribuição granulométrica dos sedimentos na Lagoa da Pampulha



#### **8.4 Caracterização do uso e ocupação do solo da sub-bacia do Sarandi**

O relatório fotográfico, constante do Anexo II, apresenta uma seleção de imagens que buscam sintetizar o uso e ocupação do solo relacionando os pontos de amostragem às atividades econômicas desenvolvidas, ao nível sócio-econômico de urbanização e às condições de saneamento básico. Destacam-se a presença de indústrias metalúrgicas, seja de grande porte isoladas, seja de agrupamento de metalúrgicas de pequeno porte ao longo da sub-bacia do Sarandi, além do Lixão próximo à nascente do córrego Sarandi.

ESSE Engenharia e Consultoria (1999) definiu o potencial poluidor com base na análise das atividades industriais de 211 indústrias poluentes; 1365 indústrias potencialmente poluentes e 1549 indústrias não poluentes. Constatou-se que o número de indústrias metalúrgicas e siderúrgicas é relevante no Parque industrial. Na sub-bacia do Sarandi concentravam-se 20 % das indústrias cujo consumo de água aproximado era de 176.000 litros (45 % do total consumido pelas indústrias). Cabe destacar que, à época, os resíduos industriais eram dispostos no Lixão, hoje desativado, porém, ainda constituindo fonte importante de contaminação de elementos tóxicos identificados nas águas e sedimentos dessa sub-bacia..

## 8.5 Determinação da vulnerabilidade ambiental por tóxicos da sub-bacia do Sarandi

A vulnerabilidade por tóxicos da sub-bacia do Sarandi foi determinada considerando o tamanho de cada área de drenagem do respectivo ponto de análise, o uso e ocupação, os metais presentes, a presença de loteamento urbano e de áreas industriais e suas tipologias.

Para dar suporte à análise da vulnerabilidade da área de estudo foram elaborados os seguintes mapas: Mapa das bacias de contribuição relativas aos pontos amostrados na sub-bacia do Sarandi (Figs. 8.21 e 8.22); Mapas de distribuição dos parâmetros físico-químicos e elementos-traço (Figs. 8.23, 8.24 e 8.25), além dos Mapas geológico (Fig.5.3) e de declividade (Fig.5.5), Mapa de uso e ocupação (Fig.5.7) e Mapa de acesso à rede de esgoto sanitário (Fig. 5.8).

A tabela 8.8 apresenta o tamanho de cada microbacia correspondente ao ponto amostrado ao longo do córrego Sarandi, evidenciando o fator de contribuição relativo. As áreas de contribuição dos pontos PT02, PT03 e PT04 respondem por cerca de 77% da área total

*Tabela 8.8 - Tamanho das áreas de contribuição por ponto de amostragem no córrego Sarandi.*

Ponto	Área m <sup>2</sup>	%
PT01	574.468,00	1,41
PT02	11.098.166,30	27,25
PT03	5.354.858,80	13,15
PT04	15.353.158,70	37,70
PT05	2.530.398,30	6,21
PT06	4.289.544,00	10,53
PT07	1.270.875,40	3,12
PT08	254.010,00	0,62

O resultado final que apresenta as áreas vulneráveis da sub-bacia e a intensidade da vulnerabilidade, por si só já é uma ferramenta que auxilia à gestão pública a definir sua forma de atuar. As informações individualizadas que compuseram a estudo permitem priorizar as ações para solução do problema. Esse conjunto de informações induz à identificação de que o problema não está apenas na presença da indústria, mas evidencia que não há tratamento adequado dos efluentes das indústrias, e quiçá poderia se afirmar que essas não possuem o devido licenciamento ambiental.

A análise dos dados químicos aponta para fontes de contaminação nos afluentes correspondentes aos PV010, PV015 e PV070, onde se situam polo de indústrias metalúrgica e Lixão

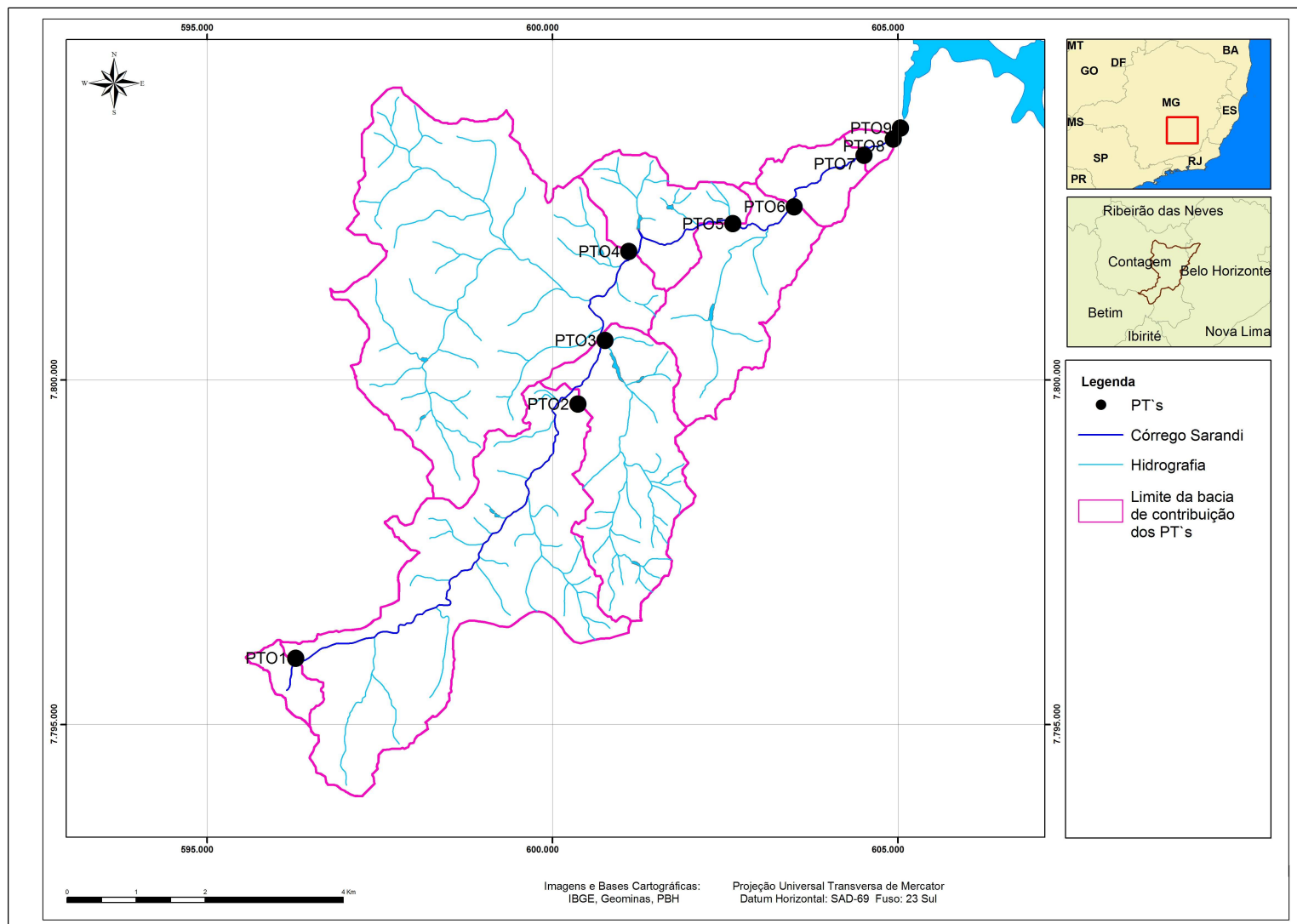


Figura 8.21 - Mapa das áreas de drenagem dos pontos de amostragem das águas do córrego Sarandi (PTs)

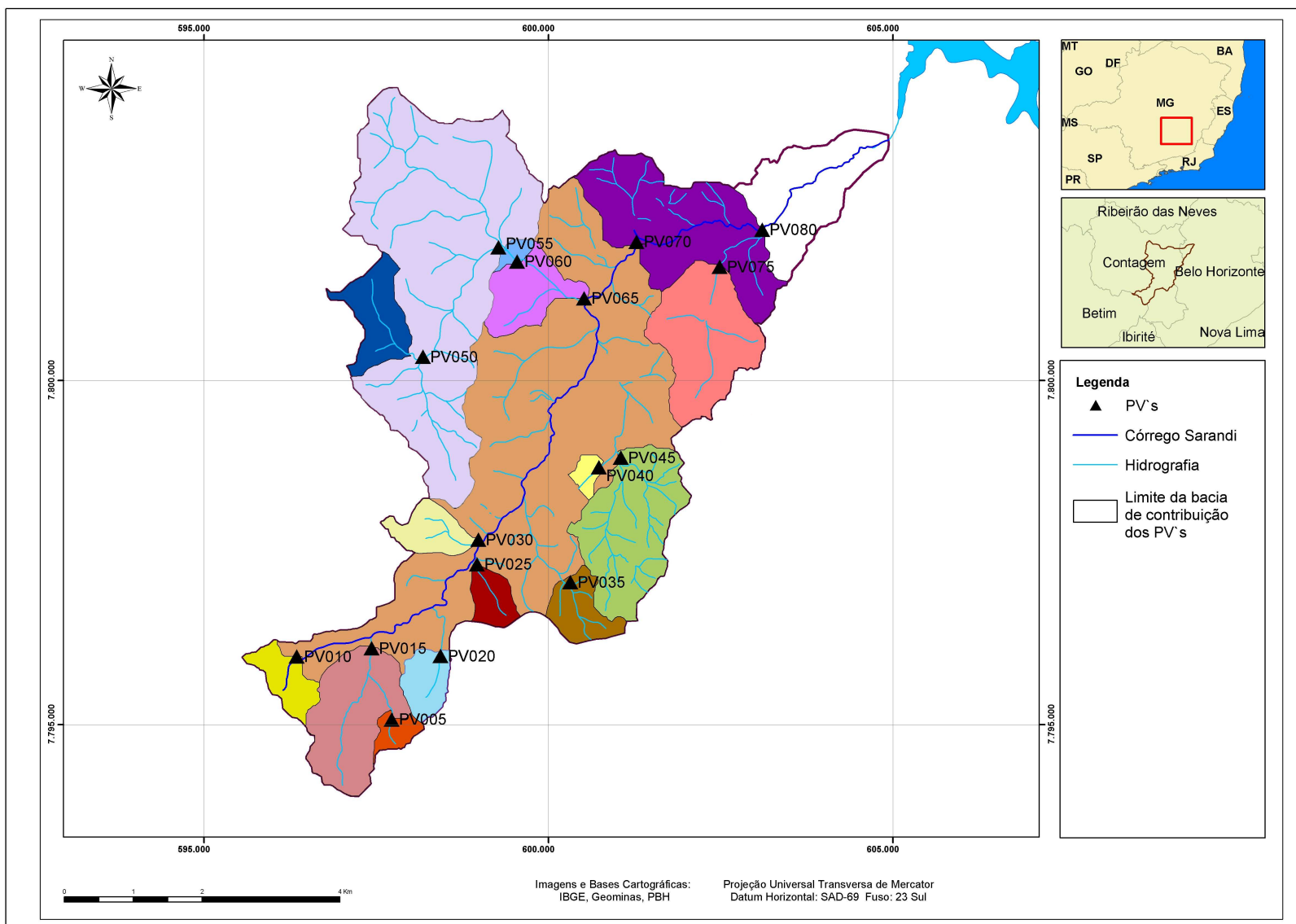


Figura 8.22 - Mapa das áreas de drenagem dos pontos de amostragem das águas dos afluentes da sub-bacia do Sarandi (PVs).

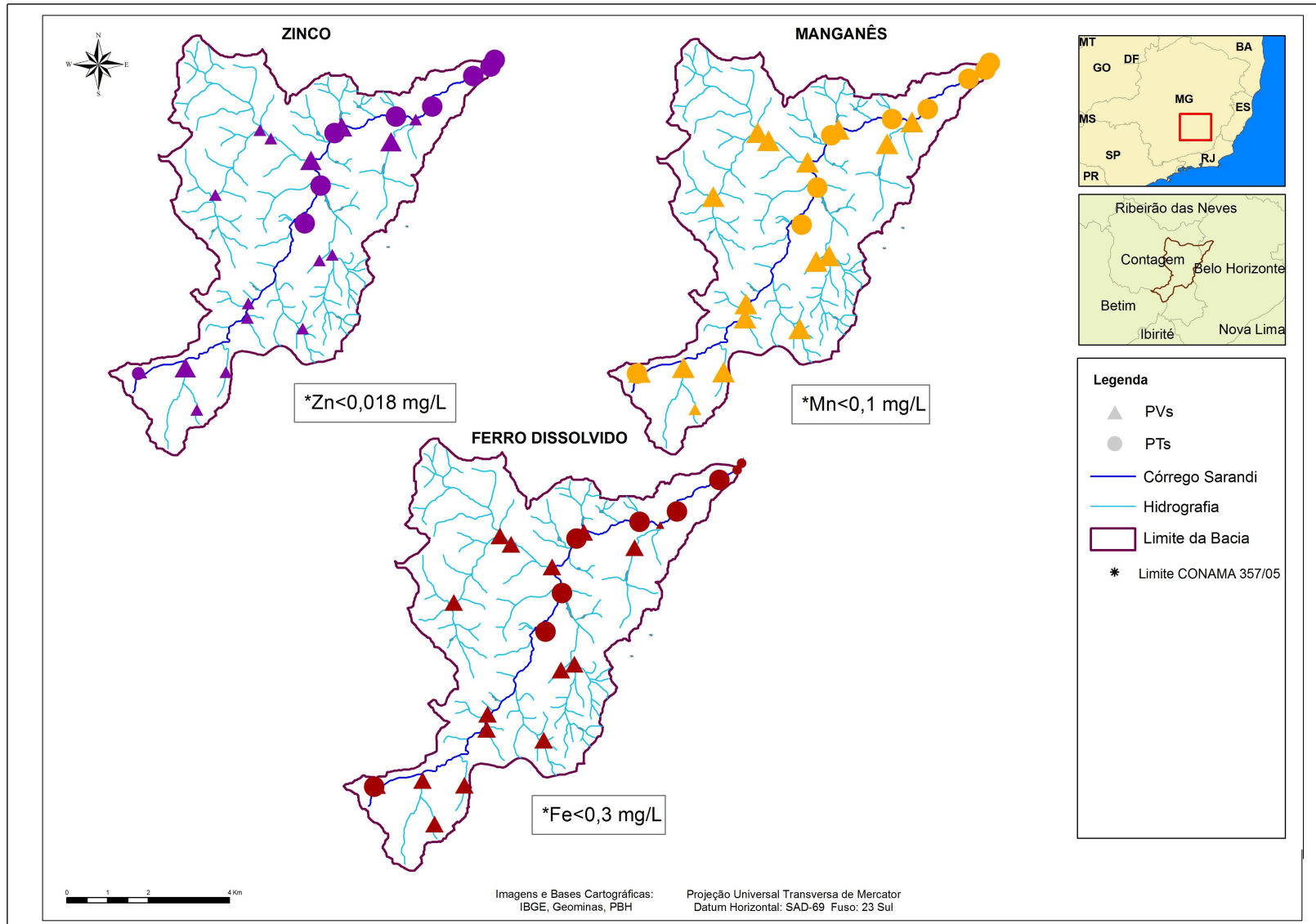


Figura 8.23 - Mapa de distribuição dos metais Fe, Mn, e Zn das amostras de água na sub-bacia do Sarandi.

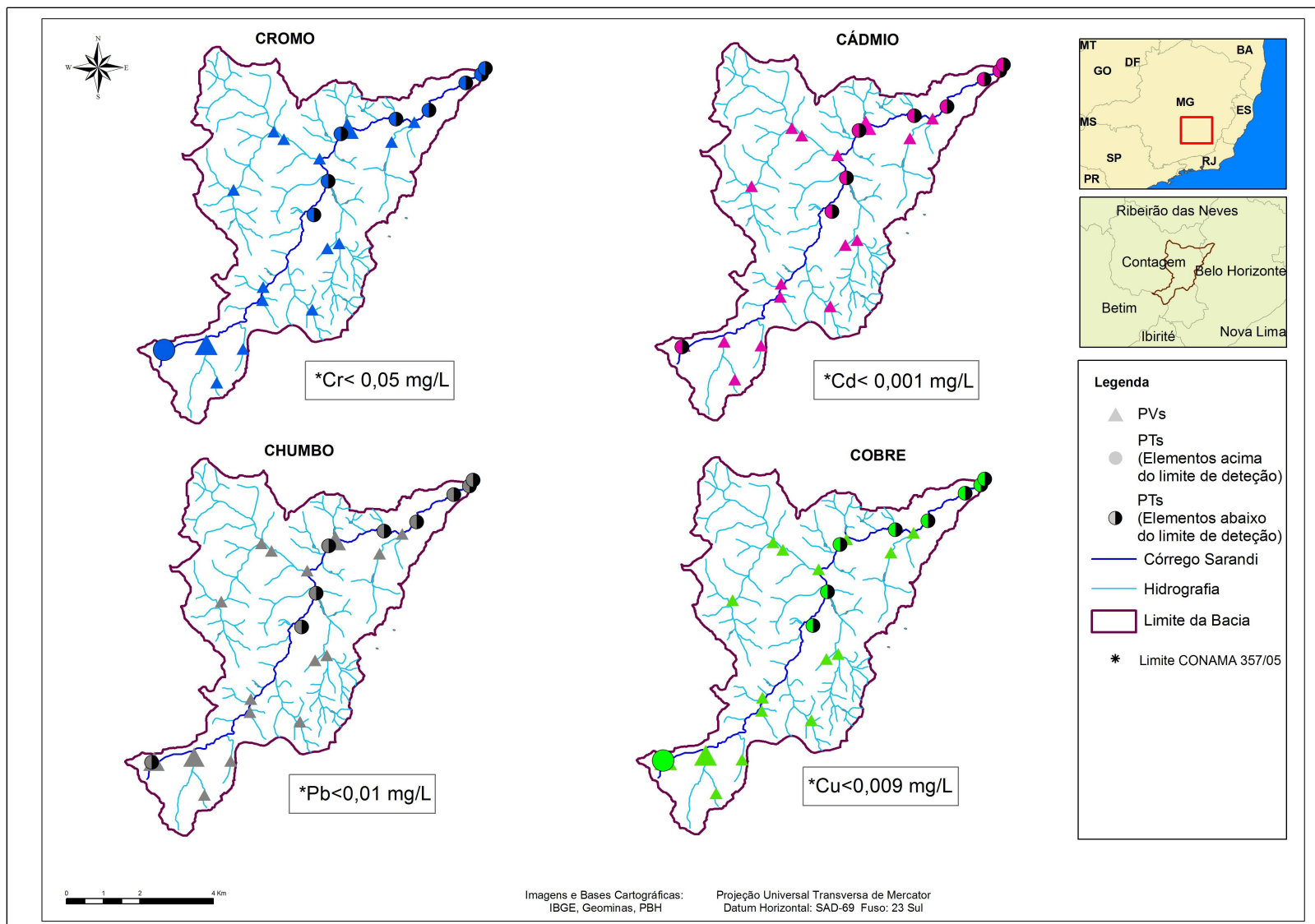


Figura 8.24 - Mapa de distribuição dos metais Cu, Cd, Pb e Cr das amostras de água na sub-bacia do Sarandi.

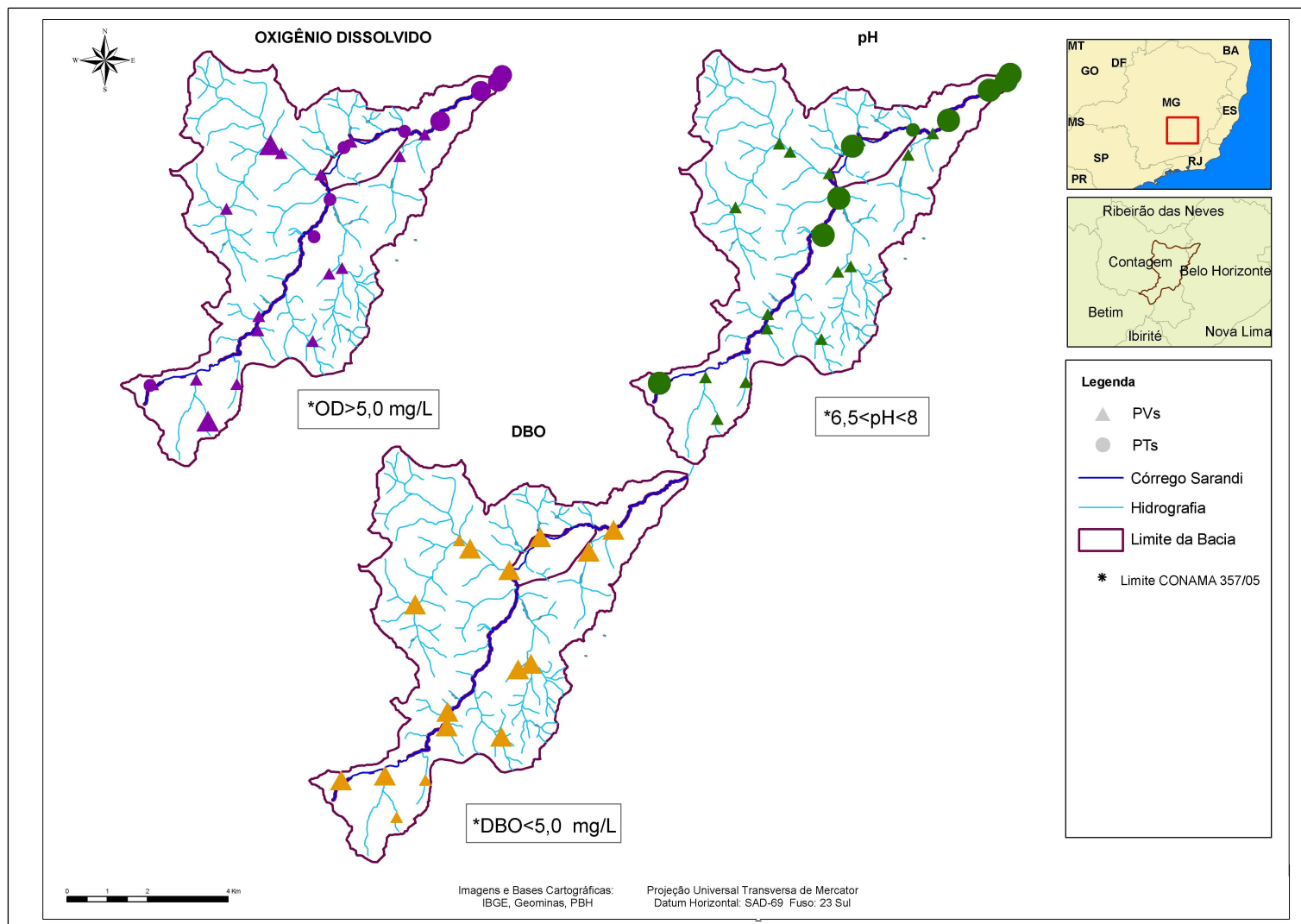


Figura 8.25 - Mapa de distribuição dos parâmetros físico-químicos nas amostras de água da sub-bacia do Sarandi.



A vulnerabilidade ou fragilidade ambiental de uma área reflete sua susceptibilidade de sofrer danos quando submetida a uma determinada ação. Quanto maior a vulnerabilidade da bacia, menor a chance de recuperação do ambiente. Conhecer a vulnerabilidade de uma área a determinados fatores de pressão antrópica auxilia no planejamento de ações e na priorização de investimentos públicos, normalmente escassos, em diferentes regiões.

A predominância do fator uso e ocupação sobre os fatores fisiográficos naturais e o critério adotado na definição dos níveis de intensidade de vulnerabilidade, permitiu traçar o limite das áreas vulneráveis à contaminação por tóxicos (Fig.8.26) e assim, conhecer sua distribuição relativa (Tab. 8.9).

O resultado da distribuição das áreas vulneráveis indicam que 25% da sub-bacia apresentam nível de médio a alto, o que traz preocupação, pois a solução para o problema não implica impedir o desenvolvimento econômico, mas sim exigir que ele aconteça de forma responsável, não só pela própria indústria mas também pelo órgão público gestor, que tem em mãos dados reveladores das causas do problema, mas não consegue atuar de forma rápida e correta.

*Tabela 8.9 - Distribuição das áreas de vulnerabilidade à contaminação por tóxicos.*

<b>Vulnerabilidade</b>	<b>Área m<sup>2</sup></b>	<b>Distribuição</b>
<b>Alto</b>	<b>4.485.274,62</b>	<b>11%</b>
<b>Médio</b>	<b>6.301.441,69</b>	<b>15%</b>
<b>Negligenciável</b>	<b>29.955.754,16</b>	<b>74%</b>

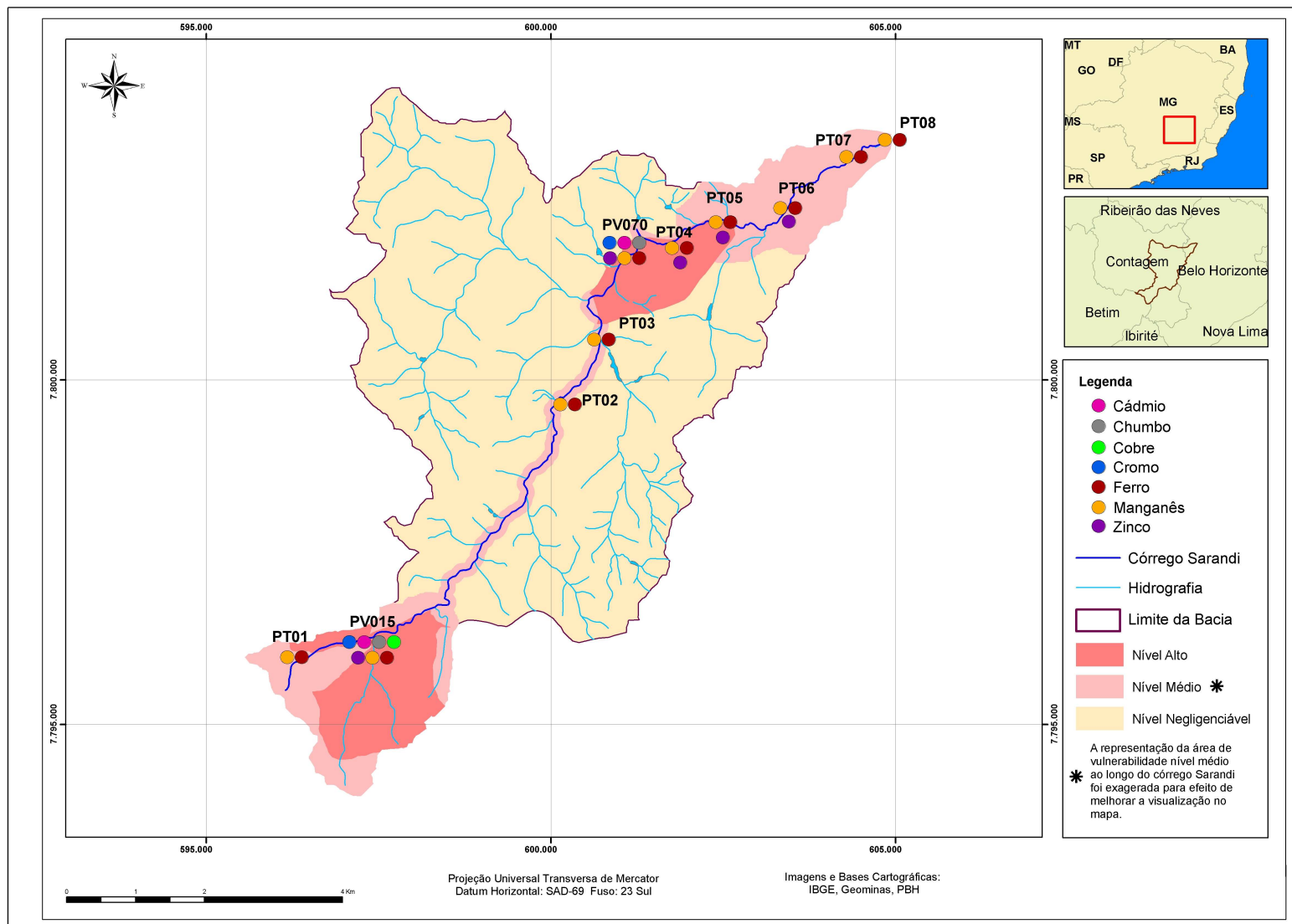


Figura 8.26 - Mapa de vulnerabilidade à contaminação por elementos-traço da sub-bacia do Sarandi.

## 9 CONCLUSÃO

Esse estudo geoquímico revela a condição de domínio do fator antrópico sobre os fatores naturais da sub-bacia do Sarandi, a qual se apresenta a como espaço geográfico ocupado de forma desorganizada e adensada, com córregos canalizados, que deram lugar ao sistema viário; áreas desmatadas com evidências de erosão e extinção de espécies; aglomerados urbanos, cujos esgotos sanitários, quando coletados não são tratados; baixa qualidade das águas de seus afluentes decorrente de poluição orgânica, considerada, por estudiosos como a mais importante tipo de poluição; presença do CINCO e do Lixão desativado, indústrias de médio e pequeno porte, com tipologias diversas, predominando as indústrias de metalurgia que respondem pela emissão de efluentes com elementos-traço, os quais sem tratamento adequado poluem águas e sedimentos dessa sub-bacia. Esse cenário de contaminação orgânica e por elementos tóxicos exige que a intervenção se faça de forma sistêmica nas causas de contaminação, alertando que a proteção dos recursos econômicos e naturais implica a urgência na preparação de uma resposta decisiva e eficaz contra a pobreza e a perda da qualidade de vida do homem que compõem o ciclo antropocêntrico.

O estudo geoquímico da sub-bacia do Sarandi, com base nos dados da qualidade das águas (IGAM 2007), e nos aspectos geológicos, geográficos, vegetação e uso e ocupação, permitiu identificar o tipo de contaminação, se orgânica ou inorgânica, qualificar o elemento contaminante e sua fonte de emissão, concluindo com a elaboração do mapa de vulnerabilidade por elementos tóxicos.

A qualidade da água, Ruim ou Muito Ruim, pelos valores de IQA, foi constatada em quase todos os afluentes da sub-bacia, confirmados pelos valores de turbidez, fósforo e amônia em desacordo com a legislação, que sugerem a presença de grande quantidade de matéria orgânica em decomposição. O alto consumo de oxigênio das águas dos córregos se explica pelo lançamento de esgotos sanitários e dos efluentes industriais, considerando que a sub-bacia encontra-se ocupada não somente por loteamentos urbanos como por diversas indústrias.

Os valores de condutividade elétrica, variando entre 250 e 1550  $\mu\text{S}/\text{cm}$  e a relação DQO/DBO  $>3,0$  evidenciam a presença de efluentes industriais com características de toxicidade nas águas dos afluentes da sub-bacia corroborando para expectativa de contaminação por elementos tóxicos da sub-bacia.

Por meio de uma investigação no campo foram identificadas as fontes desses elementos: lixão de Contagem, Centro de Indústrias de Contagem (CINCO) e aglomerado de

pequenas indústrias metalúrgicas, cujos afluentes correspondem aos pontos PV005, PV015 e PV070. Os metais encontrados nas amostras de água desses pontos, com teores acima do limite estabelecido na legislação, foram: Cu, Cr, Cd, Pb, Zn, Mn e Fe. Nos demais pontos apenas os elementos Fe e Mn apresentam teores acima do definido em Legislação. Esses elementos respondem pelo nível alto do índice de contaminação por tóxicos, determinado pelo IGAM.

Os resultados obtidos nas amostras de água do córrego Sarandi permitem afirmar que suas águas apresentam-se contaminadas pelos elementos Zinco, Ferro e Manganês. Valores de pH do córrego Sarandi se apresentam inferiores ao de seus afluentes, em desacordo com o mínimo estabelecido em Legislação, desde sua nascente, onde apresenta o valor mais baixo, até à Lagoa Pampulha, que se explica pela presença do Lixão, localizado próximo à sua nascente, de onde flui continuamente o chorume. Os valores de condutividade elétrica são uniformes e inferiores aos de seus afluentes, com valor médio de  $540 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ , sugerindo a presença de contaminantes. Ao longo do córrego Sarandi observa-se tendência a crescimento do Oxigênio Disponível a partir do PT03 (ponto em que o córrego Sarandi encontra-se descoberto) alcançando no PT06 valores acima de  $5 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ , considerado satisfatório para enquadramento de classe 2 de um determinado corpo receptor (CONAMA No. 357 2005), o que pode ser explicado pelo fato do córrego estar impermeabilizado em calha de cimento, o que confere uma maior velocidade às águas, além da existência da rede coletora de esgotos nessa porção da sub-bacia.

Os valores de turbidez no início do córrego são inferiores aos dos afluentes, o que pode ser explicado pelo fato do córrego Sarandi encontrar-se canalizado em calha de cimento. Entretanto, observa-se o crescimento da turbidez, da nascente até a foz, ultrapassando o limite definido em legislação no PT05. Esses pontos no córrego recebem águas do PV070, que drena efluentes industriais, prováveis responsáveis pelos valores altos de turbidez.

O problema da contaminação do meio ambiente por elementos-traço alcança hoje dimensões mundiais conseqüente da ausência de medidas de controle dos rejeitos industriais em relação aos poluentes metálicos que contaminam diversos sistemas aquáticos continentais ou marinhos, por seu caráter acumulativo e sua capacidade de translocação através da cadeia trófica. As análises químicas de Cd, Cu, Cr, Ni e Pb nas amostras de água do córrego Sarandi indicaram valores abaixo do limite de detecção do método de análise, porém acima do limite estabelecido em legislação, o que não permitiu afirmar quanto à contaminação do córrego por esses elementos.

Os teores de Fe, Mn e Zn estão acima do estabelecido em legislação, permitindo

concluir pela contaminação das águas do córrego por esses elementos, ressaltando-se a tendência de decréscimo do Fe da nascente à foz, enquanto o Mn e Zn apresentam tendência crescente da nascente até o PT04, ponto no córrego que recebe a drenagem dos PV015 e PV070, em cujas microbacias se situam as fontes desses metais.

Nos sedimentos coletados no córrego Sarandi foram identificados elementos tóxicos Cd, Zn, Mn e Pb, indicando a existência de fontes pontuais desses elementos, confirmando os resultados das águas dos afluentes. Ressalta-se que grande parte dos sedimentos gerados na sub-bacia do Sarandi termina na Lagoa da Pampulha, onde a interação água-sedimento fino-metal é favorecida (Bandeira 2004). Soluções estruturais para conter esse problema foram estudadas, mas sua viabilidade não se mostrou satisfatória, tornando evidente a necessidade de adoção de medidas não estruturais, porém rigorosas, de planejamento, regulamentação, controle e fiscalização do uso e ocupação do solo (Baptista *et al.* 1995), o que corrobora com a conclusão desse estudo. Os sedimentos, habitat para os organismos bênticos e armazéns de constituintes químicos para o equilíbrio químico do ambiente aquático, têm a habilidade de apresentar efeito de “câmara escondida“, sendo sua variabilidade temporal e espacial menor que a da água, o que permite uma redução significativa na amostragem, implicando um menor custo de investigação. O conhecimento da contaminação do sedimento aliado às condições de transporte e sedimentação pode relatar o histórico da concentração de um determinado contaminante, exceto em áreas onde os processos físicos e biológicos retribulam os sedimentos.

A determinação da vulnerabilidade por tóxicos utilizou ferramenta computacional de análise, flexível, que permitiu a inclusão de dados complementares e mesmo de reavaliação das informações temáticas e critérios utilizados. O mapa gerado indicou as áreas vulneráveis à contaminação por tóxicos, estabelecendo três níveis (alto, médio e negligenciável) dando suporte à tomada de decisão quanto ao desenvolvimento de ações não estruturais de planejamento urbano, no qual a variável ambiental é considerada. As possibilidades de inter-relações entre o mapa de vulnerabilidade ambiental gerado e outras informações são inúmeras, pois fornece dados espacializados e georreferenciados, sendo uma ferramenta útil ao apoio à decisão.

Concluindo, o estudo geoquímico se apresenta como ferramenta de gestão ambiental valiosa, fazendo uso dos dados de monitoramento das águas, que merece ser trabalhado em todas perspectivas, seja do ponto de vista a garantir a qualidade da água para os diversos usos, seja para dar suporte efetivo ao licenciamento ambiental, uma vez que permite de forma sistemática a identificação de elementos poluentes e fontes de poluição e contaminação,

dando condições ao órgão gestor de elaborar as medidas corretivas pertinentes e, conseqüentemente exigir o seu cumprimento.

## **10 RECOMENDAÇÕES**

A divulgação do relatório sobre os dados de qualidade de água e apresentação com mapa de qualidade das águas em reuniões ordinárias do Conselho Estadual de Recursos Hídricos são insuficientes para impedir a continuidade das fontes de poluição. É necessário que exista integração de ações públicas no intuito de evitar o problema e sua extensão. A Política Nacional do Meio Ambiente (1981) exige o licenciamento ambiental, que estabelece, dentre outras ações, o devido tratamento dos efluentes industriais.

A contaminação por tóxicos é um impacto severo e muitas das vezes silencioso, não pode ser negligenciado em função da contaminação orgânica. Por isso, analisar a contaminação do sistema aquático por esses elementos requer que se considerem os sedimentos, uma vez que os metais são de baixa solubilidade na água e têm afinidade pelos sedimentos, além de apresentarem pequena variação temporal e espacial. A lacuna entre os instrumentos de gestão público-ambiental pode ser explicada por serem, esses instrumentos, atribuições de órgãos distintos, cabendo à gestão pública envidar esforços para que essa lacuna deixe de existir.

Atualmente a ação do Estado tem dado ênfase à adoção apenas de medidas estruturais buscando tratar os efeitos ao invés das causas do problema. Medidas não estruturais são necessárias, para que sejam minimizados os reflexos dos impactos ambientais sobre uma bacia hidrográfica e assim equacionados de forma mais efetiva os problemas e sobrecargas sobre estas. As ações estruturais, quando aprovadas, não devem ter o enfoque de ações imediatistas, devendo ser analisadas de forma a evitar a transferência dos problemas ambientais para as bacias hidrográficas. A tomada de decisão deve ser contemplada por uma análise mais ampla, procurando avaliar as características físicas da bacia hidrográfica e principalmente a densificação das áreas urbanas e das futuras áreas a serem urbanizadas.

De um modo geral, as abordagens de planejamento das atividades econômicas e do uso dos recursos naturais, baseadas em modelos clássicos, têm falhado por dissociarem as questões socioeconômicas dos aspectos ambientais inerentes. Falta o conhecimento da dinâmica ambiental e sócio-econômica e dos conflitos, que por ventura exista entre as metas de desenvolvimento socioeconômico e a capacidade de suporte dos ecossistemas. Para reverter essa situação é fundamental o estabelecimento de planos que utilizem uma

abordagem sistêmica integrada e participativa envolvendo o estudo das dimensões antrópicas, sociais e econômicas e das formas de desenvolvimento sustentável intrínseco ao local ou área onde forem aplicados.

As soluções dos problemas locais, muitas das vezes, estão nos locais onde esses problemas se revelam. As pessoas que convivem com os problemas são as mais interessadas em resolvê-los. Leis, normas, diretrizes, regulamentos e fiscalizações punitivas e onerosas podem ter pouco significado quando a população não estiver sensibilizada para o problema, isto é, quando não têm conhecimento dos passivos ambientais com os quais ela convive. Por isso, ressalta-se a importância da ação dos Comitês de Bacia que devem cobrar a solução mais ágil e efetiva do órgão público gestor visando encontrar o convívio equilibrado entre ação econômica do homem e o meio ambiente. É essa luta em prol da sustentabilidade, da qualidade de vida que vão consolidar a gestão compartilhada e descentralizada dos recursos hídricos com ganhos imensuráveis para sociedade.

## 11 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agemian H., Chau A. S. Y. 1976. Evaluation of extraction technique for the determination of metals in aquatic sediments. *The Analyst* 101:761–767.
- Albarède F. 1995. *Introduction to Geochemical Modelling*. 1. ed. Cambridge, University Press. 543p.
- Almeida M. A. B., Schwarzbald A. 2003. Avaliação sazonal da qualidade das águas do Arroio da Cria Montenegro, RS com aplicação de um índice de qualidade de água (IQA), *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 8 (1): 81-97.
- Arackel A. V. 1995. Towards developing sediment quality assessment guidelines for aquatic systems: an Australian perspective. *Australian Journal of earth Sciences*, Austrália, v.42, p.335-369.
- Baird C. 2002. *Química Ambiental*. 2 ed. Porto Alegre, Bookman, 503p.
- Bandeira J. V. 2004. *Desenvolvimento de Técnicas Nucleares Para Estudos de Hidrologia Urbana Aplicadas na Bacia Hidrográfica da Pampulha e no Rio das Velhas*. 276p. Tese de Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos - Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 276p.
- Baptista M. B. Pinheiro M. C.; Oliveira M. G. B e Champs J. R. B. 1995. Aspectos técnicos e econômicos do assoreamento de lagos urbanos- análise de caso de Belo Horizonte. *In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, v.11, Vitória, ABRH.

- Barbieri A. F., Guerra C. B., Torres H. G., Simões R. F., Reis A. V., Scliar C., Abdo R. O. de O., Lins S. E. B., 1997. Atividades antrópicas e impactos ambientais, Biodiversidade, População e Economia: uma região da Mata Atlântica. *CEDEPLAR-UFMG*: 273-343, Belo Horizonte, Minas Gerais.
- Batley G. E. 1989. *Trace element speciation: Analytical methods and problems*. Florida, CRC Press: Boca Raton, 213p.
- Bertoni J., Lombardi Neto F., 1999. Conservação do Solo, Ícone, São Paulo, SP, pp.13-243.
- Borges M. J., Galbiatti J. A., Ferraudo A. S. 2003. Monitoramento da qualidade hídrica e eficiência de interceptores de esgoto em cursos d'água urbanos da Bacia Hidrográfica do Córrego Jaboticabal. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, Porto Alegre, 8(2): 161-171.
- Brayner F. M. M. 1998. *Determinação de taxas de retenção de metais-traço por sedimentos orgânicos em um viveiro de piscicultura em área estuarina e urbana*. Tese de Doutorado – Escola de engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo, São Carlos, São Paulo, 103 p.
- Buckley D. 2003. Sediment Quality Guidelines for Australian Waters: A Framework for Development and Use. Thesis of master of applied Science - University of Camberra – Australia, 180 p.
- Cabaleiro S. M. O. L. 2006. *Avaliação da contaminação do Lixão de Contagem utilizando Análise por Ativação Neutrônica Instrumental (AANI) e Espectrometria de massa acoplada a uma fonte de plasma (ICP-MS)*. Dissertação de Mestrado - Departamento de Engenharia Nuclear –UFMG, Minas Gerais, 93p.
- Calvert S. E. 1976. The mineralogy and geochemistry of near –shore sediment. *In: Chemical Oceanography*. 2. ed., J.P.Riley & Chester, v.6. 187- 280.
- Campos M. L. A. M. 2002 Métodos de baixo custo para purificação de reagentes e controle de contaminação para a determinação de metais traços em águas naturais. *Química. Nova*, 25, nº 5, 8 -18.
- Chappuis P. 1991. *Les oligoéléments en médecine et biologie*. Paris, Lavoisier, 267p.
- COMISSÃO MUNDIAL SOBRE O MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO (CMMAD). 1988. Nosso futuro comum. Rio de Janeiro, Fundação Getulio Vargas.
- COMPANHIA DE PESQUISA E RECURSOS MINERAIS (CPRM) - 2001. Serviço Geológico do Brasil . *Estudo Hidrogeológico da Bacia da Lagoa da Pampulha*, Belo Horizonte, 171p.



- COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (CETESB). 2001. *Relatório de Estabelecimento de Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo*, CETESB (SP), 247p.
- CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). 1986. Resolução no. 20/1986. Disponível em [www.feam.br/Normas ambientais](http://www.feam.br/Normas_ambientais). Acesso em 05/01/2008.
- CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE- CONAMA. 2005. Resolução CONAMA no. 357. Estabelece a classificação das águas doces, salobras e salinas do território nacional. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/conama>. Acesso em: dez.2009.
- Consórcio Montgomery Watson Ltda. / Esse Engenharia e Consultoria Ltda.1999. .Estudo sobre o Controle da Poluição Industrial nas Bacias dos Ribeirões Arrudas e Onça nos Municípios de Belo Horizonte e Contagem. Governo do Estado de Minas Gerais / FEAM
- Costa W. C. 2002. *Caracterização das condições de uso e preservação das águas subterrâneas do município de Belo Horizonte- MG*. Tese de doutorado- Universidade de São Paulo, São Paulo, 276p.
- Crites R. & Tchobanoglous G. 1998. *Small and Decentralized Wastewater Management Systems*, USA, McGraw-Hill Science Engineering, 304p.
- Drummond J. A. 1999. A Legislação Ambiental Brasileira de 1934 a 1988: comentários de um cientista ambiental simpático ao conservacionismo. *Ambiente & Sociedade*, nº 3-4, p.127-148.
- EUROPEAN SEDIMENT NETWORK (SedNet). 2003. The importance of sediment and sediment processes for river basin management. Disponível em [http://www.sednet.org/download/WG4\\_riverbasin.pdf](http://www.sednet.org/download/WG4_riverbasin.pdf).
- Förstner U. 1977. Metal concentrations in freshwater-sediments-natural background and cultural effects. *In: Interactions Between Sediments and Fresh Water*. H.L.Gollerman, Junk, The Hague, 94-103.
- Förstner U. , Schoer J. 1984. Some typical examples of the importance of the role of sediments in the propagation and accumulation of pollutants *In: Sediments and Pollution in waterways- General Considerations IAEA – TECDOC 302*.
- Förstner U., Ahlf W. & Calmano 1993. Sediment quality objectives and criteria development in Germany. *Water Science Technology*, v. 28, 307-316.
- Förstner U., Salomons W. 1980. Trace metal analysis of polluted sediments, Part I, assessment of sources and intensities. *Environmental Technology*, Berlim, vol. 1, 11, p. 494.
- Förstner U., Wittmann G. T. W. 1981. *Metal Pollution in the Aquatic Environment*. Berlin, Springer-Verlag, 243p.

- Fortescue J. A. C. 1980 *Environmental geochemistry. A holistic approach*. New York,: Springer Verlag , 347p.
- GEOMINAS. 1998. Carta topográfica de Belo Horizonte do IBGE
- Goldschmidt V. M., 1954. *Geochemistry* .Oxford, Clarendon Press, 730p.
- Granziera M. L. M. 2001 *Direito de Águas e Meio Ambiente*. São Paulo, Ícone, 136p.
- Griffith J. J., Dias L. E. Júnior P. M. A., 2000. Recuperação ambiental. *Ação Ambiental*, II (10): 8-11.
- Hakanson L. 1980. An Ecological Risk Index for Aquatic Pollution Control: a sedimentological approach. *Water Research*. V. 14: 975 – 1001.
- Hart B. 1982. Up take of trace metals by sediments and suspended particulates: a review. *Hydrobiology*, 91:299-313
- Henry W. 1998. Dicionário de Ecologia e Ciências Ambientais. Art. Editor-Geral; Prefácio de F. Herbert Borlmann; tradução Mary Amazonas Leite de Barros. Título Original The Dictionary of Ecology and Environmental Science. São Paulo: Companhia Melhoramentos,
- Hudson R. J. M.1998. Which aqueous species control the rates of trace metal uptake by aquatic biota? Observations and predictions of non-equilibrium effects. *Science Total Environmental*. v. 219, 95.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). 2000. Disponível em <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2000/>. Acesso em 01/09/2008.
- INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO AS ÁGUAS (IGAM). 2007. *Relatório Anual. Monitoramento da Qualidade das Águas Superficiais na sub-bacia do Rio das Velhas*. Belo Horizonte, Minas Gerais, 187p.
- INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO AS ÁGUAS (IGAM). 2005. *Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas*. Belo Horizonte, 226p.
- Krumgalz B. S., Fainshtein G. & Cohen A. 1992. A grain size effect on antropogenic trace metal and organic matter distribution in marine sediments. *The Science of the Environment*, v.116, 15-30.
- Laybauer R. L. 1999. *Diagnóstico ambiental de ecossistemas aquáticos usando elementos-traço no sedimento, Porto Alegre*. Monografia de qualificação ao doutorado - Instituto de Geociências - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 87p.
- Leygonie R. 1993. Les métaux lourds dans l'air: sources, émissions, mesure, effets. *Pollution Atmosphérique*, Ago/set, p.63-74.
- Lijklema L., Koelmans A. A., Portielje R. 1993. Water quality impacts of sediment pollution and the effects of early diagenesis. *Water Science and Technology*, v. 28, 1-12.

- Logan T. J. 1995. *Water quality*. Ward, Environmental Hydrology, A. D., Elliot, W.J., Lewis Publishers, Boca Raton, Florida, 462 p.
- Mazzini A. L. D. A. 2004. *Dicionário Educativo de Termos Ambientais*. Belo Horizonte, Gráfica e Editora O Lutador, 381 p.
- META 2010 – Projeto Revitalização da Bacia do Rio das Velhas. 2003. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável
- Miner R. A., Keith L. H. 1982 *Water Analysis: Inorganic Species*, Part 1. 2.ed. New York: Academic Press, 287p.
- Mozeto A. A., Jardim W.F., Valent G.U., 2003. *Projeto Qualised: Bases técnico-científicas para o desenvolvimento de critérios de qualidade de sedimentos experimentos de campo e laboratório*. Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, FAPESP, Processo no. 98/12177-0.
- Muller G. 1979. Schwermetalle in den Sedimenten des Rheins- Veränderungen seit 1971. Umschau in Wissenschaft und Technik, 79, 778-783. Apud Förstener 1993. *Water Science Technology*, v. 28, 307-316.
- N. Bjerrum. 1936. *Bjerrum's Inorganic Chemistry*, 3rd Danish ed., Heinemann, London.
- Noce C. M., Teixeira W. & Machado N. 1997. Geoquímica dos gnaisses TTG e granitóides neoarqueanos do Complexo Belo Horizonte, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. *Revista Brasileira de Geociências*, 27 (1):25-32.
- Odum E. P. 1986. *Ecologia*. México, Interamericana, 639p.
- PLANEJAMENTO DA REGIÃO METROPOLITANA DE BELO HORIZONTE (PLAMBEL. 1975. Plano Metropolitano de drenagem urbana. Belo Horizonte.
- Pompeu C. T. 2002. *Regime Jurídico da Política das Águas Públicas*. São Paulo, CETESB, 165p.
- Power E. & Chapman P. M. A. 1992. *Assessing sediment quality: Sediment Toxicity Assessment*. Flórida, G. A. J. Burton, 1-18p.
- PREFEITURA MUNICIPAL DE BELO HORIZONTE. 2000. PROPAM – Programa de Recuperação e Desenvolvimento Ambiental da Bacia da Pampulha. Secretaria Municipal de Meio Ambiente de Belo Horizonte e Secretaria Municipal de Meio Ambiente de Contagem.
- PREFEITURA MUNICIPAL DE BELO HORIZONTE. 2008. Estudo sobre os impactos oriundos de iniciativas localizadas no eixo norte da RMBH e definição de alternativas de desenvolvimento econômico, urbano e social para o município de Belo Horizonte.

Secretaria Municipal de Planejamento, Orçamento e Informação e Secretaria Municipal Adjunta de Planejamento.

PREFEITURA MUNICIPAL DE BELO HORIZONTE ((PMBH). 2008. *Plano Municipal de Saneamento de Belo Horizonte 2008/2011* . Belo Horizonte, 123p

PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA. CASA CIVIL. 1934. Código das águas, Decreto nº 24.643/1934. Disponível em <http://www.presidencia.gov.br/>. Acesso 18/03/2010

PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA. CASA CIVIL. 1965. Lei no. 4771/1965. Disponível em [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/Leis/L4771.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L4771.htm). Acesso 09/11/2009.

PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA. CASA CIVIL. 1981. Lei 6.938, de 31.ago.1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 02. set.1981 Disponível em: □ [http:// www.mma.gov.br/](http://www.mma.gov.br/)>Acesso em: 05/01/2010.

PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA. CASA CIVIL. 1988. Constituição Federal. Disponível em <http://www.alep.pr.gov.br/system/files/corpo/Con1988br.pdf>. Acesso 5/01/2010.

PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA. CASA CIVIL. 1997. Lei 9433- Política Nacional de Recursos Hídricos. Disponível em [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/Leis/L9433.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L9433.htm). Acesso 18/03/2009.

Prohic E., Juracic M. 1989. Heavy metals in sediments problems concerning determination of the anthropogenic influence Study in the Krka River Estuary, eastern Adriatic Coast, Yugoslavia. *Environmental Geology and Water Science*, Iugoslávia, v.13, p.145-151.

Rankama K. & Sahama T.H.G. 1950. *Geochemistry*, Chicago, The University of Chicago Press, 273p.

Rodrigues M. L. K. 1997. *Diagnóstico da Poluição por Elementos-Traço no sedimento da Bacia Hidrográfica do Rio Caí (RS)*. Dissertação de Mestrado. Instituto de Biociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, 100p.

Rohde G. M. 2004. *Geoquímica Ambiental e Estudos de Impacto*. 2. ed.- São Paulo, Signus Editora, 157p.

Salomons W. 1980. Trace metals analysis on polluted sediments. Part II:Evaluation of environmental impact. *Environmental Technology Letters*, v.1, 506-517.

Santos N. A. P. 2005. *Uma abordagem metodológica para determinar a influência do uso e cobertura do solo como fonte de poluição difusa na alteração da qualidade de água da Bacia do Rio das Velhas*. Dissertação de mestrado do Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais, 120p .

- Santschi P.H., Nixon S., Pilson M., Hunt C. 1984. Accumulation of sediments, trace metals (Pb, Cu) and total hydrocarbons in Narragansett Bay, Rhode Island. *Estuarine Coastal Shelf Science*, v.19, p. 427-449.
- Silva A. B., Carvalho E. T., Fantinel L. M., Viana C. S., Romano A. W. 1994. *Estudos técnicos para o levantamento dos focos de erosão e do risco geológico da bacia hidrográfica da Lagoa da Pampulha*, Belo Horizonte.
- Silva A. B., Carvalho E. T., Fantinel L.M., Viana C. S., Romano A.W. 1995. *Estudos geológicos, hidrogeológicos, geotécnicos e geoambientais integrados ao município de Belo Horizonte: relatório final*. Belo Horizonte, Universidade Federal de Minas Gerais.
- Sly P. G. 1976. Sedimentary environments in the Great Lakes. In: Interactions between sediments and Freshwater. In: International Symposium of Amsterdam, the Netherlands, The Hague, p. 6-10.
- Sousa H. A. 1998. Dissertação de Mestrado - Departamento de Geologia da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto, Minas Gerais, 145p.
- Sperling E. V., Möller L. M., 1995. *Saneamento e Meio Ambiente, Manual de saneamento e proteção ambiental para os municípios*. Escola de Engenharia da UFMG, Belo Horizonte, Minas Gerais, 221p.
- Stumm W., Morgan J. J. 1996. *Aquatic chemistry – Chemical Equilibria and Rates in Natural waters*. Nova Iorque, John Wiley & Sons, 3ed.
- Thomas K. 1998. *O homem e o mundo natural*, São Paulo, Companhia das Letras, 380p.
- Tucci C. E. M. 1997. *Hidrologia: ciência e aplicação*. 2.ed. Porto Alegre, ABRH/Editora da UFRGS, v.4.
- Turekian K. K. ;Wedephol K. H. 1961. Distribution of the elements in some major units of the earth's crust. *Geological Society of America Bulletin*, Boulder, Colorado, USA, v.72, p.175-192.
- Veado M. A. R. V. 1997. *Application de l'Analyse par Activation Neutronique et de la Spectrométrie de Masse Associée à un Plasma d'argon pour l'identification et le dosage des éléments métalliques apportés par les rejets miniers dans la rivière das Velhas- Brésil..* Ph.D. Thesis, Université de Paris XI – Orsay, 154 p.
- Vega M., Pardo, R., Barrado E., Debán, L. 1998. Assessment of seasonal and polluting effects on the quality of river water by exploratory data analysis. *Water Research*, v.32, no.12.
- Velasquez I. B., Jacinto G. S., Valera F. S. 2002. The speciation of dissolved copper, cadmium and zinc in Manila bay, Philippines. *Marine pollution Bulletin*, v.45, 210.

- Vernadsky V. I. 1945. The Biosphere and the Noosphere. *American Scientist*, New Haven, v. 33, n.1,1-12.
- Warren L. J. 1981. Contamination of sediments by lead, zinc and cadmium: a review. *Environmental Pollution, Series B*, v.2, 401-436.
- WEBSTER'S THIRD NEW INTERNATIONAL DICTIONARY. 1986. Unabridged, Merriam-Webster: Springfield, MA,
- Widdows J., Donkin, P. 1992. The Mussel *Mytilus*: Ecology, Physiology, Genetics and Culture; Gosling E., ed., Elsevier, Amsterdam, cap. 8.
- Witters H. E. 1998. Chemical speciation dynamics and toxicity assessment in aquatic systems. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 41, 90.
- WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION (WMO). 1992. The Dublin Statement and Report of the Conference. *International Conference on Water and the Environment: Development Issues for the 21st Century*. 26-31. Dublin, Ireland.