Universidade Federal de Minas Gerais
Departamento de Geografia

Elizêne Veloso Ribeiro

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA DO RIO SÃO FRANCISCO NO SEGMENTO ENTRE TRÊS MARIAS E PIRAPORA – MG: METAIS PESADOS E ATIVIDADES ANTROPOGÊNICAS

Minas Gerais – Brasil
Junho - 2010

Elizêne Veloso Ribeiro

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA DO RIO SÃO FRANCISCO NO SEGMENTO ENTRE TRÊS MARIAS E PIRAPORA – MG: METAIS PESADOS E ATIVIDADES ANTROPOGÊNICAS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação do Departamento de Geografia da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Geografia.

Área de concentração - Análise Ambiental

Orientador - Prof. Antônio Pereira Magalhães Junior
Co-Orientador - Prof. Adolf Heinrich Horn

Belo Horizonte
Departamento de Geografia da UFMG
2010

R484a Ribeiro, Elizêne Veloso.
2010 Avaliação da qualidade da água do Rio São Francisco no segmento entre Três Marias e Pirapora – MG [manuscrito] : metais pesados e atividades antropogênicas / Elizêne Veloso Ribeiro. – 2010.
196 f.: il., fots., gráfs. (color.), mapas, tabs.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências, 2010.
Orientador: Antônio Pereira Magalhães Junior.
Co-Orientador: Adolf Heinrich Horn.
Área de concentração: Análise Ambiental.
Bibliografia: f. 158 – 169.
Inclui anexos.

1. Água – Qualidade – São Francisco, Rio – Teses (MG). 2. Metais pesados – Teses. 3. Água – Poluição – São Francisco, Rio. 4. Solo – Uso – Teses. I. Magalhães Junior, Antônio Pereira. II. Horn, Adolf Heinrich. III. Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências. IV. Título.

CDU: 556.18(815.1)

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

Dissertação intitulada "AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA DO RIO SÃO FRANCISCO NO SEGMENTO ENTRE TRÊS MARIAS E PIRAPORA – MG: METAIS PESADOS E ATIVIDADES ANTROPOGÊNICAS ", de autoria da mestranda Elizêne Veloso Ribeiro, aprovada pela banca examinadora constituída pelos seguintes professores.

_____

Prof. Dr. Antônio Pereira Magalhães Junior – IGC/UFMG - Orientador

_____

Prof. Dr. Adolf Heinrich Horn– IGC/UFMG – Co-Orientador

_____

Prof. Dr. André Augusto Rodrigues Salgado - UFMG

_____

Prof. Dr. Hernando Baggio Filho – UNIMONTES

_____

Prof. Dr. Hubert Mathias Peter Roeser – UFOP

_____

Prof. Dr Sérgio Manuel Merêncio Martins– IGC/UFMG
Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Geografia.

Belo Horizonte, 07 de Junho de 2010

Av. Presidente Antônio Carlos, 6.627, sala 3056– Belo Horizonte, MG – 31270-901 – Brasil – tel. - (031) 3409-5404 – fax (031) 3409-5404

A minha mãe guerreira norte mineira...

À toda minha família, especialmente meus pais Maria Luiza Veloso Ribeiro e Jose Mota Ribeiro, que acreditaram na minha capacidade e me apoiaram dedicando carinho e seu amor incondicional.

Amo muito!!!

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Antonio Magalhães Junior, pela orientação e confiança dispensada para realização deste trabalho.

Ao Professor Adolf Heinrich Horn, pela co-orientação, apoio e amizade para realização da pesquisa.

Ao Professor Hernando Baggio Filho, pela participação na avaliação e pelas contribuições para a construção desta dissertação.

À Marinha do Brasil (Capitânia Fluvial do São Francisco), pelo suporte logístico nas amostragens.

À Votorantin Metais – Unidade Três Marias, pelo apoio a esta pesquisa.

À FAPEMIG, pelo financiamento do projeto de pesquisa.

Ao Conselho Nacional de Pesquisa pela bolsa de mestrado.

Ao programa de pós-graduação em geografia da UFMG, pela oportunidade de concretização do mestrado.

À UNIMONTES, pelo apoio logístico durante os trabalhos de campo.

As futuras geólogas Julia e Luiza, pelo fundamental auxilio nos trabalhos laboratoriais.

As amigas Nath e Dani, por todo carinho, amizade e ajuda nos trabalhos de campo .

Ao William, pelas analises laboratoriais e pelas inúmeras respostas nas questões laboratoriais e químicas.

À Laura, pela constante ajuda e por aceitar fazer parte desse projeto.

Ao corpo docente da UFMG, especialmente aos professores Philipe Maillard, Ricardo Alexandrino Garcia, Ricardo Diniz (Bidu) pelas proveitosas aulas e trabalhos de campo.

A todo pessoal do “Peruaçu”, pela constante ajuda na elaboração dos mapas e companheirismo nos trabalhos de campo.

Aos colegas do mestrado Zanetti e Marcina pela companhia no IGC.

Aos quase conterrâneos Cecília e Jairo, pela amizade dispensada e companhia em BH.

À Família Garcia, pelo apoio e momentos inesquecíveis em Belo Horizonte.

A Alice, Iolanda e Miller, por terem me aberto a sua família, dividido comigo parte das suas vidas, pela amizade e, sobretudo, pelo carinho e apoio nesta caminhada.

Ao Wallace Magalhães Trindade pelo companheirismo no projeto de pesquisa, trabalhos de campo e esperadas idas e vindas ao Norte de Minas. E, principalmente, por sua amizade e carinho nos momentos de incerteza.

À minha família, especialmente aos meus pais pelo amor incondicional, confiança e orações; aos meus irmãos (Arenilda, Evanilde, Ademilton e Edércio) pelo carinho nos restritos momentos em casa; aos meus sobrinhos (Grabrielle, Grazielle, Andressa, Pedro Gabriel e Yasmim) pelo carinho apesar da incompreendida espera e aos meus tios, primos e amigos pela força, orações e amizade.

À minha mãe, por lutar pelos meus sonhos ... sempre ... mesmo incompreendidas as razões das minhas buscas cada vez mais distantes de casa.

À Deus pela vida, que me permitiu viver cada um desses momentos da minha história acadêmica.

“O Homem foi responsável por uma poluição ambiental de formas tão variadas que uma simples enumeração dos fatores individuais se torna impossível.” (FELLENBERG, 1980, p. 28).

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO..... 20

2 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO..... 24

2.1 Aspectos Fisiográficos..... 26

2.1.1 Geologia..... 26

2.1.2 Unidades Geomorfológicas..... 29

2.1.2.1 Geomorfologia Fluvial..... 32

2.1.3 Clima..... 33

2.1.4 Aspectos Pedológicos..... 35

2.1.5 Cobertura Vegetal..... 36

2.1.5.1 Mata Ciliar..... 37

2.1.6 Hidrografia..... 43

2.1.7 Uso do Solo..... 46

2.1.8 População..... 54

3 QUALIDADE DA ÁGUA E METAIS PESADOS..... 56

3.1 Gestão da Qualidade da Água e Indicadores Ambientais..... 63

3.2 Parâmetros Físico-Químicos..... 65

3.2.1 Oxigênio Dissolvido..... 67

3.2.2 Temperatura..... 68

3.2.3 Potencial Hidrogeniônico..... 68

3.2.4 Sólidos Totais Dissolvidos..... 69

3.2.5 Turbidez..... 69

3.2.6 Condutividade Elétrica..... 70

3.3 Metais Pesados..... 71

3.3.1 Metais Pesados na Água..... 75

3.3.2 Estudos de Metais Pesados no Brasil no Âmbito Ambiental..... 78

3.3.3 Chumbo (Pb)..... 80

3.3.4 Cádmio (Cd)..... 81

3.3.5 Bário (Ba) 82

3.3.6 Cromo (Cr)..... 83

3.3.7 Níquel (Ni)..... 83
3.3.8 Zinco (Zn)..... 83
3.3.9 Cobalto (Co)..... 84
3.3.10 Cobre (Cu)..... 85
3.3.11 Ferro (Fe)..... 85
3.3.12 Manganês (Mn)..... 86
3.3.13 Magnésio (Mg)..... 86
3.3.14 Alumínio (Al)..... 87
3.3.15 Cálcio (Ca)..... 87

4 METODOLOGIA..... 88
4.1 Trabalhos de Campo..... 89
4.2 Monitoramento..... 90
4.3 Parâmetros Físico-Químicos..... 94
4.4 Metais Pesados..... 95
4.4.1 Coleta de Amostras..... 95
4.4.2 Preparação das Amostras para Analises de Metais..... 96
4.4.3 Análise Química dos Metais Pesados..... 97
4.5 Análise Estatística..... 99
4.6 Mapas..... 99

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES..... 100
5.1 Diagnóstico da Qualidade da Água..... 100
5.2 Parâmetros Físico-Químicos..... 102
5.2.1 Potencial Hidrogeniônico (pH)..... 104
5.2.2 Temperatura..... 105
5.2.3 Condutividade e Sólidos Totais Dissolvidos (STD)..... 106
5.2.4 Oxigênio Dissolvido (OD)..... 108
5.2.5 Turbidez..... 109
5.2.6 Material Particulado em Suspensão (MPS)..... 110
5.2.7 Pluviosidade na área de estudo..... 111
5.3 Concentrações de Metais Pesados na **Á**gua Superficial.....,..... 113
5.3.1 Alumínio (Al)..... 113
5.3.2 Ferro (Fe)..... 114

5.3.3 Cobre (Cu)..... 116
5.3.4 Cádmio (Cd)..... 118
5.3.5 Cromo (Cr)..... 119
5.3.6 Níquel (Ni)..... 121
5.3.7 Zinco (Zn)..... 122
5.3.8 Chumbo (Pb)..... 123
5.3.9 Bário (Ba)..... 125
5.3.10 Cobalto (Co)..... 127
5.3.11 Manganês (Mn)..... 128
5.3.12 Cálcio (Ca) e Magnésio(Mg)..... 129
5.4 Distribuição Espacial das Concentrações dos Metais em Relação ao Uso e Ocupação do Solo..... 132
5.4.1 Três Marias..... 132
5.4.2 Centros Urbanos de Pirapora e Buritizeiro..... 133
5.4.3 Influência da Agropecuária..... 134
5.5 Mapeamento da Qualidade da Água..... 135
5.6 Análise Estatística..... 147
5.6.1 Índice de Contaminação..... 147
5.6.2 Análise de Variância..... 149

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS..... 152

7 REFERÊNCIAS..... 158

ANEXOS..... 170

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABRH	Associação Brasileira de Recursos Hídricos
ANOVA	Análise de Variância
BR	Brasil Rodovia
CBHs	Comitês de Bacias Hidrográficas
CEMIG	Companhia Elétrica de Minas Gerais
CETEC	Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CE	Condutividade Elétrica
CMM	Companhia Mineira de Metais
CODEVASF	Companhia de desenvolvimento do Vale do São Francisco
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
COPAM	Conselho Estadual de Política Ambiental
COT	Carbono Orgânico Total
CPMTC	Centro de Pesquisa Manoel Teixeira da Costa
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
EMATER	Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural
ENVI	Environment for Visualizing Images
Fc	Fator de Contaminação
GPS	Global Position System
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatistica
Ic	Índice de Contaminação
ICP-OES	Inductively Coupled Plasma - Optical emission spectrometer
IEF	Instituto Estadual de Floresta
IGA	Instituto de Geografia Aplicada
IGAM	Instituto de Gestão das Águas de Minas
IGC	Instituto de Geociências
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
IQA	Índice de Qualidade da Água

LD	Limite de Detecção
UFLA	Universidade Federal de Lavras
LQ	Limite de Quantificação
MDE	Modelo Digital de Elevação
MG	Minas Gerais
MO	Matéria Orgânica
MPS	Material Particulado em Suspensão
OD	Oxigênio Dissolvido
pH	Potencial Hidrogeniônico
PLANVASF	Plano Diretor para o Desenvolvimento do Vale do São Francisco
PNRH	Política Nacional de Recursos Hídricos
ppm	partículas por milhão
RSF	Rio São Francisco
SAD	South American Datum
SGE	Serviço Geográfico do Exercito
SISNAMA	Sistema Nacional de Meio Ambiente
SNGRH	Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos
SPSS	Statistical Package for the Social Sciences
SRTM	Shuttle Radar Topographic Mission
STD	Sólidos Totais Dissolvidos
SUDENE	Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste
UFLA	Universidade Federal de Lavras
UFMG	Universidade Federal de Minas Gerais
UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul
UNESCO	United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization
UNIMONTES	Universidade Estadual de Montes Claros
UNT	Unidades Nefalométricas de Turbidez),
UTM	Universal Transverso de Mercator
WHO	World Health Organization.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Represa Juscelino Kubitschek 24
Figura 2 - Localização da área de estudo em Minas Gerais..... 25
Figura 3 - Afloramento dos arcoseos da Formação Três Marias à margem do Rio São Francisco..... 26
Figura 4 - Depósitos aluviais da Formação Abaeté à margem do Rio São Francisco a jusante da Foz do Rio Abaeté..... 27
Figura 5 - Mapa das Unidades Geológicas..... 28
Figura 6 - Compartimentação Geomorfológica regional..... 29
Figura 7 - Superfície Tabular da Serra do Jatobá..... 30
Figura 8 - Superficie Tabular do Morro do Trinchet 30
Figura 9 - Colinas circundando os terraços na planície aluvial do Rio São Francisco... 31
Figura 10 - Canal fluvial do Rio São Francisco 32
Figura 11 - Variação sazonal do nível d'água marcada na vegetação ciliar 34
Figura 12 - Classes de Solos 35
Figura 13 - Mata Ciliar de grande porte 38
Figura 14 - Condições da Mata Ciliar 39
Figura 15 - Sítios localizados à margem do Rio São Francisco..... 39
Figura 16 - Mata Ciliar de médio porte..... 40
Figura 17 - Mata Ciliar rala..... 40
Figura 18 - Dregadação da mata Ciliar Ocupação da planície pela agropecuária..... 41
Figura 19 - Pastagens 41
Figura 20 - População ribeirinha entre Três Marias e Pirapora 42
Figura 21 - Paisagens urbanas 43
Figura 22- Mapa de localização da área de estudo no contexto hidrográfico de Minas Gerais e da Bacia do Rio São Francisco 44
Figura 23 - Localização das Sub-bacias..... 45
Figura 24 - Planta de Beneficiamento de Zn 47
Figura 25- Área da captação de água da Codevasf destinada ao projeto de fruticultura 49

Figura 26 - Metalúrgicas do distrito industrial de Pirapora mostrando a emissão de particulados atmosféricos..... 50
Figura 27 - Efluente liquido industrial em Pirapora..... 50
Figura 28 - Mapa de Uso e Cobertura dos solos em 1985..... 52
Figura 29 - Mapa de Uso e Cobertura dos solos em 2008. 53
Figura 30 - Comunidade de pescadores localizada às margens do Rio São Francisco..... 55
Figura 31 - Principais parâmetros utilizados nos estudos de qualidade da água..... 65
Figura 32 - Fluxograma metodológico..... 88
Figura 33- Mapa de Localização dos pontos de amostragem na área de estudo considerando contexto hidrográfico e dos município..... 91
Figura 34 - Mapa de localização dos pontos de amostragem 103
Figura 35 - Mapa do Ic por metais dissolvidos em março/2008 136
Figura 36 - Mapa do Ic por metais em março/2008 137
Figura 37 - Mapa do Ic por metais dissolvidos em julho/2008. 139
Figura 38 - Mapa do Ic por metais em julho/2008 140
Figura 39 - Mapa do Ic por metais dissolvidos em outubro/2008. 142
Figura 40 - Mapa do Ic por metais em outubro/2008. 143
Figura 41 - Mapa do Ic por metais dissolvidos em janeiro/2009. 145
Figura 42 - Mapa do Ic por metais em janeiro/2009. 146

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Evolução demográfica da área de estudo entre 1970 e 2000..... 54
Gráfico 2 - Evolução da população por município na área de estudo no período de 1970 a 2000 55
Gráfico 3 - Valores do pH no período de março de 2008 e Janeiro de 2009..... 104
Gráfico 4 - Temperatura da Água..... 105
Gráfico 5 - Condutividade no Rio São Francisco entre Três Marias e Pirapora..... 107
Gráfico 6 - Concentrações de STD na água superficial do Rio São Francisco..... 107
Gráfico 7 - Quantidade de oxigênio dissolvido na água..... 108
Gráfico 8 - Valores de Turbidez..... 109
Gráfico 9 - Concentrações de Material Particulado em Suspensão..... 111
Gráfico 10 - Precipitação pluvial na área de estudo no período monitorado 112
Gráfico 11 - Alumínio dissolvido 113
Gráfico 12 - Ferro dissolvido..... 115
Gráfico 13 - Cobre dissolvido 116
Gráfico 14 - Cobre em suspensão 117
Gráfico 15 - Cádmio total 119
ráfico 16 - Cromo total..... 120
Gráfico 17 - Níquel total 121
Gráfico 18 - Zinco total 123
Gráfico 19 - Chumbo total 124
Gráfico 20 - Bário total 126
Gráfico 21 - Cobalto total 127
Gráfico 22 - Manganês total 129
Gráfico 23 - Cálcio dissolvido 130
Gráfico 24 - Cálcio em suspensão 130
Gráfico 25 - Magnésio dissolvido..... 131
Gráfico 26 - Magnésio em suspensão..... 132

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Principais parâmetros investigados na análise de Qualidade da Água..... 66
Tabela 2 - Descrição dos pontos de amostragem 92
Tabela 3 - Limites de detecção e curva de leitura dos Metais Pesados..... 98
Tabela 4 - Limites máximos segundo a resolução do CONAMA 357/2005..... 102
Tabela 5 - Agrupamento das amostras por relação com uso do solo 149
Tabela 6 - Média do Ic para Metais Dissolvidos 150
Tabela 7 - Média do Ic para Metais Dissolvidos 150
Tabela 8 - Médias do Ic nas diferentes amostragens 151

RESUMO

A crescente demanda por recursos hídricos em nível mundial associada às dificuldades de gestão tem ocasionado a degradação das águas em relação à sua quantidade e qualidade. A alteração das características físico-químicas da água pode ser relacionada aos grupos dos compostos orgânicos e inorgânicos, bem como aos processos naturais e antropogênicos. Os contaminantes inorgânicos têm ganhado uma visibilidade maior com o estudo da contaminação por Metais Pesados, tendo em vista a toxidade desses elementos. No entanto, apesar do conhecimento dos problemas associados à presença desses elementos, estes ainda não são integrados aos Índices de Qualidade. Este trabalho apresenta resultados da avaliação da presença e dos níveis de concentração de metais pesados na secção do Rio São Francisco a jusante da represa de Três Marias e montante da foz do Rio das Velhas, em termos da qualidade da água e das possíveis influências das atividades humanas. Foram monitorados os parâmetros físico-químicos Turbidez, Sólidos Totais Dissolvidos, Condutividade, Oxigênio Dissolvido, Temperatura e pH, e os elementos Zn, Cd, Pb, Cr, Co, Cu, Ba, Ni, Al, Mn, Ca, Mg e Fe durante um ano; as concentrações dos metais foram obtidas através do ICP-OES a e digestão ácida (HNO_3) em microondas. Vários elementos apresentaram altos níveis de contaminação nas áreas urbano-industrial de Três Marias e Pirapora. Em Três Marias além das altas concentrações de Zn (36,3ppm) verificou-se a contaminação para Cd(0,18ppm), Cr(7,6ppm), Ni(3,1ppm), Cu(1,4ppm), Pb(0,3ppm) e Co(0,07ppm) entre as frações dissolvida e em suspensão nos Córregos Barreiro Grande e Consciência. Em Pirapora foram encontrados altos valores de Cu (0,02), Cd(0,04), Pb(0,53ppm), Cr(0,32ppm) e Ni(0,34ppm) entre a Foz do Córrego das Pedras e a área de lançamento do efluente industrial. No segmento de influência rural entre os dois centros urbanos e a jusante de Pirapora foram observadas alterações para os metais pesados (Cd, Cu, Cr, Co e Ni) que evidenciam a necessidade de um estudo de contaminação dos solos agrícolas, principalmente irrigado, na região. A variação sazonal (Julho/Janeiro) marca a diferença da qualidade da água no segmento no que refere aos metais em suspensão com maiores concentrações na estação chuvosa principalmente para Mn. Os níveis de contaminação (Cd,Cu,Cr,Co,Ni,Pb,Zn e Mn,) encontrados comprometem a qualidade da água nos centros urbano-industriais confirmando a necessidade de um monitoramento dos

metais pesados nestes pontos, bem como a restrição do uso da água e estudos de ecotoxidade em peixes devido ao alto consumo na região. Ressalta-se ainda a necessidade da especificação da metodologia por parte do CONAMA quanto a metodologia de leitura dos metais na fração dissolvida e totais. A análise das águas do Rio São Francisco neste segmento indicam que estas ainda apresentam uma boa qualidade demonstrando, portanto, a necessidade de intervenção nos pontos críticos de contaminação e ações de preservação tanto em relação as fontes pontuais urbano-industriais e difusas agrícolas.

PALAVRAS-CHAVE: Metais Pesados, Qualidade da Água, Contaminação, Rio São Francisco e Uso do Solo.

ABSTRACT

The increasing demand for water resources worldwide, coupled with management difficulties, has been harming water quality and its availability. Changes in water's physicochemical properties can be linked to organic and inorganic chemical compounds, as to natural and anthropogenic processes. Inorganic contaminants have been receiving more attention since studies on Heavy Metal contamination, considering the high toxicity of such elements. Nonetheless, despite the fact that problems caused by their presence are known, those elements have not yet been integrated into Quality Indexes. This work presents heavy metal concentration measurements taken across a section of the São Francisco River, downstream from the Três Marias dam and upstream from the Das Velhas River mouth, as a way to evaluate water quality and possible interference from human activities. The physicochemical parameters Turbidity, Total Dissolved Solids, Conductivity, Dissolved Oxygen, Temperature and pH levels, and the elements Zn, Cd, Pb, Cr, Co, Cu, Ba, Ni, Al, Mn, Ca, Mg and Fe were monitored during a one year period; the concentration levels of metals were determined by ICP-OES and HNO^3 microwave digestion. High contamination levels were found for many elements in Três Marias and Pirapora's urban-industrial areas. In Três Marias, beyond high Zn concentrations (36.3ppm), contamination by Cd(0,18ppm), Cr(7,6ppm), Ni(3,1ppm), Cu(1,4ppm), Pb(0,3ppm) and Co(0,07ppm) was found between the dissolved and suspension fractions on the Barreiro Grande and Consciência streams. In Pirapora, high levels of Cu (0,02ppm), Cd(0,04ppm), Pb(0,53ppm), Cr(0,32ppm) and Ni(0,34ppm) were found between the Das Pedras Stream mouth and the industrial effluent discharge area. The section under rural influence, located between the two urban areas and downstream from Pirapora, presented anomalous heavy metal (Cd, Cu, Cr, Co and Ni) readings. That indicates that soil contamination studies are needed, especially on irrigated soil, in agricultural areas within the region. The July/January seasonal variation marks the difference on water quality levels within the studied section. Metals in suspension, especially Mn, can be found at higher concentrations during the rainy season. The contamination levels found (Cd,Cu,Cr,Co,Ni,Pb,Zn and Mn,) compromise water quality in urban-industrial areas, which verifies the need for heavy metal contamination monitoring on the aforementioned

spots, for restrictions to the use of water and for ecotoxicity studies on fish, since it is heavily consumed in the region. It also should be emphasized that the Ministry of the Environment (CONAMA) needs to specify a methodology for metal concentration readings on dissolved and total fractions. The analysis of São Francisco River waters, within the studied section, indicates that those are still at good quality levels, evidencing, therefore, that intervention actions need to be in effect at critical spots and protection measures should be taken to curb pollution, come it from punctual and urban-industrial or diffuse and agricultural sources.

KEY WORDS: Heavy Metals, Water Quality, Contamination, São Francisco River and Soil Use.

1.0 INTRODUÇÃO

O contínuo e o crescente uso dos recursos hídricos em nível mundial, associados a uma gestão inadequada, têm ocasionado a degradação das águas em relação à sua disponibilidade e qualidade. Muitas substâncias manipuladas pelas diversas atividades industriais e agrícolas podem ocasionar a contaminação dos ambientes aquáticos.

A qualidade da água é uma variável dependente das características naturais e do uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica. A noção de qualidade muitas vezes está relacionada apenas às características organolépticas, como sabor, odor e cor; no entanto esses fatores estão ligados apenas à sensibilidade humana e não revelam os reais problemas de comprometimento da qualidade das águas.

A alteração das características físico-químicas da água pode ser relacionada aos grupos dos compostos orgânicos e inorgânicos, bem como aos processos naturais e antropogênicos. Dentre os contaminantes orgânicos, destacam-se os efluentes originados dos esgotos domésticos e os inorgânicos, componentes sintéticos do setor industrial e agrícola. Os processos naturais incluem o material recebido pelos corpos fluviais de processos naturais como intemperismo, já a intervenção antrópica decorre dos diferentes tipos de uso do solo como a agropecuária, o urbano e a indústria.

A qualidade da água está diretamente relacionada ao uso a que se destina. Embora existam usos para os quais se exija mais qualidade, como o abastecimento humano, e outros menos, como a diluição de efluentes industriais, é necessário que os corpos hídricos atendam aos diferentes níveis de qualidade já que se prestam a usos múltiplos. No Brasil, a classificação dos corpos hídricos foi definida pela resolução 357 de 2005 do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), na qual são estabelecidas diretrizes para a classificação dos corpos hídricos (classes de uso), assim como os padrões de qualidade e para o lançamento de efluentes.

Alguns parâmetros têm sido usados nos estudos da qualidade da água, principalmente aqueles orgânicos, relacionados aos esgotos domésticos e industriais. Os contaminantes inorgânicos têm ganhado uma visibilidade maior com o estudo da contaminação por Metais Pesados, tendo em vista a toxidade desses elementos. No entanto, apesar do conhecimento dos problemas associados à presença desses elementos, esses ainda não são integrados aos Índices de Qualidade.

Os metais pesados[1] referem-se a um Grupo de elementos com densidade específica e, principalmente, características de toxidade particulares. Esses metais ocorrem naturalmente nos corpos hídricos e podem ter fontes antropogênicas.

As fontes naturais estão relacionadas aos tipos de rochas e solos de cada região. Algumas áreas podem ter níveis altos de contaminação, sendo os corpos hídricos ambientes importantes na identificação. Os padrões naturais desses elementos são conhecidos como *background.* As fontes antrópicas estão associadas aos diferentes tipos de uso do solo, com destaque para a mineração, o setor industrial, o deflúvio urbano e a agricultura.

A mudança dos padrões dos metais pesados nos corpos hídricos tem impactos significativos na saúde humana e na biota aquática. Os metais pesados incluem alguns elementos que estão presentes nos organismos vivos em pequenas quantidades (os denominados micronutrientes essenciais), que se tornam tóxicos com o aumento das concentrações, enquanto alguns elementos são naturalmente tóxicos.

O principal problema da entrada dos metais pesados no ambiente está relacionado à capacidade de concentração na cadeia trófica (bioacumulação), que afeta principalmente os seus níveis mais altos, onde se situam os seres humanos. Os efeitos na saúde humana estão relacionados a problemas no sistema nervoso e efeitos cancerígenos, além disso, esses elementos podem causar mutações genéticas e afetar o sistema reprodutivo.

A análise dos níveis de metais pesados na área de estudo parte das alterações do uso e ocupação do solo, que vem se intensificando desde a década de 60, com a expansão das atividades econômicas nos setores industriais e da agropecuária e o consequente crescimento urbano.

Em Três Marias, foram considerados históricos os índices de contaminação por metais, principalmente o Zinco (Zn), originados da usina de beneficiamento localizada no município. Durante um longo período, essa usina lançou os efluentes diretamente no Córrego Consciência, afluente direto do Rio São Francisco. Outro ponto de destaque refere-se à entrada do afluente Rio Abaeté, no qual existe intensa atividade de garimpo.

Entre Três Marias e Pirapora, as monoculturas caracterizam um cenário de ampla atividade agropecuária, com grande número de fazendas, a exemplo daquelas que se

---

[1] Dscussão do termo em Chemistry International , Vol 23 No 6 November 2001 – Heavy Metals – A Meaningless Term por John H. Duffus.

localizam no alto Chapadão dos Gerais. Destacam-se plantações de Pínus, eucalipto, soja, milho, café e recentemente algodão, atividade representativa da sub-bacia do Rio do Formoso, localizada no município de Buritizeiro.

Em Pirapora, destacam-se as atividades industriais e agrícolas. As atividades industriais incluem as metalúrgicas e têxteis, das quais resultam a emissão de particulados atmosféricos e o lançamento de efluentes líquidos. Na agricultura, destaca-se a fruticultura, principalmente a produção de uva e cítricos, além das monoculturas de eucalipto e café.

Este trabalho tem como objetivo principal avaliar a presença e os níveis de concentração de metais pesados na secção do Rio São Francisco a jusante da represa de Três Marias e montante do Rio das Velhas, investigando as possíveis fontes naturais e influências das atividades antropogênicas na qualidade da água.

São aqui considerados objetivos específicos:

- identificar as pressões antrópicas relacionadas às concentrações dos metais e derivadas das atividades humanas (uso e ocupação do solo);
- investigar os parâmetros físico-químicos e as concentrações dos metais na água;
- espacializar as informações, gerando mapas dos níveis de contaminação por metais pesados.

Foram monitorados os parâmetros físico-químicos Turbidez, STD, Condutividade, Oxigênio Dissolvido, Temperatura e pH, e os elementos Cd, Pb, Cr, Co, Cu, Ba, Ni, Zn, Al, Mn, Mg, Ca e Fe durante um ano. A definição desses elementos considerou a toxidade e o potencial de contaminação das atividades de uso do solo desenvolvidas na região. Os elementos Al, Ca, Mg, Mn, Fe destacam-se pela sua influência na disponibilidade dos demais metais.

O trabalho está organizado em seis capítulos principais. No primeiro, o tema de estudo é apresentado na introdução; o segundo apresenta a localização e caracterização fisiográfica da área de estudo; no terceiro são discutidos os principais conceitos e argumentações em relação à qualidade da água e a descrição das características e toxidade dos metais pesados; o quarto traz os tratamentos metodológicos das diversas etapas da pesquisa; no quinto, são apresentados os resultados do estudo e no sexto são expostas algumas considerações em relação ao trabalho desenvolvido e resultados encontrados.

O trabalho está, portanto, baseado na investigação dos níveis de contaminação das águas pela presença de metais pesados, e sua interpretação em relação aos usos e atividades humanas que se constituam nas fontes de contaminação. Espera-se, com este

trabalho, contribuir para a proteção do sistema fluvial em termos ecológicos e para a qualidade de vida humana, a partir de resultados que subsidiem futuras intervenções visando à melhoria ou à manutenção da qualidade da água.

2.0 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo encontra-se localizada entre as macrorregiões do Noroeste de Minas e Alto São Francisco. A delimitação da área de trabalho considerou a secção hidrográfica a jusante da represa de Três Marias (FIG. 1) até a montante da Foz do Rio das Velhas, no município de Pirapora.

FIGURA 1 - Represa Juscelino Kubitschek: Limite Sul da área de estudo em Três Marias - MG.

Três Marias destaca-se pela presença da usina hidrelétrica da Companhia Hidrelétrica de Minas Gerais (CEMIG), cuja represa define uma nova dinâmica hidrológica ao Rio São Francisco. Outra característica importante é a presença da indústria de beneficiamento de Zn, que tem causado polêmica quanto à contaminação das águas do Rio São Francisco.

O Rio das Velhas é o maior afluente do Rio São Francisco em Minas Gerais. Sua entrada no Rio São Francisco ocasiona mudanças significativas nas características das águas, já que esse rio drena a região metropolitana de Belo Horizonte e as áreas de mineração do quadrilátero ferrífero, apresentando um alto grau de contaminação evidenciado pelas análises do IGAM no projeto Águas de Minas.

Considerando as unidades hidrográficas, um total de 15 municípios (FIG. 2) tem parte do seu território na área de drenagem desse segmento do Rio São Francisco.

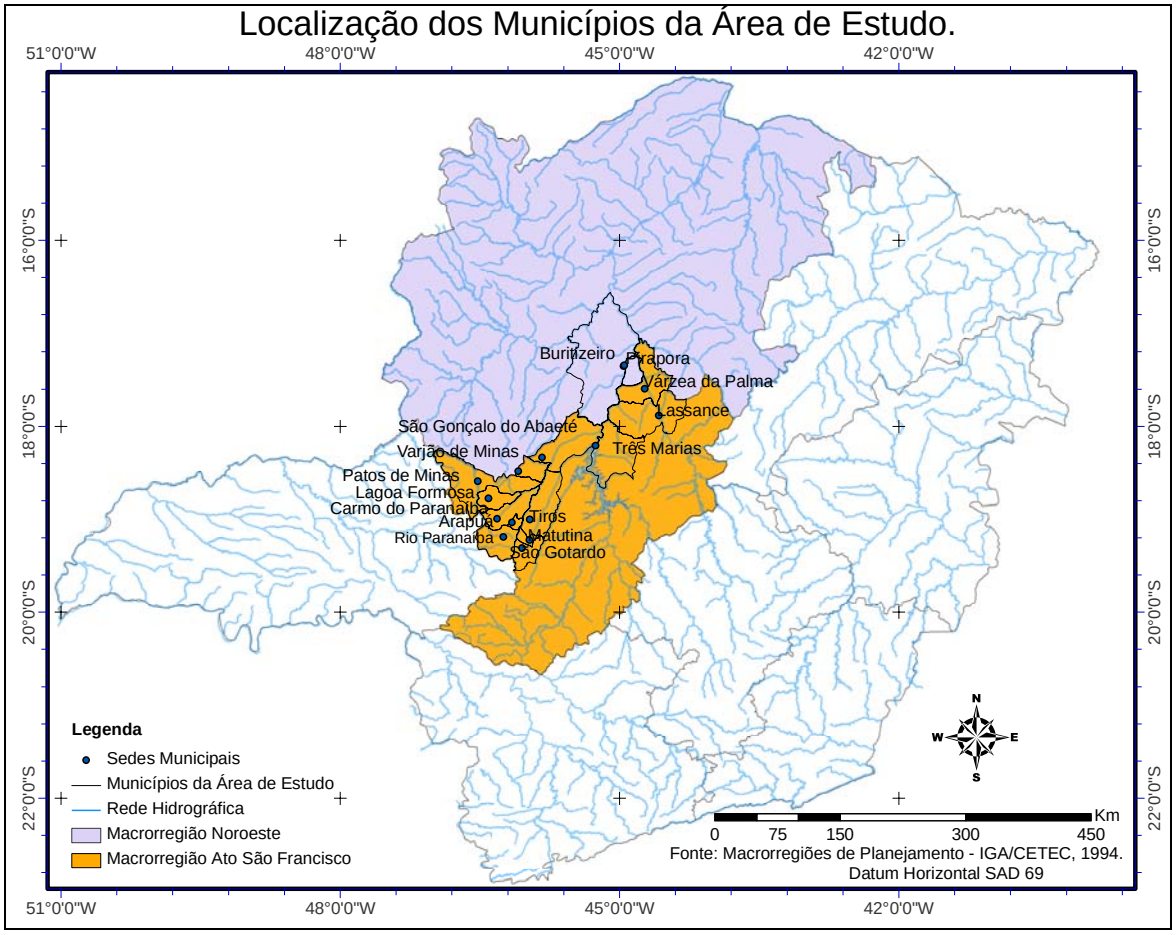


FIGURA 2 - Localização da área de estudo em Minas Gerais.

Parte dos municípios de Buritizeiro, Pirapora, Várzea da Palma, Lassance, Três Marias e São Gonçalo do Abaeté situa-se diretamente às margens do Rio São Francisco.

Os municípios de Varjão de Minas, Patos de Minas, Lagoa Formosa, Carmo do Paranaíba, Tiros, Arapuá, Matutina, Rio Paranaíba e São Gotardo compõem a sub-bacia hidrográfica do Rio Abaeté desde sua nascente até sua foz no Rio São Francisco, no município de São Gonçalo do Abaeté.

O acesso à área pode ser feito pela rodovia BR 040, a partir de Belo Horizonte, que dá acesso direto a Três Marias. A movimentação entre os municípios pode ser feita pela margem esquerda do Rio São Francisco, pela rodovia BR 365, passando por Buritizeiro até o trevo na 040, convergindo para Três Marias. Pela margem direita, o acesso é feito pela rodovia MG 496, passando pelos municípios de Várzea da Palma e Lassance e dá acesso a BR 040, que liga a cidade de Três Marias.

2.1 Aspectos Fisiográficos

2.1.1 Geologia

A área de estudo localiza-se na porção sudoeste do Cráton São Francisco, cujas rochas são de idades neoproterozóicas, sendo circundada pelos cinturões orogênicos da Faixa Brasília, a oeste e sul, e Faixa Araçuaí, a leste (ALKMIM *et al*, 1996). A estratigrafia é composta por Unidades Neoproterozóicas e as Coberturas Fanerozóicas/cretáceas da bacia do São Francisco. A bacia do São Francisco compreende a porção sul do cráton homônimo que cobre uma área de 500.000 km² nos estados da Bahia, Minas Gerais e Goiás. (ALKMIM e MARTINS-NETO, 2001, p.10-11).

O Grupo Bambuí constitui a unidade característica da bacia, com um pacote de rochas carbonáticas alteradas com terrígenos, sendo dividido nas Formações Carrancas, Sete Lagoas, Samburá, Serra de Santa Helena, Serra da Saudade, e Três Marias, esta última composta por pelitos e arenitos (MARTINS-NETO e ALKMIM, 2001, p. 15).

O Grupo Bambuí é representado na área de estudo pelas Formações Lagoa do Jacaré e Três Marias (FIG. 3), nesta ultima predominam os arenitos arcoseanos e pelitos, que datam de 600 a 790 Ma.

FIGURA 3 - Afloramento dos arcoseos da Formação Três Marias à margem do Rio São Francisco.

A Formação Três Marias constitui a unidade de topo do Grupo Bambuí, uma espessa sequência tempestítica, com relativa persistência lateral das suas litofácies. Apresenta bancos de arenitos arcoseanos de granulometria, dominantemente muito fina a fina, intercalados com siltitos arcoseanos cinza-esverdeados e violáceos (CHIAVEGATTO, 1992).

As unidades mesozóicas na Bacia Sanfranciscana são representativas do Cretáceo. O cretáceo inferior é representado , na área, pelo Grupo Areado, composto por arenitos, siltitos, folhelhos e conglomerados aluviais (FIG. 4). Na área de estudo, sua sedimentação ocorreu nos ambientes fluvial e eólico, resultando em uma diversidade estratigráfica caracterizada nas Formações Abaeté e Três Barras, respectivamente (SGARBI et al, 2001).

FIGURA 4 - Depósitos aluviais da Formação Abaeté à margem do Rio São Francisco a jusante da Foz do Rio Abaeté.

O Cretáceo Superior refere-se ao Grupo Mata da Corda (FIG. 5), que comporta lavas, rochas piroclásticas, vulcânicas e vulcanoclásticas (CPRM, 2003, SGARBI *et al* , 2001). Subdivide-se nas Formações Patos e Capacete. A Formação Patos inclui a área central do magmatismo alcalino máfico de rochas vulcânicas e subvulcânicas kamafugiticas (SGARBI, 1991).

A Formação Capacete é composta por rochas vulcanoclásticas, transportadas por leques aluviais e torrentes fluviais entrelaçadas. Normalmente, a Formação Capacete apresenta-se bastante oxidada e caulinizada, recoberta por níveis de laterita ferruginosa.

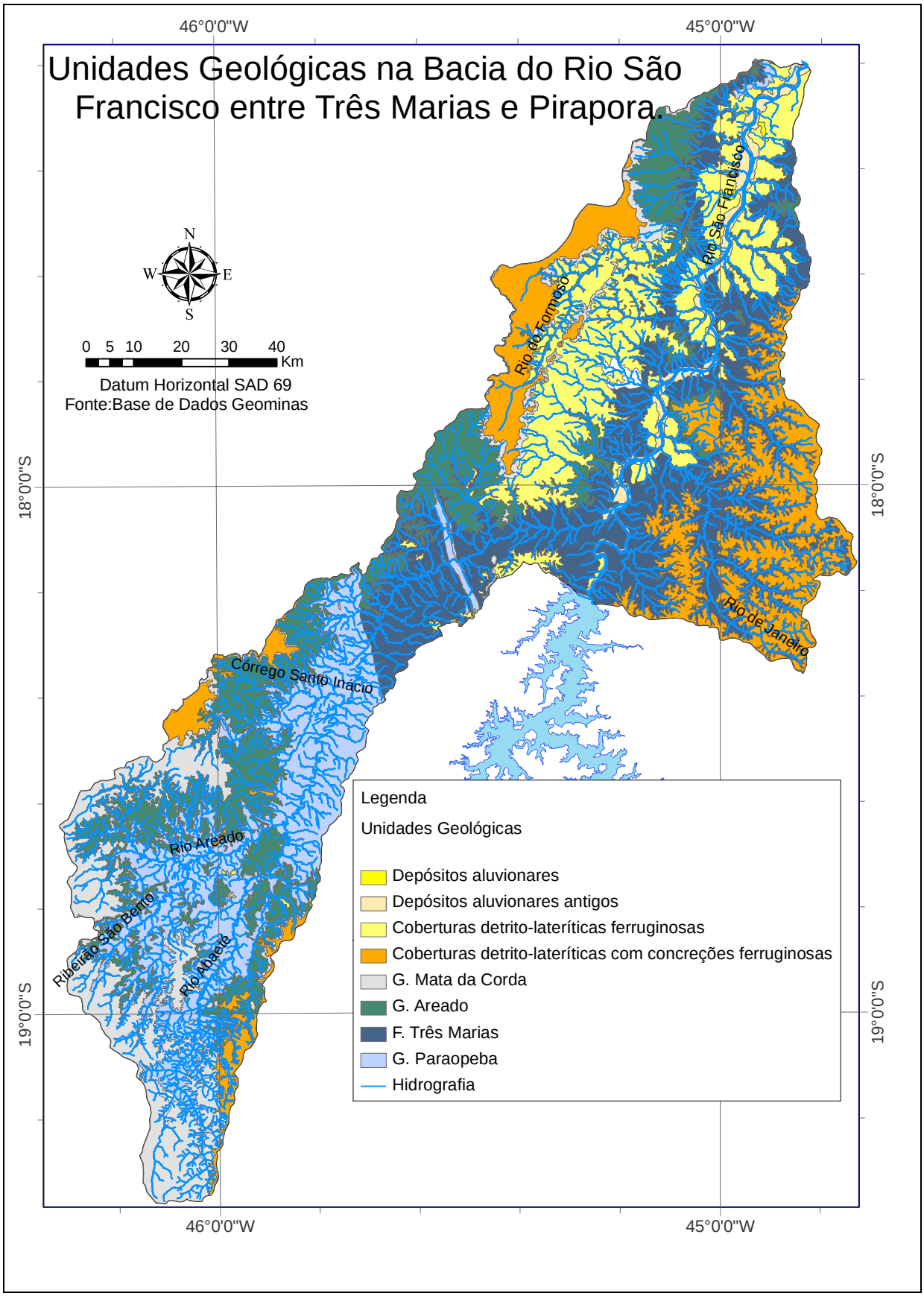


Figura 5: Mapa das Unidades Geológicas.

Segundo Trindade *et al.* (2006), geomorfologicamente, os Grupos Areado e Mata da Corda localizam-se nas unidades planálticas do oeste mineiro, com cotas topográficas médias em torno de 850 m, onde sustentam escarpas abruptas, que podem ser observadas na área de trabalho.

Os metais estão naturalmente presentes na constituição dos litotipos e são liberados para ambiente aquático via intemperismo; desta forma existe uma relação entre a composição química das rochas e os metais encontrados no meio aquático. Na área de trabalho em virtude da grande extensão e na ausência de fontes pontuais de poluição os elementos encontrados na água podem está associados aos litotipos, principalmente, da Formação Três Marias bem como em menor escala aos litotipos das formações cretáceas.

2.1.2 Unidades Geomorfológicas

A área de estudo está inserida na Depressão Sanfranciscana (FIG. 6), uma extensa área rebaixada, localizada à margem do Rio São Francisco, circundada por superfícies Tabulares dos Planaltos do São Francisco e as Unidades de Colinas esculpidas por processos de erosão fluvial.

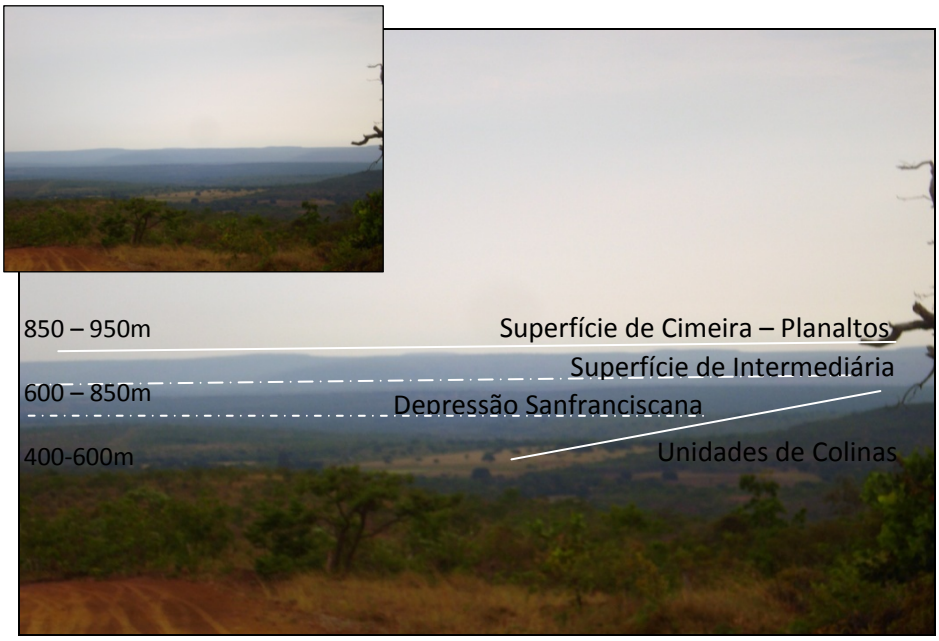


FIGURA 6 - Compartimentação Geomorfológica regional.

No município de Buritizeiro, segundo Baggio (2008), foram identificadas as Superfícies Sul-Americana I e II. A primeira encontra-se recortada em uma série de

chapadas(FIG. 7)., com altitudes variando entre 1000-900 m/alt, localmente denominadas: Chapadão dos Gerais, Serra do Morro Vermelho e Serra do Jatobá

FIGURA 7 - Superfície Tabular da Serra do Jatobá localizada no município de Buritizeiro.

A segunda, ocupando o piso de depressões interplanáltica e sublitorâneas, comprova o fato de sua gênese estar estritamente relacionada à incisão da atual rede hidrográfica.

FIGURA 8 - Superficie Tabular do Morro do Trinchet, localizado ao aul do município de Pirapora: Interflúvio da Bacia do São Francisco com a Bacia do Rio das Velhas.

Baggio apresenta um mapeamento Geomorfológico para a sub-bacia do Rio do Formoso, no qual descreveu três compartimentos geomorfológicos e suas Unidades correlatas: Superfície Tabular (FIG. 8), Unidades de Colinas e Planície Aluvial.

As formas tabulares são bastante representativas nos municípios de Pirapora e Buritizeiro, também denominadas de chapadas, e contornam a planície aluvial do Rio São Francisco, com uma variação de 450 m a 950 m no topo das chapadas.

Na região de Três Marias, predominam as colinas policonvexas (FIG. 9), sustentadas pelos siltitos, argilitos e arenitos arcoseanos da Formação Três Marias. Essa morfologia dá ao relevo um aspecto mais dissecado em vertentes com rampas médias/longas que se prolongam em direção aos fundos de vale onde se situam planícies e baixos terraços fluviais.

FIGURA 9 - Colinas circundando os terraços na planície aluvial do Rio São Francisco.

A nordeste de Três Marias, as feições de colinas mudam para as feições tabulares esculpidas nos arenitos do Grupo Areado. Essas caracterizam os planaltos do São Francisco, onde são cortadas pelas cabeceiras de drenagem, formando os anfiteatros das veredas.

2.1.2.1 Geomorfologia Fluvial

A geomorfologia fluvial regional apresenta três secções principais (FIG. 10). A jusante da represa de Três Marias, ocorre um perfil mais erosivo, que se apresenta em corredeiras e encaichoeiramentos.

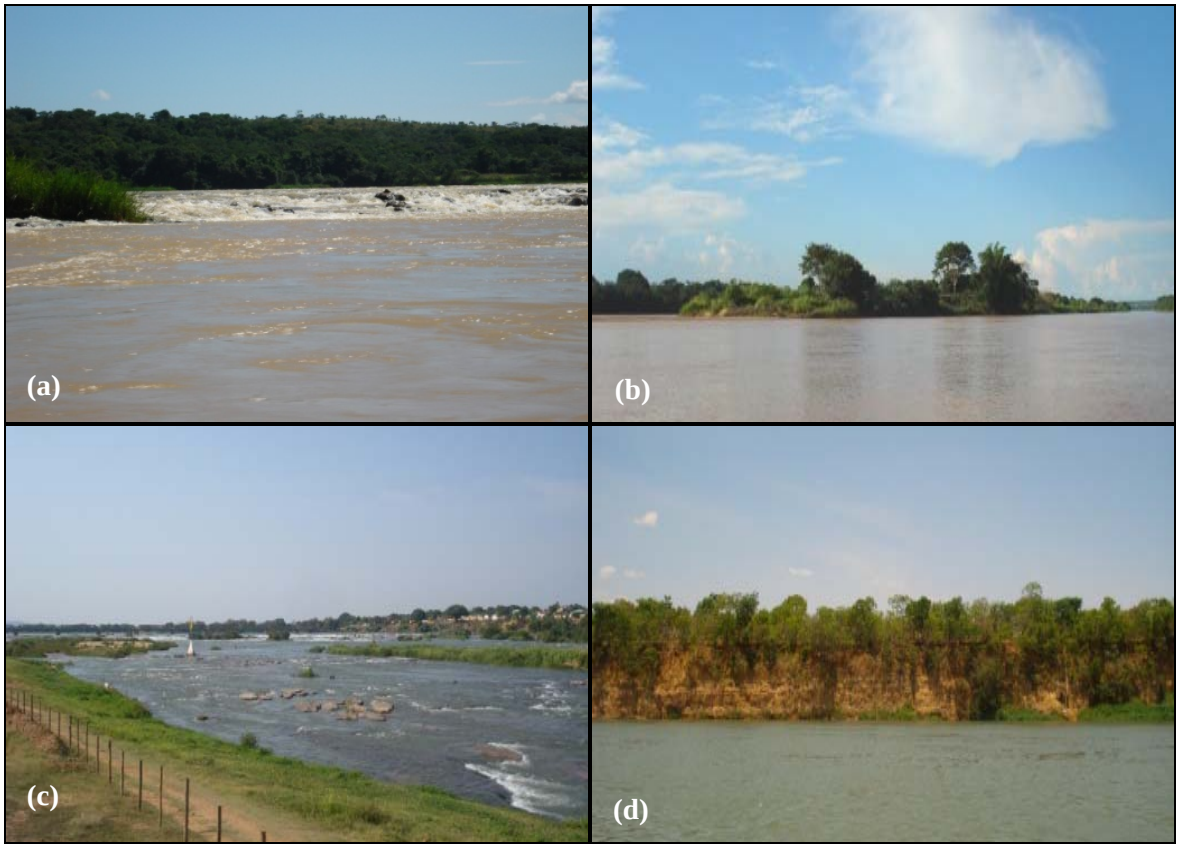


FIGURA 10: Canal fluvial do Rio São Francisco. a) Cachoeira Grande em Três Marias - Fluxo Turbulento; b) Ilha dos Prazeres - Fluxo Laminar; c) Corredeiras entre os municípios de Pirapora e Buritizeiro; d) Terraços Aluviais.

Esse segmento evolui para um ambiente deposicional, com formação de sucessivas ilhas e trechos de canal meandrante, altenanando com entrelaçados até uma corredeira (ruptura de declive), localizada em Pirapora.

Na secção seguinte, o canal meandrante, predominam extensos terraços fluviais com taludes de 3 a 5 metros de altura, que caracterizam o canal fluvial até sua confluência com o Rio das Velhas.

Ao longo do perfil longitudinal do rio, não são observadas grandes variações topográficas, a altitude varia entre 513m a jusante da represa em Três Marias e 475m a montante da Foz do Rio das Velhas.

A alternância entre os fluxos laminar e turbulento pode ser observada, notadamente, em áreas onde há ruptura de declive tem o predomínio do fluxo turbulento, entretanto em grande parte do segmento em questão tem-se o fluxo laminar.

A direção Sul/Norte corrobora com a direção preferencial do canal em grande porção da sua bacia, variações na direção são observadas ao longo trechos meandrantes que se alternam com os preferenciais segmentos retilíneos e restritos pontos entrelaçado.

Para os estudos de metais pesados e o respectivo papel condicionante da geomorfologia fluvial, devem ser considerados os sistemas de fluxos. As corredeiras, por exemplo, atuam na remoção dos elementos para a coluna de água, viabilizando também o seu transporte por maiores distâncias. Na área em estudo, a cachoeira grande, localizada em Três Marias, e as Corredeiras em Pirapora são pontos importantes na análise da distribuição dos metais.

2.1.3 Clima

O clima predominante na região é definido como Aw, segundo a classificação de Köpen, tropical chuvoso, quente e úmido, com inverno seco e verão chuvoso, caracterizado pela temperatura média, no mês mais frio, superior a 18°C (CPRM, 2001). A principal característica é a sazonalidade, marcada pela amplitude térmica e a variação pluviométrica, principalmente entre o inverno e o verão. A média térmica do mês mais quente na região, em janeiro, é superior a 24°C.

A precipitação concentra-se entre os meses de novembro a março, com médias anuais de 1200 mm. Na porção norte da área de estudo, Patrus *et al.* (2001) analisaram dados pluviométricos de 1941/99, para o município de Lassance, com médias anuais de 1148,1mm. Ao sul, no alto da bacia do Abaeté, os dados das cidades de Abaeté e Tiros, entre 1958/99, com 1461,2mm e 1564,8mm, caracterizam a parte da bacia do Rio Abaeté que está inserida no tipo climático Cwa, mesotérmico, com verão quente e chuvoso e inverno brando.

Quanto à pluviosidade e à temperatura, diferenças significativas ocorrem entre a área da depressão e as chapadas tabulares; dados pluviométricos e de temperatura da Fazenda Formoso, localizada no alto do chapadão dos Gerais, no município de Buritizeiro, evidenciam diferenças médias superiores em 3°C e 500 mm ao ano.

Essas características hidroclimáticas incentivaram a ocupação dessas áreas com as monoculturas de pínus, que ainda ocupam significativas áreas das chapadas.

A sazonalidade (FIG.11) constitui-se como um importante fator de interferência nos estudos de metais pesados. No período chuvoso, o escoamento superficial carrega os materiais dispostos ao longo da bacia de drenagem, alterando as condições geoquímicas da água.

O maior aporte de água aumenta o poder de diluição do rio, principalmente em relação às fontes pontuais de poluição, bem como a capacidade de dispersão e distribuição dos contaminantes ao longo do canal fluvial.

FIGURA 11 - Variação sazonal do nível d'água marcada na vegetação ciliar.

A presença de uma quantidade maior de água no canal fluvial altera a velocidade do fluxo e as condições de transporte dos materiais presentes na água. A maior movimentação dos sedimentos pode ocasionar sua ressuspensão, processo pelo qual pode ocorrer a liberação de metais na água.

2.1.4 Aspectos Pedológicos

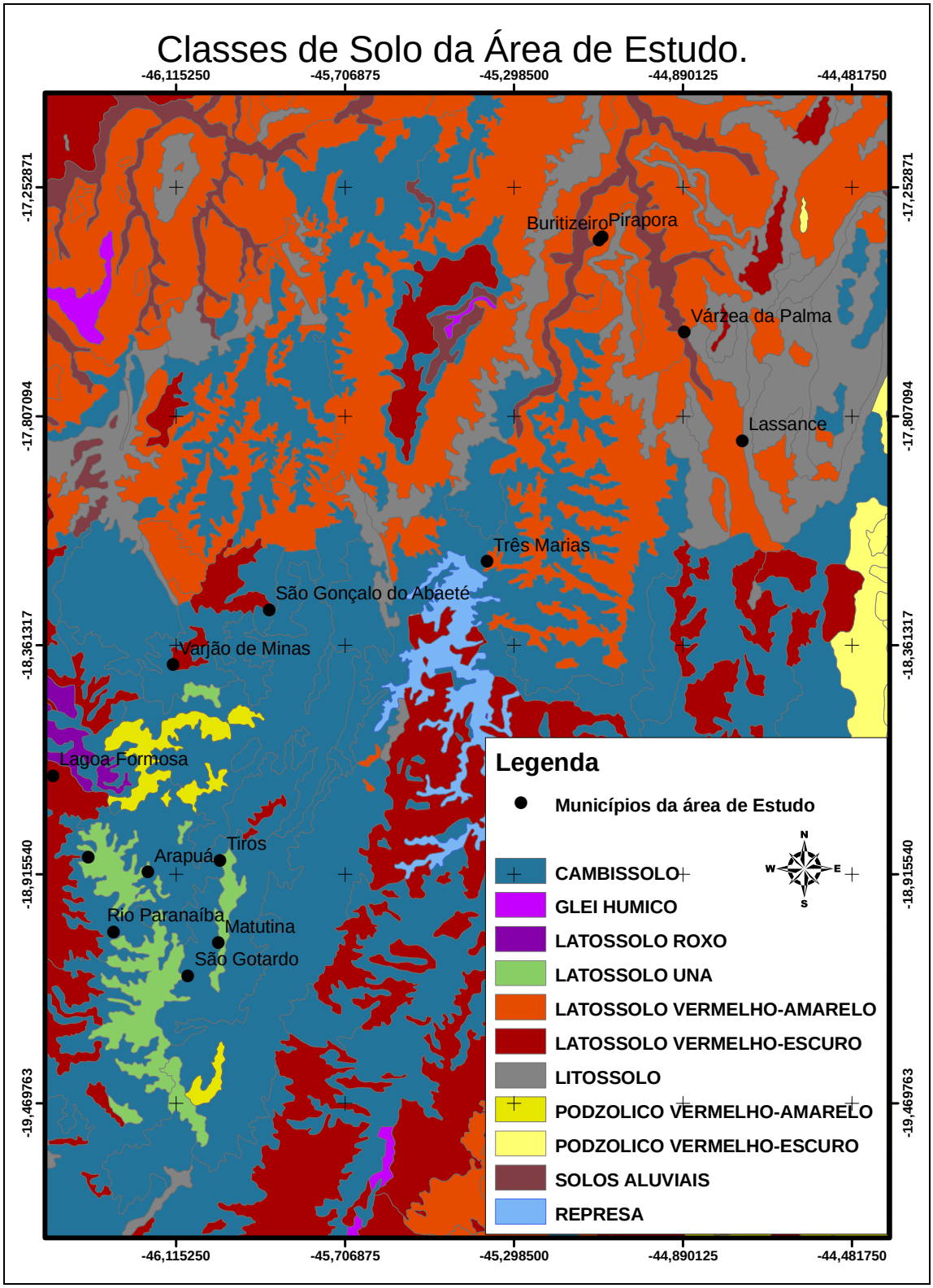


Figura 12 – Classes de Solos

Segundo a EMATER (Empresa de Assistência Técnica em Extensão Rural, 1996), no mapeamento de solos de minas (1:600.000), são descritas nove (FIG. 12) classes de solos para a área de estudo.

O Cambissolo e o Latossolo vermelho-Amarelo predominam na área de trabalho, respectivamente na porção sul (sub-bacia Abaeté) e norte (entre Três Marias e Pirapora).

Ainda na sub-bacia do Abaeté são encontrados os Latossolo-roxo e Uma além do Espodossolo vermelho-amarelo (ambos no alto-médio Abaeté). Na sub-bacia do Formoso, ocorre o Gleissolo, onde encontra - se associado às cabeceiras de drenagem em veredas.

O Latossolo vermelho-escuro ocorre nos topos das chapadas nas sub-bacias do Rio do Formoso e Abaeté. Associados aos afloramentos da formação Três Marias estão os Neossolos, que se distribuem bordejando a depressão Sanfranciscana, associados às feições geomorfológicas da superfície intermediária.

Os Neossolos flúvicos Aluviais são encontrados na planície aluvial do Rio São Francisco, desde a foz do Rio Abaeté até a montante do Rio das Velhas, e no médio curso da sub-bacia do Formoso.

Os tipos de solos podem definir padrões diferenciados nas concentrações dos metais principalmente nas áreas com atividades agrícolas mais intensas que promovem a movimentação dos elementos químicos presentes nas coberturas pedológicas.

2.1.5 Cobertura Vegetal

A área é originalmente coberta pela vegetação do cerrado (bioma) e suas gradações fitofisionômicas.

A mais recente classificação da cobertura vegetal de Minas Gerais resultou da parceria entre o Instituto Estadual de Florestas (IEF, 2005) e o Laboratório de Estudos e Projetos em manejo Florestal da Universidade Federal de Lavras (UFLA, 2005), no qual foram definidos cinco tipos vegetacionais para a região:

a) Floresta estacional semidecidual: composta por comunidades que abrangem agrupamentos florestais úmidos e estacionais semideciduais – são as florestas ciliares e de galeria ao longo dos cursos d'água;

b) Floresta estacional decidual: engloba os agrupamentos remanescentes florestais tropicais caducifólios, caracterizados como matas secas ou mesófilas;

c) Savanas: abrangem as diversas formações e fisionomias específicas que caracterizam a região do Cerrado;

d) Formações pioneiras: nessas comunidades estão incluídos os buritizais ou veredas e a vegetação de várzea;

e) Tratos antrópicos: caracterizados pelo reflorestamento com pinus e eucaliptos e sistemas agropecuários.

A presença dos subsistemas Veredas tem destaque nessa região, principalmente nos municípios de Três Marias e Buritizeiro, onde ocupam a maioria das nascentes.

Esses ambientes típicos do cerrado representam parte da biodiversidade do Bioma Cerrado e destacam-se pela sua fragilidade ambiental.

2.1.5.1 Mata ciliar

No contexto vegetacional, a mata ciliar apresenta-se como um elemento importante para a proteção dos recursos hídricos. Para Santos (2005, p. 2), a manutenção das matas ribeirinhas constitui também uma importante medida mitigadora, pois elas servem de barreira física, impedindo que sedimentos, resíduos de adubos e defensivos agrícolas alcancem os cursos d'água. A autora enfatiza que a manutenção da mata ribeirinha tem sua importância fundamentada na capacidade de fornecer estabilidade às margens dos rios, controlar a temperatura da água por intermédio do sombreamento e regular a capacidade de armazenamento da água (SANTOS, 2005, p. 12).

A retirada da cobertura vegetal é, geralmente, a primeira etapa do processo de ocupação de uma área. Para a mata ciliar, um agravante decorre da fertilidade dos solos próximos às calhas dos rios e também devido à necessidade de acesso à água para a produção agropecuária.

No segmento entre Três Marias e Pirapora, a retirada da mata ciliar foi intensa. Ao longo do perfil longitudinal do rio, uma faixa de poucos metros de vegetação ciliar se alterna com a área de produção agropecuária que pode ocupar diretamente as margens o rio.

As condições da mata ciliar variam muito ao longo do perfil longitudinal do rio. No trabalho de campo, foi possível identificar mata ciliar de grande porte, mata ciliar de médio porte, mata ciliar rala e áreas sem mata ciliar.

i) A mata ciliar de grande porte (FIG. 13) compreende segmentos onde são encontradas árvores de grande porte, que sustentam as margens do canal fluvial e compõem áreas sazonalmente inundadas.

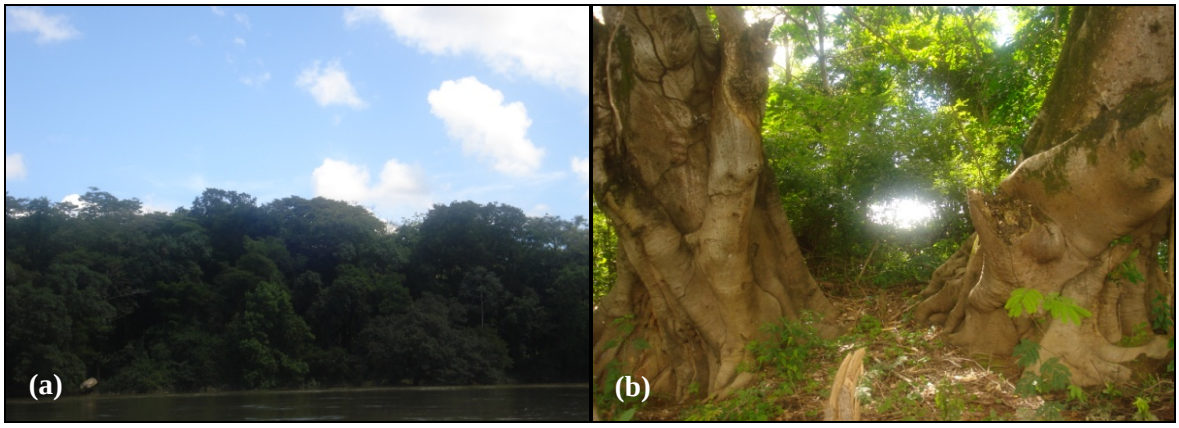


FIGURA 13 – Mata Ciliar de grande porte. a) Densidade da vegetação b) Porte dos troncos nas áreas de vegetação mais preservada

Outra característica refere-se à maior densidade da faixa de vegetação onde o acesso às margens é mais difícil devido à presença de um sub-bosque de menor porte, que ajuda na proteção da margem.

A morfologia mais dissecada (FIG. 14) e com vertentes íngremes caracteriza as áreas de mata ciliar de grande porte com maior densidade, resultando em dificuldade de acesso e ocupação.

Essas situações são encontradas na porção sul da área de estudo, próximo à cidade de Três Marias, onde o vale é bem marcado por vertentes íngremes e colinas de rampas curtas e superfícies tabulares, localizadas a poucos metros do canal fluvial.

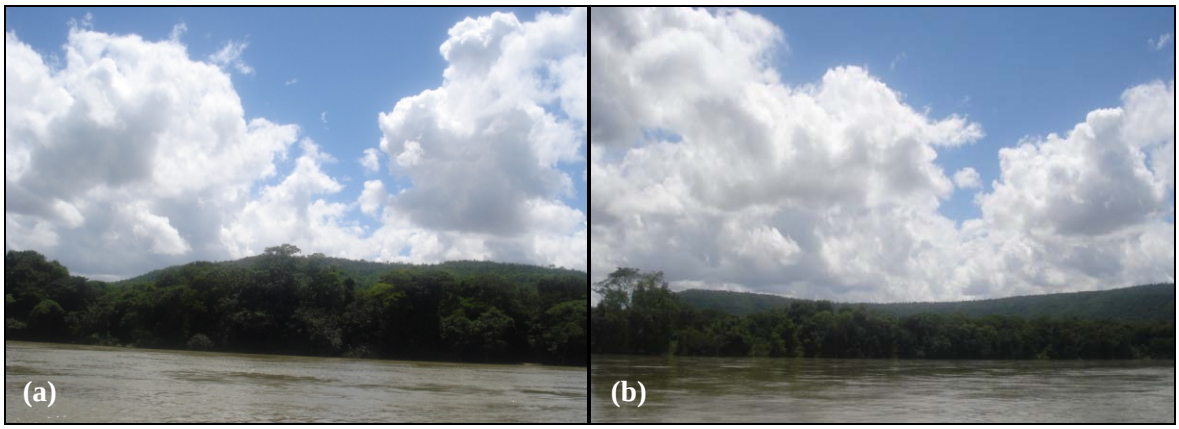


FIGURA 14 - Condições da Mata Ciliar a) Condicionante geomorfológico a preservação da mata ciliar b)Condições abruptas do relevo no vale dificultam a degradação da vegetação.

As pequenas propriedades rurais utilizadas por sitiantes, áreas de (FIG. 15), são encontradas ao longo de todo o segmento, áreas onde geralmente as matas ciliares estão relativamente preservadas, com presença de árvores de grande porte, principalmente nos sítios de melhor infraestrutura, caracterizados pela pesca de veraneio.

FIGURA 15 - Sítios localizados à margem do Rio São Francisco, próximo a Três Marias. Notar a infraestrutura das construções e a presença da vegetação à margem do rio.

ii) A mata ciliar de médio porte (FIG. 16) ocorre nas áreas das planícies, onde se verifica a presença de árvores de médio porte, associadas à vegetação de sub-bosque, que, no entanto, se restringe a uma estreita faixa ao longo do canal fluvial.

FIGURA 16 - Mata Ciliar de médio porte. Vegetação de sub-bosque densa associada às arvores de maior porte.

iii) A mata ciliar rala (FIG. 17) refere-se às áreas onde foi preservada apenas uma estreita faixa de vegetação de grande porte. Nesses locais, a vegetação é muito espaçada, sendo possível visualizar as atividades humanas desenvolvidas na área, geralmente a pecuária.

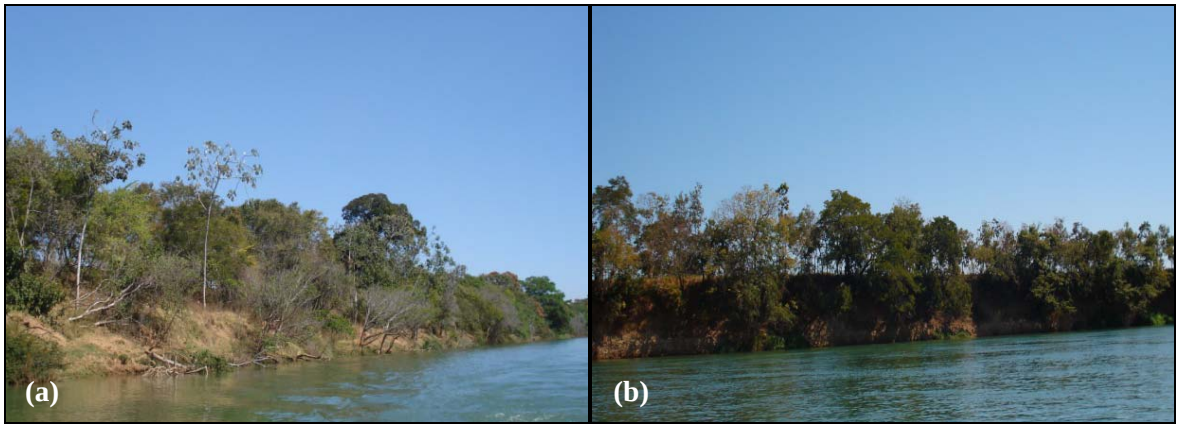


FIGURA 17 - Mata Ciliar rala. a) Baixa densidade da vegetação nas planícies b) Terraços aluviais

iv) A ausência de vegetação ciliar (FIG. 18) pode ser observada em poucos segmentos. A retirada total da mata ciliar ocorre principalmente nas áreas de agropecuária, nas comunidades ribeirinhas e centros urbanos.

A agropecuária ocupa grandes extensões da planície do Rio São Francisco, grandes fazendas, em algumas áreas ocorre a retirada completa da vegetação ciliar devido ao pastoreio do gado até a margem do rio.

FIGURA 18- Dregadação da Mata Ciliar e ocupação da planície pela agropecuária.

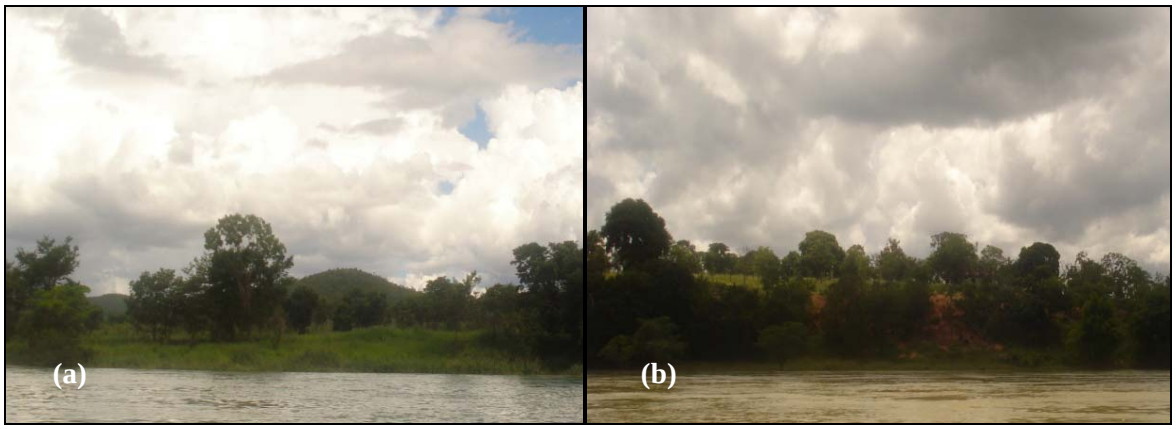


FIGURA 19 - Pastagens a) Mata Ciliar substituída por pastos à margem do Rio São Francisco próximo a Três Marias b) Pastagem ocupando os terraços aluviais.

As atividades agrícolas às margens do rio ocorrem geralmente em pequenas produções das tradicionais comunidades ribeirinhas que sobrevivem da pesca e da agricultura de subsistência, principalmente com a produção de milho, feijão, cana, banana e hortaliças.

As unidades produtivas (FIG. 20) localizam-se nas margens do rio, onde os solos são mais férteis e o acesso à água é facilitado.

FIGURA 20 - População ribeirinha entre Três Marias e Pirapora. a) Residência em pequenas propriedades b) Proximidade com o rio c) Produção de alimentos d) Colônia de pescadores.

A descaracterização da mata ciliar é completa nas áreas ocupadas pelos centros urbanos de Pirapora e Buritizeiro (FIG. 21), cuja infraestrutura urbana ocupa as margens dos rios. As indústrias metalúrgicas de Pirapora e de beneficiamento de Zinco em Três Marias também contribuem para essa paisagem antrópica nas margens do Rio São Francisco.

FIGURA 21 - Paisagens urbanas: Porção sul da cidade de Pirapora, à margem direita do RSF, e porção norte da cidade de Buritizeiro, à margem esquerda do RSF.

2.1.6 Hidrografia

A bacia hidrográfica do Rio São Francisco estende-se entre os Estados de Minas Gerais, Goiás, Bahia, Pernambuco, Alagoas, Sergipe e o Distrito Federal, em uma área de drenagem de 634.000 km², cerca de 8% do território nacional. O curso do Rio São Francisco apresenta uma extensão de 2.700km, com um perfil S-N até o norte da Bahia, onde converge na direção SE até sua Foz entre Aracaju e Maceió, com uma vazão média de 3.360m³/s.

Segundo a divisão do Plano Diretor para o Desenvolvimento do Vale do São Francisco (PLANVASF), baseado nas características fisiográficas, a bacia é compartimentada em quatro grandes áreas: O Alto (Nascentes a Pirapora), Médio (Pirapora ao Lago de Sobradinho), Submédio (Remanso a Paulo Afonso) e Baixo São Francisco (Paulo Afonso ao Oceano Atlântico (Patrus *et al*, 2001)). Segundo o CETEC (1983), em Minas Gerais, estão cerca de 39,8% da área total, que compreende o Alto São Francisco e parte do Médio São Francisco.

O Alto São Francisco engloba a área da nascente até a cidade de Pirapora, compreendendo as sub-bacias do Rio das Velhas, Paraopeba, Pará, Abaeté, Jequitaí, Indaiá e a represa de Três Marias. O Médio São Francisco vai de Pirapora até o lago de Sobradinho, á altura do Remanso, compreendendo as sub-bacias dos rios Paracatu, Urucuia, Verde Grande, Carinhanha, Correntes, Grande e Paramirim, situados em Minas Gerais e Bahia.

A área de estudo (FIG. 22) está inserida no Alto/Médio curso do São Francisco, onde a estruturação da drenagem regional e a dinâmica hidrológica estão diretamente relacionadas às litoestruturas que caracterizam a região. As principais áreas de recarga localizam-se nos aquíferos cretáceos do Grupo Areado e das coberturas arenosas do Chapadão dos Gerais; nos sopés das escarpas desenvolveram-se as cabeceiras de drenagem em ambientes de veredas, a partir das quais forma-se uma densa rede de drenagem.

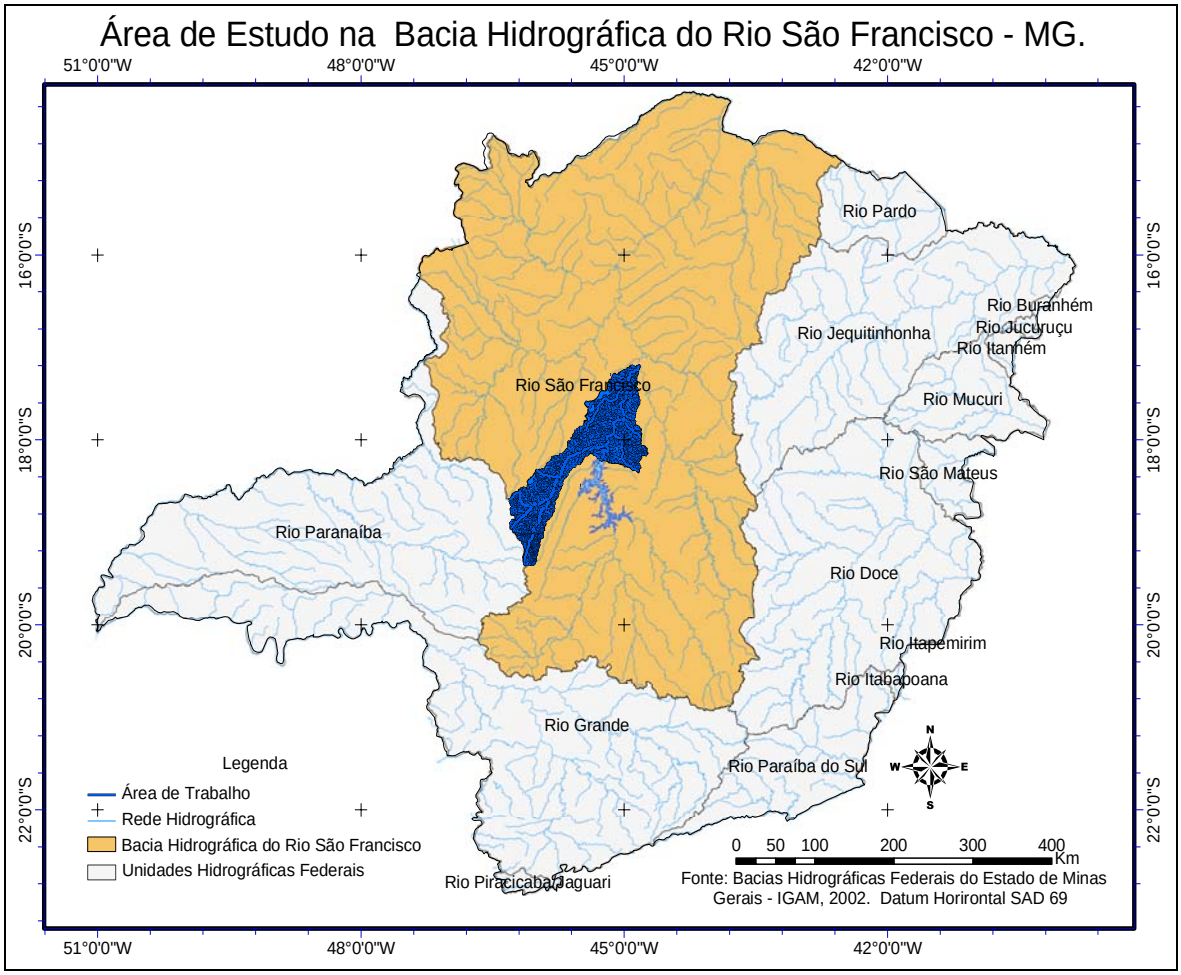


FIGURA 22 - Mapa de localização da área de estudo no contexto hidrográfico de Minas Gerais e da Bacia do Rio São Francisco.

O Rio São Francisco recebe a contribuição de um grande número de córregos e rios (FIG. 23). Dentre os maiores afluentes destacam-se, à margem direita, as sub-bacias do Rio Abaeté e Rio do Formoso, à margem esquerda, o Rio de Janeiro.

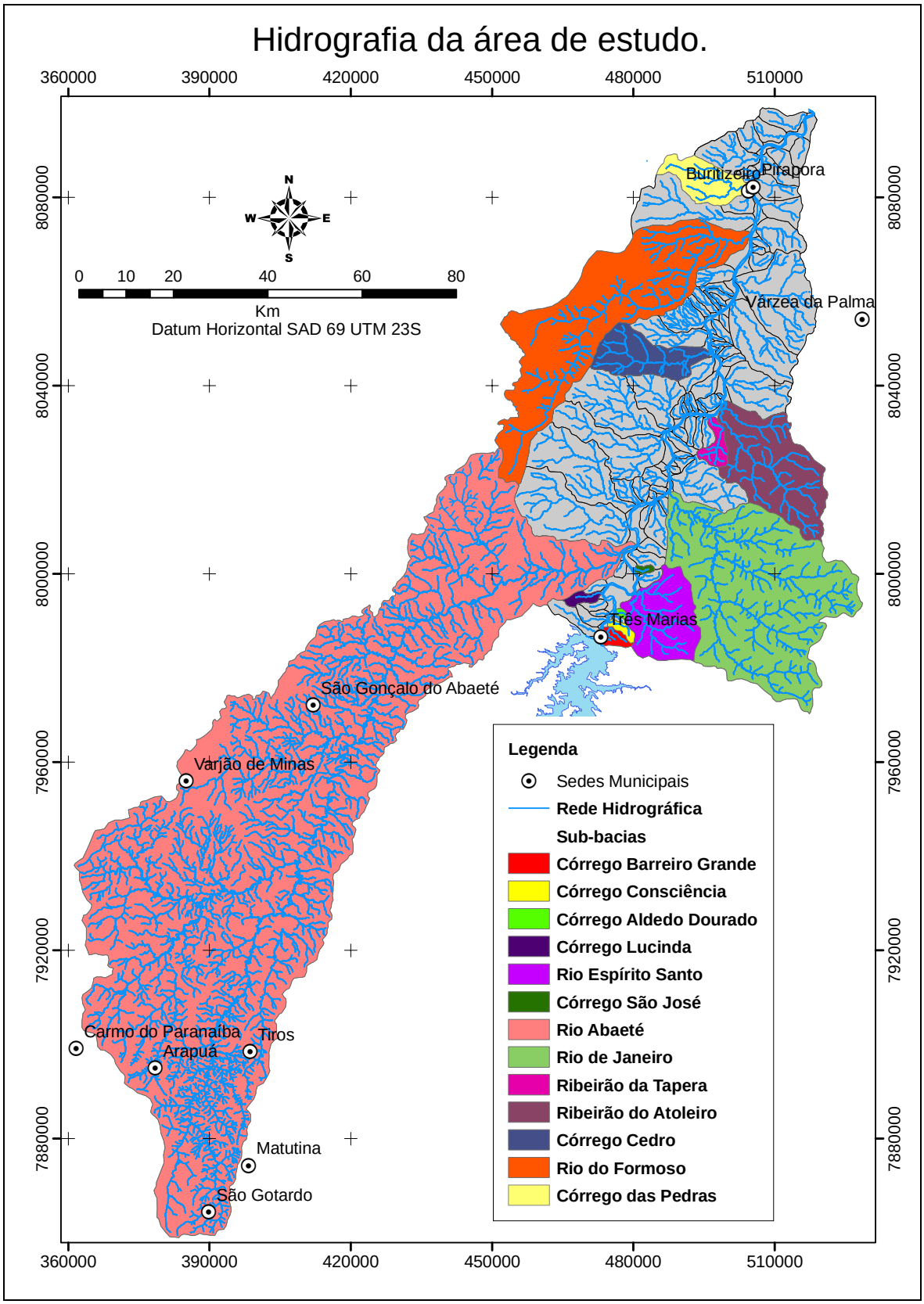


FIGURA 23 - Localização das Sub-bacias.

O Rio Abaeté, que nasce na Serra da Saudade, em São Gotardo, apresenta uma área de drenagem de 5.825 km², com um curso de 196 km, e deságua no RSF 35 km a jusante da represa de Três Marias (PATRUS *et al*, 2001, p. 298). O Rio do Formoso nasce no Chapadão dos Gerais, no município de Buritizeiro, ocupando uma área de drenagem de 826km², cerca de 90 km depois deságua no RSF próximo a Pirapora (BAGGIO, 2008). O Rio de Janeiro é o maior afluente à margem esquerda do Rio São Francisco, localiza-se na divisa dos municípios de Três Marias e Lassance, com um curso de 50 km de drenagem, sua Foz está a 54 km da represa de Três Marias.

Neste trabalho, foram percorridos 160 quilômetros do canal fluvial do Rio São Francisco, da jusante da Represa em Três Marias até a montante da Foz do Rio das Velhas.

2.1.7 Uso do Solo

O processo de ocupação da área de estudo está associado a três fatores principais: aos incentivos fiscais da Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE) na região de Pirapora, à construção da Hidrelétrica da Cemig e, posteriormente, à chegada da Companhia Mineira de Metais CMM em Três Marias.

A Hidrelétrica de Três Marias foi inaugurada em 1962, como uma das maiores barragens do país na época da construção. O estabelecimento da CEMIG tornou-se importante fonte de renda, com a geração de emprego e o desenvolvimento do comércio local; a disponibilidade de energia atraiu, então, a indústria, que se consolidou com a chegada da Companhia Mineira de Metais (CMM), dinamizando a economia regional com a formação do centro urbano.

A chegada à cidade da CMM (FIG. 24), hoje Votorantim Metais, com a indústria de beneficiamento de Zinco, trouxe significativas mudanças para a economia local e deu inicio a um histórico de contaminação, constatado para os sedimentos na década de 90, em estudos de Lundhamer *et al.* (1993).

FIGURA 24 - Planta de Beneficiamento de Zn. Barragem de rejeito de Zinco localizada à margem direita do Rio São Francisco.

O principal impacto ocasionado pela indústria de Zinco está na disposição final do rejeito, que, até a década de 80, era armazenado diretamente sobre solo e os efluentes líquidos lançados diretamente no Córrego Consciência. Em 1983, a primeira barragem de rejeito entrou em funcionamento, localizada à margem do Rio São Francisco, onde todo o resíduo do Zinco era armazenado diretamente sobre o solo, condições que persistiram até 2002.

A disposição inadequada desse material oferece risco devido à suscetibilidade de liberação de metais pesados como Zn, comprometendo a qualidade das águas, sedimentos e solos, além disso, uma grande quantidade desse material era carreado pelo escoamento superficial durante o período chuvoso. Atualmente, existe um sistema de drenagem das águas e dos sólidos nessa primeira barragem, o material coletado pelo dique é lançado para a estação de tratamento de efluentes e, posteriormente, a água e lançada no Rio São Francisco em condições ambientalmente regulamentadas.

Em 2002, começou a funcionar a segunda barragem, localizada no Córrego da Passagem, a 6 km da planta, atendendo às exigências dos órgãos ambientais; o material que chega à barragem passa por um processo de flotagem, que retira os metais, diminuindo o risco ambiental.

Além do cenário industrial do beneficiamento de Zinco, existe na região uma intensa produtividade com pecuária extensiva; as monoculturas de eucalipto também ocupam os topos das chapadas, principalmente na sub-bacia do Rio de Janeiro.

Na sub-bacia do Rio Abaeté, são desenvolvidas atividades de garimpo de diamante. A procura pelo ouro de aluvião ocorre nos depósitos conglomerados da Formação Abaeté ao longo do canal do fluvial e nos antigos terraços aluviais.

Nos municípios de Buritizeiro, Pirapora, Várzea da Palma e Lassance, o desenvolvimento do uso e ocupação do solo veio associado às ações da SUDENE, chamando a atenção para a região com a isenção de impostos.

A expansão da Fronteira agrícola no Brasil, principalmente nos Cerrados, teve significativa atuação em Minas Gerais. Segundo Baggio (2002), a partir das décadas de 60 e 70, os governos federal e estadual procuraram desenvolver as atividades agropecuárias por meio do estabelecimento de políticas públicas governamentais, que tinham como objetivo a melhoria das condições produtivas para tornar possível o aumento da produção e o abastecimento do mercado interno, e também para proporcionar a liberação de grande quantidade de mão de obra que pudesse viabilizar o processo de industrialização que se ampliava.

A SUDENE foi criada em 1959, tendo como finalidade promover o desenvolvimento do Nordeste, atuando no planejamento e na coordenação de investimentos federais. O Norte de Minas foi incluído na área de atuação da SUDENE no ano de sua criação. Baggio (2002) destaca que, em Minas Gerais, a indústria e a agropecuária tornaram-se os setores em que mais se investiu. O primeiro trouxe modificações na estrutura industrial de Pirapora e Várzea da Palma, proporcionando o surgimento de um polo industrial dinâmico e atuante. O segundo teve recursos direcionados para o setor agropecuário e agroindustrial e seus vários segmentos. Os municípios concentradores desses recursos foram Buritizeiro, Pirapora, Manga e Janaúba. O autor enfatiza que tanto o setor industrial quanto o setor agropecuário foram estimulados pelas políticas de incentivos fiscais e financeiros adotadas pelo Governo Federal e Estadual, com somas de investimentos bastante significativas. A presença desses investimentos tem grande representatividade na realidade econômica da região.

O processo de ocupação deu início à supressão da cobertura vegetal de cerrado, usado na produção de carvão vegetal, utilizado para atender às indústrias metalúrgicas que se instalaram em Pirapora e Várzea da Palma.

Na década de 60/70, inicia-se a ocupação das chapadas com a silvicultura; as grandes produções de eucalipto destinavam-se à produção de carvão vegetal. As plantações de Pinus foram viabilizadas devido às características climáticas das chapadas e visavam atender à produção de biodiesel no Triângulo mineiro.

Em Pirapora, no setor agrícola, destaca-se o projeto de fruticultura, principalmente na produção de uva. A produção frutícola da região desenvolveu-se a partir de um projeto de irrigação (FIG.25) da Companhia de desenvolvimento do Vale do São Francisco (CODEVASF). Atualmente, além da conhecida produção de uva, são produzidos vários outros tipos de frutas, como laranja, tangerina, mamão etc. Nesta área o risco para os recursos hídricos relaciona-se com o manejo de agroquímicos usado na produção.

FIGURA 25 - Área da captação de água da CODEVASF, destinada ao projeto de fruticultura, localizado no município de Pirapora.

O setor industrial tem papel central na economia regional, impactando diretamente a população de Pirapora e Buritizeiro.

Um primeiro segmento da produção industrial refere-se à metalurgia, com a produção de silício metálico e Ferro Silício em três metalúrgicas. Do ponto de vista ambiental, há duas problemáticas principais: a emissão dos particulados atmosféricos (FIG.26), com impacto direto na população local, devido ao contato com a fumaça; esse material pode ainda precipitar-se nas plantas, no solo e na lâmina d'água e, eventualmente, ocorrer a liberação de metais pesados.

A distribuição dos particulados industriais varia ao longo do dia em função dos condicionantes atmosféricos, da direção dos ventos e da temperatura. Horn *et al.* (2009) identificaram contaminação por Co, Cd, Cr, Ni, Cd e Be nos solos da região de Várzea da Palma, fato relacionado aos particulados atmosféricos (mesmos processos industriais), que também afetam as plantas, dificultando a fotossíntese.

FIGURA 26 - Metalúrgicas do distrito industrial de Pirapora mostrando a emissão de particulados atmosféricos. Porção norte do Município.

Um segundo setor industrial é das têxteis, com três unidades de produção também localizadas no distrito industrial (FG. 27). O impacto ambiental refere-se à produção do efluente liquido industrial, usado no processo de tinturaria.

FIGURA 27 - Efluente liquido industrial em Pirapora. Ponto de lançamento localizado no Distrito Industrial.

Atualmente, existe uma estação de tratamento de efluente, no entanto o processo não inclui a remoção de metais pesados, e a população questiona o odor e a cor

do efluente lançado no rio em determinados períodos e dias da semana, situação que vem sendo investigada pelo Ministério Público.

Em Buritizeiro, as monoculturas se diversificaram. Além da presença da silvicultura, com as plantações de pínus e eucalipto, a soja, o milho, o café e o algodão são responsáveis pela representativa produção de grãos da região. Associados a essas atividades, desenvolvem-se impactos de natureza física e química.

No âmbito físico, os processos erosivos ocorrem principalmente associados às monoculturas de pínus e eucalipto, apresentando processos de arenização e feições de erosão laminar e em sulcos, que evoluem para voçorocas, desencadeando assoreamento das drenagens e veredas.

Quanto aos impactos de natureza química, os estudos ainda são incipientes, no entanto os estudos realizados na bacia do Rio do Formoso evidenciaram contaminação por metais pesados associada à agricultura. Além disso, a intensa utilização de agroquímicos alerta para a necessidade de se investigar o impacto da entrada dessas substâncias no ambiente e o seu potencial na liberação de contaminantes orgânicos e inorgânicos.

O mapa de uso e cobertura do solo de 1985 (FIG. 28) mostra as primeiras transformações da paisagem regional. As áreas ocupadas pelas monoculturas de pinus e eucalipto podem ser observadas em meio à ampla distribuição da cobertura vegetal original do cerrado.

O mapa de 2008 (FIG. 29) mostra a diversificação das atividades agrícolas na área em estudo. A produção de grãos e a agricultura irrigada em pivô central se expandiram, com destaque para a soja e o café.

Os últimos 50 anos marcaram a história da região em estudo. A chegada de investimentos federais e o desenvolvimento agropecuário e industrial fundamentaram o uso e ocupação do solo e a estruturação urbana. Os problemas ambientais chamam a atenção para a necessidade de intervenção para que haja um uso sustentável dos recursos naturais.

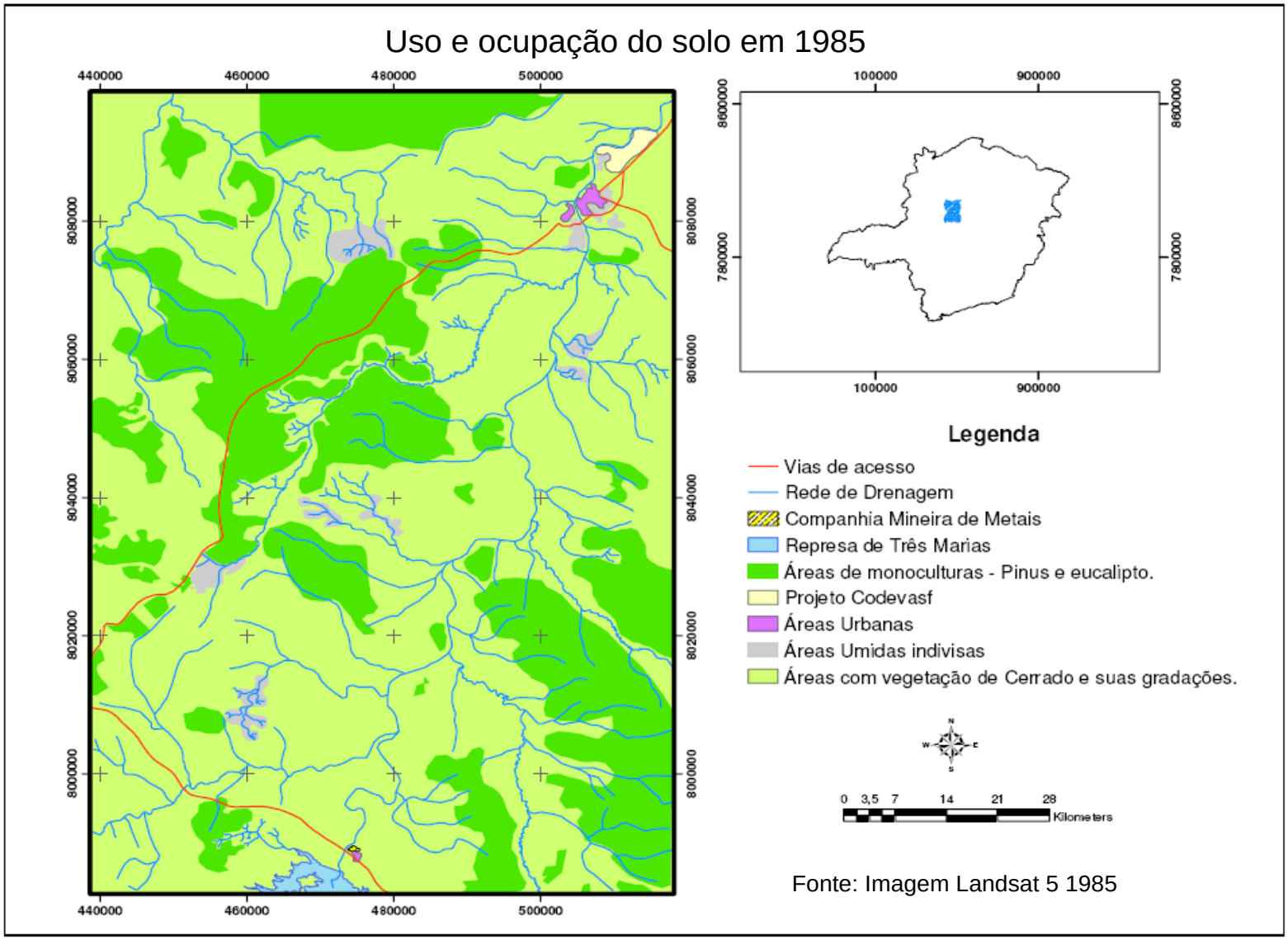


FIGURA 28 - Mapa de Uso e Cobertura dos solos em 1985.

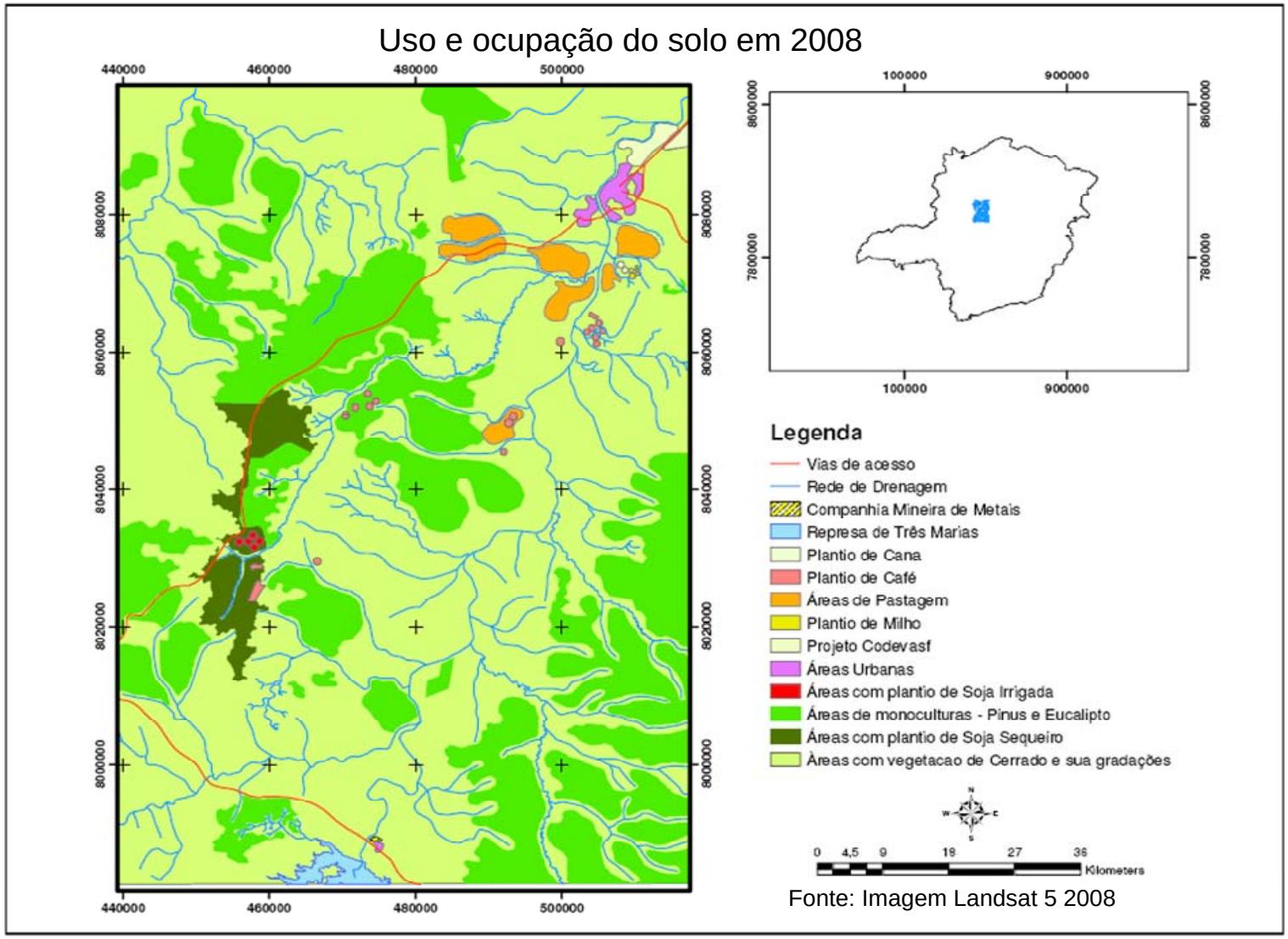


FIGURA 29 - Mapa de Uso e Cobertura dos solos em 2008.

2.1.8 População

O crescimento populacional (GRAF. 1) acompanhou a evolução econômica da região, marcadamente, como em todo Brasil, com o crescimento industrial e agropecuário. No gráfico abaixo, pode ser observado o contínuo crescimento da população regional, principalmente nas décadas de 70 e 80.

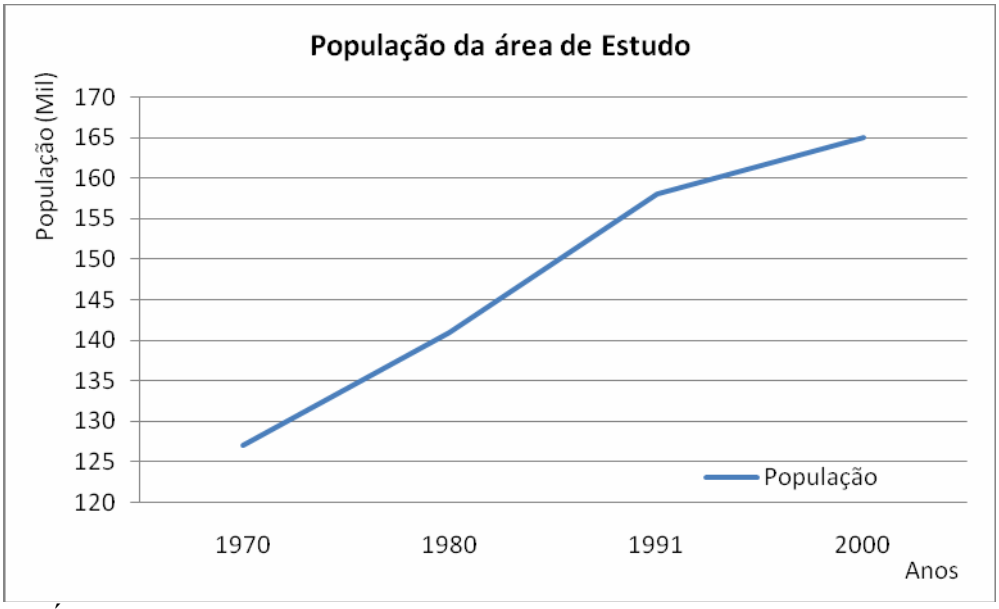


GRÁFICO 1 - Evolução demográfica da área de estudo entre 1970 e 2000.
Fonte: IBGE, 2000.

No cálculo da população, foram consideradas a população rural e a urbana dos municípios, tendo como referência a localização da sede municipal (GRAF. 2). Para os municípios de Arapuá, São Gotardo, Tiros, Varjão de Minas, São Gonçalo do Abaeté, Três Marias, Buritizeiro e Pirapora, foi considerada a população urbana. Os municípios de Matutina, Carmo do Paranaíba, Rio Paranaíba, Lagoa Formosa, Patos de Minas, Lassance e Várzea da Palma contribuem com a população rural.

Nos municípios onde foram consideradas as populações rurais, pode-se observar, o declínio da população no período analisado, evidenciando o característico êxodo rural brasileiro. O crescimento populacional entre 1970 e 2000 reflete o expressivo crescimento do espaço urbano brasileiro nesse período.

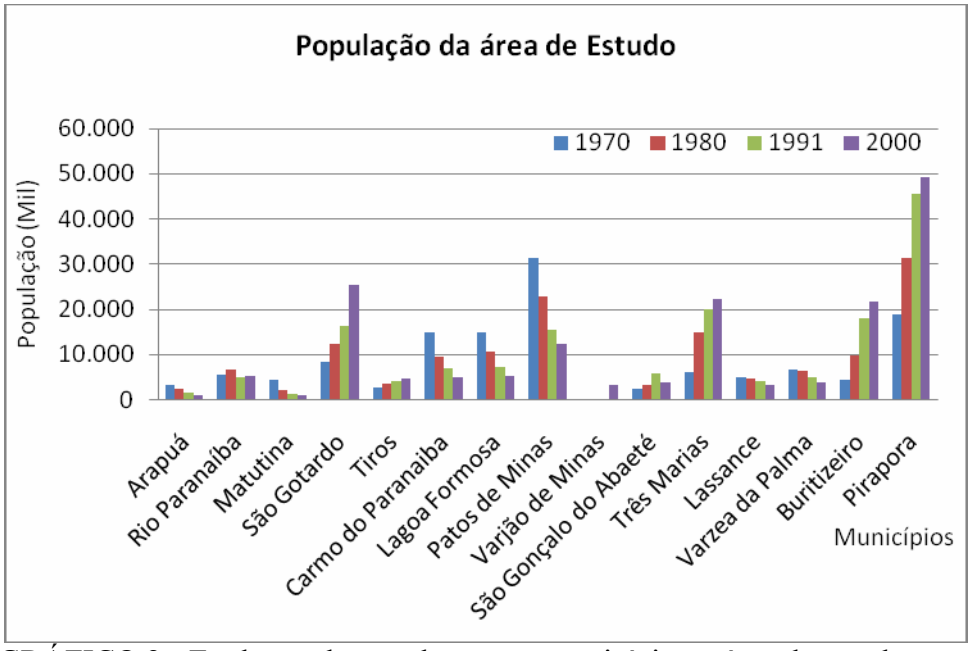


GRÁFICO 2 - Evolução da população por município na área de estudo no período de 1970 a 2000.

Fonte: IBGE, 2000.

As comunidades rurais (FIG. 30) podem ser agrupadas em duas principais: pescadores ribeirinhos e agricultores. As comunidades ribeirinhas caracterizam o vale do São Francisco, compostas por pescadores, cuja principal fonte de renda é a pesca artesanal e a profissional, com as residências localizadas às margens do canal fluvial. Atualmente, essas comunidades de pescadores vêm se organizando em colônias, viabilizando o acesso a recursos governamentais, principalmente durante a piracema.

FIGURA 30 - Comunidade de pescadores localizada às margens do Rio São Francisco.

Nas comunidades rurais, a produção agrícola ainda é uma das principais fontes de renda; no contexto ambiental, destaca-se a ausência de tratamento dos esgotos domésticos e a intensificação do uso de defensivos agrícolas e agroquímicos.

3.0 QUALIDADE DA ÁGUA E METAIS PESADOS

A existência e a manutenção da vida na Terra estão condicionadas à existência de água doce. Grande parte dessas águas está armazenada no lençol freático, rios e lagos, que são responsáveis pela manutenção dos ecossistemas continentais.

Libâneo (2008, p.11-12) afirma que a ínfima parcela de água referente aos cursos d'água superficiais se constitui no principal manancial de abastecimento humano e no meio receptor mais usualmente empregado para lançamento de esgotos. Diversas características das águas naturais advêm da sua capacidade de dissolução de minerais, diferenciando-as quanto às características dos solos por onde fluem.

Barbosa e Barreto (2008, p.14) destacam a essencialidade da água para a vida terrestre, sua característica como solvente universal e sua participação na organização dos ecossistemas silvestres (vegetais e animais) e das populações humanas. Os autores salientam a necessidade do homem, como gestor, de respeitar os direitos dos demais organismos.

> Á água, como fator estruturador do espaço e condicionador da localização e dinâmica das atividades humanas, possui importância estratégica no desenvolvimento e expansão dos povos. A situação de rarefação dos estoques hídricos, em qualidade e quantidade, trouxe novas exigências de integração de esforços na gestão racional dos usos da água. (MAGALHÃES Jr, 2007, p. 41-42)

A intensificação das atividades humanas numa bacia hidrográfica resulta no aumento da pressão sobre os recursos hídricos, caracterizando índices de poluição e contaminação das águas. Atualmente, a preocupação e o compromisso com a qualidade implicam na preservação e conservação dos recursos naturais na busca da qualidade de vida por meio da proteção do meio físico, químico e biológico.

Processos naturais e antrópicos podem alterar as características da água, afetando a sua qualidade. Segundo Von Sperling (2007, p. 23), a qualidade da água é resultante de fenômenos naturais e da atuação do homem, ou seja, do uso e da ocupação do solo.

A qualidade das águas depende das condições geológicas, geomorfológicas e de cobertura vegetal da bacia de drenagem, do comportamento dos ecossistemas terrestres e de águas doces e das ações do homem. As ações humanas que mais podem alterar a

qualidade da água são o lançamento de cargas poluentes nos sistemas hídricos, a alteração do uso do solo rural e as modificações e intervenções diretas em um sistema fluvial. (TUCCI, 2002, p. 47)

Em relação ao conceito de qualidade da água, Bayo[2] (1999, apud Magalhães Jr, 2007) ressalta que: a qualidade não é um conceito objetivo e universal e depende da sua aplicação. Também salienta que a qualidade da água refere-se a um momento e lugar determinados, devendo estar associada a uma quantidade de água específica. Nesse sentido, a qualidade não é um atributo divisível, não sendo possível estimar a qualidade média de duas amostras de água a partir de seus índices individuais. Discutir a qualidade da água coloca em foco as diferentes variáveis que exercem influência sobre os corpos hídricos, naturais ou antropogênicos.

As variações sazonais e espaciais da qualidade da água em um corpo hídrico decorrem de processos internos e externos aos corpos de água. Para Porto(1991), a alteração da qualidade da água representa uma das maiores evidências das atividades humanas sobre a biosfera.

A qualidade também está relacionada ao uso a que se destina. Os usos específicos definem os requisitos de qualidade bem como o nível de impacto decorrente. Os principais usos incluem o abastecimento doméstico, industrial, irrigação, dessedentação de animais, preservação da fauna e flora, recreação e lazer, criação de espécies, geração de energia, navegação, harmonia paisagística, diluição e transporte de despejos.

A interação entre uso e qualidade requerida, no entanto, deve considerar os usos múltiplos previstos para os diversos corpos d'água, decorrendo daí a necessidade da satisfação simultânea de diferentes critérios de qualidade. A isenção de substâncias químicas tóxicas prejudiciais à saúde humana, animal e vegetal, bem como aos solos, é uma requisição de qualidade para a maioria dos usos da água, principalmente os de contato direto.

A alteração da qualidade da água por fenômenos naturais é bem visualizada nas áreas tropicais pelo escoamento superficial. O carreamento de materiais dissolvidos e em suspensão altera visivelmente algumas características físicas da água, enquanto a dissolução das rochas define a qualidade natural das águas.

A degradação da qualidade das águas pelas atividades humanas decorre da poluição e da contaminação. É necessário esclarecer que esses termos, comumente usados

---

[2] BAYO, M. A-A. *Indicador de Calidad de las Aguas.* TAU Consultoria Ambiental. 1999.

como sinônimos, por se referirem à mudança nas características da água, definem condições diferentes. A contaminação relaciona-se à constituição ou à presença de substâncias ou elementos nocivos à vida não perceptíveis pelos sentidos humanos; a poluição está associada a impactos estéticos, ecológicos e fisiológicos, à aparência definida pela visão e olfato humano. Esses processos podem ocorrer associados ou não.

> É conveniente destacar a distinção conceitual que se faz entre poluição e contaminação. Num conceito amplo do ponto de vista sanitário, considera-se poluição a alteração das propriedades físicas, químicas, radiológicas ou biológicas naturais do meio ambiente (ar,água e solo), causada por qualquer forma de energia ou por qualquer substância sólida,líquida ou gasosa, ou combinação de elementos, em níveis capazes de, direta ou indiretamente: a) ser prejudicial à saúde, à segurança e ao bem-estar das populações; b) criar condições inadequadas para fins domésticos, agropecuários, industriais e outros, prejudicando assim as atividades sociais ou econômicas; ou c) ocasionar danos relevantes à fauna, à flora e a outros recursos naturais. A contaminação tem recebido uma definição mais restrita ao uso da água como alimento. O lançamento de elementos que sejam diretamente nocivos à saúde do homem ou de animais, bem como a vegetais que consomem esta água, independentemente do fato destes viverem ou não no ambiente aquático, constitui contaminação. Assim, a contaminação constitui um caso particular de poluição da água. (FERREIRA e PÁDUA , 2006, p.66)

Poluição corresponde a toda alteração que prejudica as características originais do meio ambiente, de forma a afetar a saúde, a segurança e o bem-estar da população, criando obstáculos ao desenvolvimento de atividades sócio-econômicas e causando danos à fauna, à flora e aos recursos naturais (BENETTI; BIDONE, 2001). Von Sperling (2005) conceitua a poluição das águas como a adição de substâncias ou formas de energia que, direta ou indiretamente, alterem a natureza do corpo d'água de uma maneira tal que prejudique os legítimos usos que dele são feitos.

No entanto ainda persiste um conceito visual que está associado ao próprio significado do verbo poluir: sujar diretamente, relacionado à visão humana.

Para Braga (2002, p. 81), a alteração da qualidade da água não está necessariamente ligada somente a aspectos estéticos, já que a água de aparência satisfatória para um determinado uso pode conter micro-organismos patogênicos e substâncias tóxicas para determinadas espécies, e águas com aspecto desagradável podem ter determinados usos. A noção de poluição deve estar associada ao uso que se faz da água. A ocorrência de contaminação não implica necessariamente em um desequilíbrio ecológico. Assim a presença na água de organismos patogênicos prejudiciais ao homem não significa que o

meio ambiente aquático esteja ecologicamente desequilibrado. De maneira análoga, a ocorrência de poluição não implica necessariamente em riscos à saúde de todos os organismos que fazem uso dos recursos hídricos afetados.

> Poluir significa conspurcar, sujar, advindo do verbo latino *polluere,* enquanto contaminar significa envenenar, infectar, também da origem latina *contaminare.* Em um conceito mais conservador, quase purista, poluição seria toda alteração produzida no meio aquático, e nesse viés hipotético lançamento de água tratada no oceano pode ser classificado como poluição. Em um conceito mais moderno, poluição indica a ocorrência de alterações prejudiciais ao meio ambiente aquático, e quando tais alterações colocam em risco a saúde dos elementos da biota ou do ser humano que dele faz uso, a poluição passa a denominar-se contaminação. Em outras palavras, pode-se poluir um corpo d'água sem necessariamente contaminá-lo, mas a ocorrência da contaminação como conseqüência de alguma ação antrópica estará sempre associada a poluição (LIBÂNEO, 2008 p. 71)

A atuação antropogênica nem sempre está associada à contaminação já que as águas podem estar contaminadas, mesmo sem terem sofrido nenhuma forma de poluição.

A poluição e a contaminação são fenômenos que englobam os diferentes tipos de processos e elementos que atuam na degradação da água. Para Fellenberg (1980, p. 2), o crescimento da população, a produção de alimentos, a intensificação da agricultura com o uso de fertilizantes, a necessidade de produtos químicos e a industrialização têm uma relação direta com a poluição e o comprometimento ambiental por substâncias tóxicas, que foi se agravando, fundamentado no poder de diluição[3] das águas dos rios e lagos, baseado no contínuo recebimento de água limpa e descarga da poluição nos oceanos.

As ideias de assimilação dos produtos químicos e a transformação natural em substâncias não prejudiciais ou da diluição como eliminação do risco para a vida persistiram até a década de 60 e 70, quando se percebeu que muitos poluentes não são alterados por processos naturais físicos, químicos ou biológicos durante um longo período de tempo (BAIRD, 2002). A partir da consciência da poluição humana, começam a se difundir questões relacionadas a essa problemática ambiental.

---

[3] Nesse sentido a sensibilidade da água aos impactos antrópicos é inversamente proporcional à diluição(resulta da relação entre o volume de carga poluente e o volume de diluição), à difusão turbulenta (capacidade do corpo recipiente em misturar uma descarga poluente), à dispersão(fenômeno resultante dos processos de convecção ou advecção, cujo resultado é um aumento da eficiência dos processos de mistura) e a autodepuração (fenômeno que representa a eficiência do corpo recipiente em transferir o oxigênio dissolvido da atmosfera para a água). (MAGALHÃES Jr, 2007 p. 214)

Essa interferência das ações humanas pode ocorrer de forma concentrada ou dispersa de acordo com a existência das fontes de poluição pontual ou difusa. A crescente preocupação com a gestão ambiental tem conduzido a estudos para a determinação e a identificação de fontes de poluição e seus impactos nos corpos hídricos.

A poluição pontual tem como característica fundamental a possibilidade de identificação e relação com a fonte a partir da determinação dos componentes tóxicos presentes. O lançamento localizado espacialmente em um ponto, com quantidade e características passíveis de quantificação, como o lançamento concentrado de efluentes líquidos domésticos e industriais, é exemplo da poluição pontual.

A poluição difusa refere-se aos poluentes que são carreados e depositados ao longo dos cursos d'água, a exemplo dos materiais transportados pela drenagem pluvial, seja de origem agrícola, urbana ou dos particulados atmosféricos, tendo como agentes de transporte o escoamento superficial e subsuperficial. Santos (2005, p. 2) destaca que, nesse caso, a identificação e a quantificação do tipo de poluente e sua provável fonte de contaminação constituem um procedimento complexo, sobretudo por abranger extensas áreas e por se tratar de um processo aparentemente imperceptível. Dessa forma, a manutenção da qualidade da água está relacionada à redução das cargas poluidoras em suas origens, tanto da poluição pontual como difusa, pois a dificuldade de manejo aumenta com a diluição dos poluentes e distanciamento desses em relação à sua fonte.

As atividades humanas representam, por meio do uso das águas e do uso e cobertura do solo, o principal fator que contribui para a degradação dos recursos hídricos. Dentre os focos de poluição pontual e difusa estão os esgotos domésticos e industriais e compostos químicos tóxicos derivados de atividades industriais (Basnyat *et al.*[4], 1999 apud Santos, 2005, p. 1). Essa influência do uso e cobertura do solo na QA varia em termos espaço-temporais. O fator espacial está relacionado à localização geográfica das fontes impactantes, como indústrias, centros urbanos e áreas agrícolas. O fator sazonal está associado à pluviosidade e vazão dos rios, influenciando em parâmetros de qualidade como turbidez, pH, sólidos totais dissolvidos e sólidos em suspensão.

Dentre as diversas atividades humanas, algumas se destacam pela extensão das áreas ocupadas bem como pelos impactos inerentes. O cultivo do eucalipto provoca impactos tais como a redução da biodiversidade, o aumento do consumo de água e de

---

[4] BASNYAT, P. *et al*. The use of remote sensing and GIS em warshed level analyses of non point source pollution problems forest ecology and management, 128: 65-73

nutrientes, perda da fertilidade dos solos e redução da meteria orgânica devido ao rápido crescimento vegetal. A mudança da paisagem regional cria um ambiente homogêneo e suscetível ao aparecimento de pragas, levando ao aumento no consumo de fertilizantes e de agrotóxicos, especialmente herbicidas, inseticidas e formicidas, o que prejudica a integridade dos rios e ameaça a saúde humana. (Barbieri *et al.*, 1997 [5]apud Santos, 2005).

Nas grandes produções agrícolas, principalmente nas de grãos como soja, milho, café e algodão, os impactos de natureza química advêm do intenso uso de agroquímicos que auxiliam na produção em grande escala, maximizando a produtividade. Neste sentido, tem-se a contaminação direta dos solos e das águas pelo material carreado e percolado até os mananciais. Além disso, a estrutura dos solos é afetada pela intensidade dos usos e pela pouca cobertura vegetal, ocasionando o aumento da carga sedimentar carreada pelo escoamento superficial.

O sistema brasileiro de produção pecuária ainda é muito precário, e a produção extensiva leva à degradação de extensas áreas. A degradação dos solos pelos processos de compactação e erosão é o mais evidente impacto do pisoteio do gado. Em termos químicos, deve-se destacar a contaminação pontual da água em locais destinados à dessedentação humana e animal, podendo ocorrer, ainda, a contaminação microbiológica originada das fezes presentes nos pastos.

O escoamento pluvial urbano é uma importante fonte de contaminantes aos corpos hídricos, além dos conhecidos problemas da contaminação oriunda dos esgotos domésticos sem tratamento e da disposição final dos resíduos sólidos.

Na mineração, os impactos estão diretamente relacionados às características das lavras subterrâneas ou a céu aberto, bem como do material explorado (% de pureza do minério). No entanto, são comuns os impactos diretos na paisagem e a liberação de contaminantes químicos na água e nos solos, impactos esses condicionados pela própria localização das jazidas minerais. A drenagem ácida, com a liberação de metais pesados, é um dos problemas ambientais mais conhecidos na mineração.

Para os diferentes processos industriais, a localização das unidades produtivas é condicionada pela disponibilidade de água, que é usada em grandes quantidades nos processos de beneficiamento de minério. A quantidade de água desprendida nos processos industriais vem sendo atenuada pelos processos de recirculação. A contaminação da água por metais pesados é um dos principais problemas associados aos processos industriais.

---

[5] BARBIERI *et al*. Atividades antrópicas e impactos ambientais, biodiversidade, populações e economia: uma região da Mata Atlântica (Paula J.A). Belo Horizonte, Minas Gerais, p 273 – 343.

Essa contaminação é acentuada com o contato direto dos metais com a água, como na hidrometalurgia. Ciminelli e Barbosa (2008, p. 47) destacam que metais com elevado valor agregado (Cu, Ni, Zn) geram resíduos cerca de dez vezes maiores do que a quantidade do minério produzido. Em função da sua natureza, composição e forma de disposição, os resíduos sólidos e efluentes aquosos irão impactar, em maior ou menor grau, os recursos hídricos da área.

As indústrias estão entre as maiores fontes de contaminantes do ambiente. Dependendo da quantidade de material lançando nos solos e dos corpos hídricos, essas áreas são inutilizadas devido aos altos níveis de contaminação. Os contaminantes químicos inorgânicos têm sido o grande desafio da engenharia de produção, visando reduzir o estéreo e os rejeitos do processamento industrial. Os sistemas de reciclagem de água, as bacias de contenção e os filtros de ar são exemplos de técnicas que representam avanços ambientais nesse setor.

Os diferentes tipos de degradação da qualidade da água interferem nos ecossistemas, podendo alterar sua biodiversidade, além de afetar a vida humana (BARBOSA; BARBOSA, 2008).

A degradação da qualidade dos recursos hídricos está entre as principais causas de conflitos pelo uso da água descritos por Lanna (2001), sendo essencial discussões sobre o planejamento e a gestão dos recursos hídricos.

Outra discussão importante refere-se à agregação de valor econômico, político, social e ecológico à água, com destaque para o seu papel como *commodity* do século XXI, considerando a capacidade desse recurso de exercer considerável influência e poder nas relações humanas (BARBOSA; BARRETO, 2008, p. 18). Nesse contexto, é reforçada a importância da qualidade da água nas relações sociais, econômicas e ambientais. Nesse sentido, o século XX marcou a concepção da água como recurso econômico e a adoção do princípio de cobrança pelo seu uso (MAGALHÃES Jr, 2007, p . 43) e pela poluição (princípio poluidor-pagador), aspectos bastante discutidos em âmbito nacional e internacional.

Na gestão ambiental, em geral, e especificamente nos recursos hídricos, a definição da bacia hidrográfica, como unidade de gestão e planejamento, representa um passo significativo nos estudos de qualidade da água. A bacia hidrográfica, como unidade territorial de implementação da Política Nacional dos Recursos Hídricos (PNRH) e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos (SNGRH), é um dos fundamentos da Lei das Águas de 1997.

Tundisi et al (2008) ressaltam as características essenciais que tornam a bacia hidrográfica uma unidade bem definida do ponto de vista biogeofisiográfico e em relação a planos de gerenciamento.

3.1 Gestão da Qualidade da Água e Indicadores Ambientais

No Brasil, a gestão dos recursos hídricos inicia-se com o Código das Águas em 1934. Com a Lei 9.433/97, conhecida como "Lei das Águas", foi incorporado o princípio do aproveitamento múltiplo e integrado dos recursos hídricos, contemplando, simultaneamente, aspectos quantitativos e qualitativos de avaliação das águas.

Magalhães Jr (2007, p. 39) destaca que o atual SNGRH tem, entre seus princípios mais difundidos, a descentralização e a participação social em nível de organismos de bacia. Porém, os Comitês de Bacias Hidrográficas (CBHs) dependem, entre outros fatores, da disponibilidade, da qualidade e da forma de tratamento e utilização de dados em escalas adequadas, ou seja, os CBHs dependem da qualidade informacional dos dados (capacidade de transmitir conhecimento), contexto no qual os indicadores ambientais têm papel estratégico.

A década de 1980 marcou a intensificação dos processos de monitoramento das águas no Brasil, e os modelos de gerenciamento dos recursos hídricos vieram responder à intensificação da degradação da água em quantidade e qualidade, conjugados à pressão social, nacional e internacional. Nesse contexto, os indicadores ganharam importância, já que fornecem informações sobre elementos e fenômenos da realidade. Magalhães Jr (2003, 2007) destaca que os indicadores são informações quantitativas de uma situação pontual ou evolutiva. Não são informações explicativas ou descritivas, mas pontuais, no tempo e no espaço, cuja integração e evolução permitem o acompanhamento dinâmico da realidade.

O controle da qualidade da água está condicionado ao conhecimento das fontes de poluição e do planejamento em nível da bacia hidrográfica a partir de um gerenciamento da água, considerando o ciclo de uso.A qualidade da água pode ser monitorada a partir dos diversos componentes que definem suas características físicas, químicas e biológicas. São os parâmetros de qualidade que incluem a determinação da presença de sólidos, gases, substâncias inorgânicas e orgânicas bem como seres vivos.

A grande quantidade de parâmetros analisados em estudos de qualidades incentivou a criação do Índice[6] de Qualidade da Água (IQA). O IQA foi desenvolvido utilizando-se a técnica Delphi, que consiste na consulta a especialistas quanto aos parâmetros mais relevantes para a análise da qualidade da água. Segundo Magalhães Jr (2003), os IQAs estão entre os indicadores mais conhecidos no mundo. O primeiro foi proposto por Horton em 1965, mas os mais conhecidos foram desenvolvidos pela agência americana *National Sanitation Foundation,* a partir de 1970, com auxílio da técnica Delphi[7]. São dois os tipos principais de IQAs: o aditivo e o multiplicativo, ambos considerando nove parâmetros e seus respectivos pesos. No Brasil, os IQAs propostos pela NSF passaram a ser adotados por diversos programas estaduais de gestão de recursos hídricos.

Em Minas Gerais, o monitoramento e a avaliação da qualidade da água são executados pelo Instituto de Gestão das Águas de Minas (IGAM), que utiliza o ; multiplicativo com pesos específicos para cada um dos elementos, considera-se o Oxigênio Dissolvido (OD 0,17), Coliformes fecais (0,15), Potencial Hidrogeniônico (pH 0,12), Demanda Bioquímica de oxigênio (DBO 0,10), Nitratos (0,10), Fosfatos (0,10),Temperatura(0,10), Turbidez (0,008) e Sólidos Totais Dissolvidos (STD 0,008). O IGAM também criou o índice de Contaminação por Tóxicos (CT), um indicador que mede o índice de contaminação das águas em função das concentrações observadas para amônia, arsênio, bário, cádmio, chumbo, cianetos, cobre, cromo hexavalente, índice de fenóis, mercúrio, nitritos, nitratos e zinco, de acordo com o limite de classe definido na Deliberação Normativa COPAM nº 10/86; definida em baixa, média e alta.

O monitoramento da qualidade da água permite acompanhar as condições de uso e os padrões de lançamento de efluentes que devem atender aos padrões do corpo receptor, à capacidade de assimilação e diluição (CONAMA, 357). Outro fator importante refere-se às restrições de consumo e condições de potabilidade (PORTARIA, 518).

A legislação ambiental e o monitoramento da qualidade da água vêm crescendo nos últimos anos, oportunizando o aprimoramento do sistema de gestão ambiental das águas.

---

[6] Um índice relaciona um valor observado a um padrão estabelecido para aquele componente (Unesco, 1984). O índice é um instrumento para reduzir uma grande quantidade de dados a uma forma mais simples, retendo o seu significado essencial. Numa Pirâmide de Informações estão organizados: na base os Dados primários de Monitoramento, sucedido pelos Indicadores e no topo o Índice(Ponderação)(Magalhães Jr, 2007, p. 172-173).

[7] Anexo A - MAGALHÃES Jr 2007 p. 587-593.

3.2 Parâmetros Físicos – Químicos

Também conhecidos como características, eles diferenciam as águas naturais entre si, podendo se manifestar em uma ou outra condição.

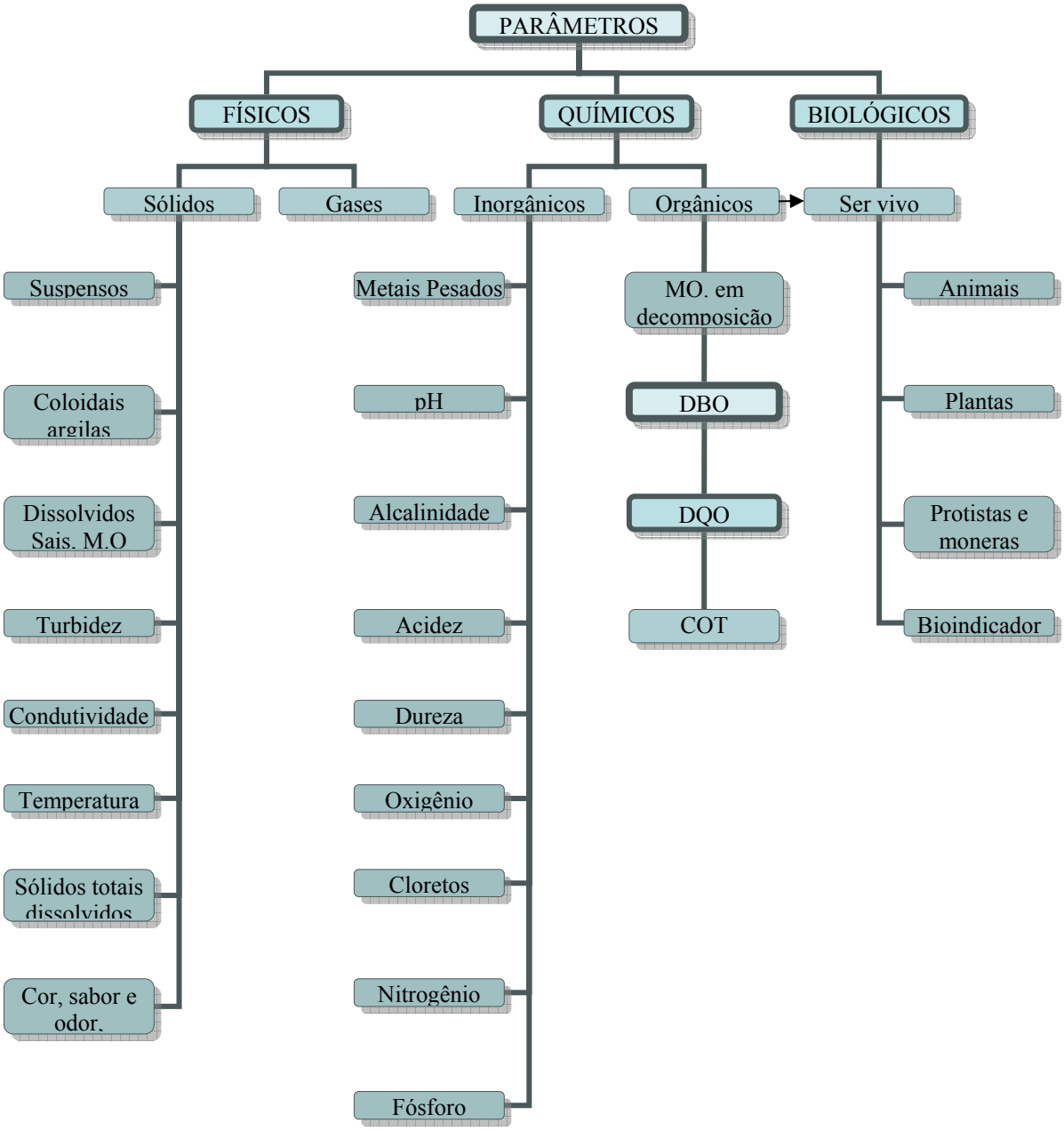


FIGURA 31 - Principais parâmetros utilizados nos estudos de qualidade da água.
Fonte: Adaptado de VON SPELING, 2007.

Os parâmetros físico-químico-biológicos (FIG. 31) são instrumentos de avaliação da qualidade da água e fornecem algumas das informações das condições de uso

das águas, níveis de contaminação e condições de outras características químicas, como a presença de metais pesados. Esses parâmetros retratam características condicionadas pelos componentes presentes na água. (VON SPERLING, 2005, p. 21)

A utilização dos parâmetros (TAB. 1) depende do objetivo da análise, consideradas as condições das águas analisadas. Dentre os mais usuais estudos destacam-se a avaliação das águas naturais para abastecimento e dos efluentes líquidos. Outro contexto refere-se aos levantamentos ambientais dos corpos hídricos quanto às condições de qualidade de ordem natural e antrópica.

Os parâmetros físicos incluem as características organolépticas cor, sabor e odor e a turbidez; entre os parâmetros químicos, tem-se a dureza, cloretos, nitrogênio, fósforo, alcalinidade, acidez, matéria orgânica (MO), micropoluentes orgânicos e inorgânicos, temperatura, potencial hidrogeniônico (pH), oxigênio dissolvido (OD) e condutividade; quanto aos parâmetros biológicos, são os organismos indicadores, algas e as bactérias.

TABELA 1
Principais parâmetros investigados na análise de qualidade da água

Característica	Parâmetro	Forma Física			Corpo Hídrico		Águas para abastecimento				Águas Residuárias	
		Sólido		Gases Dissolvidos	**Rio**	Lago	Superficial		Subterrânea			
		Suspensão	Dissolvido				Bruta	Tratada	Bruta	Tratada	Bruta	Tratada
Parâmetros Físicos	Cor		X		**X**	X	X	X	X	X		
	Turbidez	X			**X**	X	X	X	X	X		
	Sabor e Odor	X	X	X			X	X	X	X		
	Temperatura	**X**	**X**	**X**	**X**	X	X		X		X	
Parâmetros Químicos	pH		X	X	**X**	X	X	X	X	X	X	
	Alcalinidade		X				X		X		X	
	Acidez		X	X			X		X			
	Dureza		X						X	X		
	Cloretos		X				X		X			
	Nitrogênio	X	X		**X**	X	X	X	X	X	X	X
	Fósforo	X	X		**X**	X					X	X
	Oxigênio Dissolvido			X	**X**	X						X
	Matéria Orgânica	X	X		**X**	X					X	X
	Metais	**X**	**X**		**X**	**X**	**X**	**X**	**X**	**X**	**X**	**X**
	Micropoluente Orgânico		X		**X**	X	X	X	X	X	X	X
Parâmetros Biológicos	Bioindicador	X			**X**	X	X	X	X	X	X	X
	Algas	X				X	X					X
	Bactérias	X										X

Fonte: Adaptado de Von Sperling, 2005.

Os metais pesados têm fundamental importância nos estudos de qualidade da água, tendo em vista as particularidades de cada área e objetivos de pesquisa; é importante que sejam analisados os elementos (também os micropoluentes orgânicos) que possuem justificativa quanto ao uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica, como salienta Von Sperling (2007).

É importante ressaltar os parâmetros cor, turbidez, temperatura, pH nitrogênio, fósforo,OD , MO, micropoluentes orgânicos e bioindicadores que também podem variar segundo o foco da pesquisa e a área analisada.

As medidas podem refletir a presença de substâncias e micro-organismos e os efeitos da poluição e introdução de substâncias tóxicas, podendo ser realizadas em campo e no laboratório, produzindo informações passíveis de várias interpretações.

Alguns parâmetros têm maior aplicabilidade nos estudos de qualidade da água devido ao menor custo das medições e processos de leitura mais simples. O OD, Temperatura, STD, Condutividade, pH e Turbidez oferecem informações importantes sobre as condições ambientais das águas e auxiliam na interpretação de dados de natureza química como os metais pesados.

3.2.1 Oxigênio Dissolvido

O Oxigênio Dissolvido (OD) tem sua principal importância associada às condições biológicas dos organismos aeróbicos (diversidade do ecossistema aquático) e sua influência na qualidade da água. A redução da concentração de OD pode ocorrer devido à presença de uma maior quantidade de bactérias aeróbicas, condições nas quais podem morrer diversos seres aquáticos, inclusive peixes.

O OD é um importante parâmetro na caracterização dos efeitos da poluição das águas por despejos orgânicos, que, em grandes concentrações, podem levar a condições anaeróbicas e a uma possível geração de maus odores. Segundo Von Sperling (2007, p. 28), o OD é naturalmente originado com a dissolução do oxigênio atmosférico, produzido por organismos fotossintéticos e sua solubilidade varia com a altitude e a temperatura. Ao nível do mar, a 20°C, a concentração de saturação é de 9,2 mg/L. Valores superiores à saturação indicam a presença de organismos fotossintéticos e inferiores, a presença de

matéria orgânica, provavelmente esgotos. Em teores de OD em torno de 4-5 mg/L, tem-se mortandade de peixes.

Em um primeiro momento, o OD indica a saúde dos corpos hídricos em relação à vida aquática, no entanto, altos teores de OD nem sempre estão relacionados ao bom padrão de qualidade da água. Em ambientes contaminados por metais pesados, a morte dos organismos e a consequente diminuição da demanda pelo oxigênio levam a um aumento do OD associado à contaminação (FELLENBERG 1980, p. 94).

3.2.2 Temperatura

A Temperatura é um parâmetro suporte às condições das características físicas, químicas e biológicas da água e influencia em algumas propriedades naturais. Assim, mede-se a intensidade do calor naturalmente originado a partir dos processos da radiação, condução e convecção na atmosfera terrestre e solo. As alterações de origem antropogênica são pontuais, a exemplo dos despejos industriais de processos de resfriamento.

O aumento da temperatura altera as taxas das diversas reações que ocorrem nos ambientes aquáticos bem como diminui a solubilidade de gases como o oxigênio dissolvido (VON SPERLING, 2005, p. 33). A temperatura varia de acordo com a localização geográfica e as condições climáticas, influenciando nos organismos e teores de gases dissolvidos.

3.2.3 Potencial Hidrogeniônico

O Potencial Hidrogeniônico (pH) representa a concentração de íons de Hidrogênio, indicando condições de acidez, neutralidade e alcalinidade da água. Os valores variam do mais baixo 0, em ambientes ácidos, 7, neutros e 14, em águas básicas. O pH é naturalmente associado à dissolução das rochas, absorção de gases da atmosfera, oxidação da matéria orgânica e fotossíntese na forma de sólidos e gases dissolvidos. O destaque para o pH refere-se à sua grande influência nos diversos processos físico - químicos e biológicos que ocorrem nos corpos hídricos.

Alterações extremas podem causar para o homem desconforto como irritação da pele e olhos, afetar a vida aquática, acarretando seu desaparecimento (MATTOS, 1998); de uma forma geral, o pH determina o equilíbrio dos compostos químicos. Alterações no pH afetam a disposição dos metais, valores altos interferem no potencial de toxidade, possibilitam a precipitação dos metais e participam de muitos processos industriais na remoção de metais dos efluentes. Os valores baixos funcionam na dissolução dos elementos, mantendo-se na forma iônica. Nos corpos hídricos, valores elevados ou baixos podem ser indicativos da presença de efluentes industriais.

3.2.4 Sólidos Totais Dissolvidos

Os Sólidos Totais Dissolvidos (STDs) englobam os diferentes contaminantes da água, que contribuem para sua carga total. Os STDs representam uma parte dos sólidos presente na água em uma classificação quanto às características físicas, quanto ao tamanho, podem se classificados de acordo com as propriedades da filtragem, na qual dissolvidos são os sólidos filtráveis de tamanho entre 10^{-6} e 10^{-3} e em suspensão os não filtráveis entre 10^{0} e 10^{3}, entre esses dois tamanhos estão as partículas coloidais, segundo Von Sperling (2005, p. 23). Os STDs podem, ainda, ser subdivididos em orgânicos e inorgânicos e voláteis e não voláteis.

3.2.5 Turbidez

A Turbidez é um dos parâmetros mais representativos das características físicas da água, cujas alterações são bastante perceptíveis. Pode ser entendido como o grau de clareza da água (HERMES, 2004, p.21). Esse parâmetro é definido pela presença de sólidos em suspensão, seja de origem natural ou antrópica; sua importância é maior nas áreas tropicais, tendo em vista o carreamento de partículas pelas águas pluviais, diferenciando padrões de turbidez com a sazonalidade climática. A turbidez representa o grau de interferência para a passagem da luz através da água, conferindo uma aparência turva à mesma.

A Turbidez não está diretamente relacionada a padrões de qualidade, no entanto é esteticamente desagradável na água potável, e os sólidos em suspensão podem servir de abrigo para os micro-organismos patogênicos e associados a compostos tóxicos. Além disso, nos corpos hídricos, pode reduzir a penetração da luz, prejudicando a fotossíntese. Von Sperling (2005, p.28) enfatiza que, em valores de 10 UNT (Unidades Nefalométricas de Turbidez), percebe-se ligeira nebulosidade, portanto valores superiores comprometem a potabilidade.

A sazonalidade é um fator marcante nos valores de turbidez. Nos períodos de maior pluviosidade, ocorrem os maiores valores, esses também são maiores nas áreas de uso do solo que possam apresentar solo exposto como agropecuária e mineração. Libâneo (2008) coloca que as características das partículas, tamanho, composição e forma interferem na transmissão da luz (valores de turbidez).

3.2.6 Condutividade Elétrica

A Condutividade Elétrica (µS/cm) é determinada pelas substâncias dissolvidas que se dissociam em ânios e cátions, refere-se à capacidade de conduzir corrente elétrica e ocorre em função da concentração de íons presentes (substâncias dissolvidas) (BRANCO, 1991).

A Condutividade Elétrica está diretamente relacionada à temperatura, com aumento de 2% a cada °C. Valores de pH extremos têm uma relação direta com a Condutividade Elétrica, sendo os íons de Hidrogênio os maiores responsáveis pelos valores de Condutividade Elétrica.

A condutividade varia com a quantidade de sais, mas também com a condução iônica dos ânios e cátions característico de cada amostra. (SAWYER et al 2003, p. 80)

Esteves (1998, p. 262), destaca que “vários fatores podem influenciar na composição iônica dos corpos d’água, como a geologia da área de drenagem dos efluentes, geologia da bacia de acumulação do lago e regime das chuvas”. Para o autor, as diferenças geoquímicas nos afluentes do rio principal ou de um lago podem ser facilmente avaliadas com auxilio de medidas de condutividade. Assim, as águas muito puras são resistentes à corrente elétrica com menores valores de condutividade elétrica, esse é um importante parâmetro na identificação de fontes poluidoras.

3. 3 Metais Pesados: Características e Toxidade

Micropoluentes inorgânicos são, em sua maioria, elementos ou compostos tóxicos, dentre os quais se destacam os Metais Pesados. As características nocivas desses elementos estão associadas principalmente à sua dissolução na água e à concentração na cadeia alimentar. Felizmente, esses elementos ocorrem em pequenas quantidades e vários metais, em baixas concentrações, são nutrientes essenciais aos seres vivos.

Os estudos sobre metais pesados difundiram-se associados à contaminação dos ambientes e aos problemas relacionados à saúde humana, principalmente devido ao possível potencial cancerígeno. Dentre os temas abordados, destacam-se as fontes e a toxidade dos elementos, considerando a exposição e os efeitos ao longo da cadeia alimentar.

Pela interdisciplinaridade do tema, uma primeira discussão refere-se ao uso do termo Metal Pesado[8], tendo em vista a análise das características químicas dos elementos e a inclusão de alguns elementos não metálicos. Vários autores contestam o uso do termo metal pesado e sugerem outras definições para esse conjunto de elementos. Na biologia, Esteves (1998, p. 285) usa a definição de elementos-traço

> São elementos químicos que ocorrem na natureza, de um modo geral, em pequenas concentrações, da ordem de partes por bilhão (ppb) a partes por milhão (ppm). Outras denominações para este grupo de elementos são freqüentemente encontradas na literatura: "metais pesados", metais traços", micronutrientes", etc.

O autor defende o termo elemento–traço tendo em vista a não distinção entre metal e não metal e a sua ocorrência em baixas concentrações, além de o termo metal pesado, apesar de muito utilizado, não ter fundamento químico. No entanto nas geociências esse termo não se aplica uma vez que alguns elementos como o Fe é metal pesado mas não elemento-traço já que existe em as altas concentrações.

Segundo Malavolta (1994), a expressão metal pesado se aplica a elementos que têm densidade atômica maior que 5g/cm³ ou que possuem número atômico maior que 20.

---

[8] Apesar do termo Metal Pesado, para alguns, está em desuso e ser considerado por alguns estudiosos um termo sem sentido, foi utilizado neste trabalho por seu significado quanto aos problemas ambientais destes elementos químicos. Chemistry International Vol 23 No 6 November 2001 – Heavy Metals – A Meaningless Term by John H. Duffus.

Essa definição engloba metais, semi-metais e mesmo não metais; sustentando a utilização desse termo nos diversos trabalhos, neste inclusive, que têm sido realizados e a afirmação deste na literatura ambiental, sendo amplamente reconhecido e frequentemente aplicado a elementos associados a problemas de contaminação e toxidade.

Alguns elementos químicos, muitos dos quais podendo ser venenosos para os seres humanos, diferenciam-se dos compostos orgânicos tóxicos por serem absolutamente não degradáveis, de maneira que esses elementos podem acumular-se nos componentes do ambiente onde manifestam sua toxidade (BAIRD, 2002). A maioria desses elementos não pode ser eliminada pelos organismos e outros são eliminados, no entanto a capacidade limitada de assimilação e a longa meia vida ampliam seu efeito tóxico.

Esses elementos químicos possuem ambientes naturais e ciclos fechados na natureza. Considerando os usos humanos dos recursos, alguns ambientes podem apresentar quantidades naturalmente altas para o uso humano de determinados solos ou águas. Entretanto essa contaminação pode ser relacionada com o modelo antrópico de ocupação associada a alterações físico-químicas e à migração dos elementos entre os ambientes, gerando impactos negativos fora do local de origem.

A distribuição dos elementos na superfície terrestre é irregular e suas concentrações variam em cada região. Naturalmente, as concentrações de metais pesados dependem das características geológicas e ecológicas da bacia de drenagem e essas características geológicas são fundamentais para a determinação dos elementos nos ambientes fluviais, já que evidenciam as particularidades de cada região, definidos como *background* ou a quantidade natural de metais que ocorrem em cada região, originada principalmente de processos como dissolução das rochas(intemperismo) e atividades vulcânicas ou dos ciclos geológicos como um todo.

Para Selinus (2006, p.2), além de entender sobre as fontes litogênicas e antrogênicas, é também importante considerar a Exposição e a Biodisponibilidade. Exposição é a descrição quantitativa e/ou qualitativa do total de substância química que entra e é assimilada. Biodisponibilidade é a proporção da substância disponível para entrar no organismo por meio de determinada exposição. A biodisponibilidade depende da forma física e química e de fatores como pH, temperatura e condições de umidade. Outro aspecto importante é a existência de uma rota de exposição, que passa do risco potencial a problemas efetivos. As vias de exposição incluem alimentação, absorção dermal e inalação. Com o estabelecimento da rota de exposição, os efeitos na saúde se manifestam.

De todos os elementos da tabela periódica, 59 desses podem ser classificados como metais pesados e são potencialmente tóxicos. Contudo, somente 17 metais são considerados muito tóxicos (As, Co, Bi, Ni, Cu, Zn, Sn, Se, Te, Pd, Ag, Cd, Pt, Ag, Hg, Cd, Tl, Pb e Sb) e disponíveis em lugares e concentrações em nível de toxidade. Dos 17 metais tóxicos, 9 (Ag, As, Cd, Cu, Hg, Ni, Pb, Sb, Sn e Zn) são originalmente mobilizados no ambiente pelo homem, em taxas que excedem os processos geológicos naturais (NOVOTNY, 1995 p. 36).

Os processos fisiológicos são coordenados por quantidades específicas de nutrientes, cuja carência ou ausência podem levar a distúrbios. A alteração da quantidade de metais pesados no meio ambiente impacta os ecossistemas e seus organismos vivos. Os metais pesados podem ser agrupados em essenciais, sem função biológica conhecida, ou tóxicos.

Dentre os metais com função biológica conhecida, estão Ca, Mg, Fe, Zn, Mn, Cu, Co (ESTEVES, 1998; MACEDO, 2002), Ni e Cr (RASHED, 2006; SAWYER, MCCARTY; PARKIN, 2003). Esses elementos são micronutrientes para as plantas e/ou animais. Outros elementos não participam dos processos biológicos como Al, Ba, As, Hg, Pb e Cd, que são tóxicos, mesmo em pequenas concentrações Alguns desses metais têm recebido atenção especial pelo seu grau de toxidade e pela quantidade que está sendo introduzida no ambiente.

A toxidade dos metais está associada ao processo de bioacumulação ou biomagnificação, que é a capacidade dos metais de se acumular nos organismos e aumentar sua concentração, progressivamente ao longo da cadeia alimentar ecológica, podendo chegar ao homem, que, devido ao seu alto nível na cadeia trófica, pode sofrer maiores consequências da contaminação. Assim a toxidade dos metais tende a se potencializar na cadeia trófica de acordo com o período de meia vida[9].

A capacidade de bioconcentrar-se depende do tempo entre a taxa de ingestão e eliminação. A velocidade de eliminação pode ser definida como o período de meia-vida, que, quanto maior, maior será seu nível de acumulação.

> A toxidez dos elementos-traço reside principalmente na sua capacidade de interferir em processos enzimáticos, e na sua pouca mobilidade no organismo em virtude do pequeno tamanho e das cargas duplas e triplas. Esta baixa mobilidade faz com que os elementos-traço se acumulem,

[9] Relação entre a ingestão, a eliminação e a concentração que depende da velocidade de eliminação do elementos nos organismos, assim quanto maior a meia vida maior o nível de acumulação e toxidade.

> provocando profundas modificações no metabolismo, podendo mesmo causar a morte do organismo afetado. (ESTEVES, 1998, p. 295)
> Do ponto de vista bioquímico, o mecanismo de sua ação tóxica deriva da forte afinidade dos cátions pelo enxofre. Assim, os grupos sulfidrila-SH, que ocorrem comumente nas enzimas que controlam a velocidade de reações metabólicas de importância crítica no corpo humano, ligam-se rapidamente aos cátions de metais pesados ingeridos ou a moléculas contendo tais metais. Pelo fato de a ligação resultante metal-enxofre afetar a enzima como um todo, ela não pode atuar com normalidade, e, em conseqüência, a saúde humana vê-se afetada de maneira desfavorável, às vezes fatal. (BAIRD, 2002, p. 404)

Segundo Forstner e Muller (1974), Hg, Cd, Pb, Au, Cu, Ni e Cr são os elementos-traço mais tóxicos para a maioria dos organismos, incluindo o homem. No entanto, a toxidade varia de acordo com cada grupo de organismo, e os testes para esclarecer efeitos toxicos sobre o homem têm pouca contribuição. Esteves (1998, p. 298) explica que os organismos, tanto vegetais como animais, reagem diferentemente à toxidade dos elementos-traço, assim o comportamento particular de cada metal nos diferentes organismos dificulta o conhecimento dos efeitos tóxicos desses elementos sobre o homem.

Fellenberg (1980, p. 93) esclarece que a intoxicação por cada um desses metais provoca um conjunto específico de sintomas e um quadro clínico próprio, mas todos os sintomas de intoxicação se baseiam, contudo, em dois mecanismos de ação fundamentais. O primeiro desses mecanismos se refere às enzimas, nas quais íons de metais pesados podem formar complexos com grupos funcionais de muitas enzimas (formação de quelatos); assim são bloqueadas as partes das enzimas responsáveis por determinados processos metabólicos. O segundo envolve as membranas celulares, com as quais muitos metais podem se combinar, alterando a estrutura das mesmas, impedindo o transporte de substâncias vitais.

Outro problema da contaminação por metais pesados refere-se ao tempo da exposição, uma vez que as intoxicações são lentas e difíceis de serem identificadas. O entendimento e a identificação da contaminação por metais pesados constituem um importante passo na gestão da qualidade da água e dos recursos hídricos, constituindo-se em um relevante ponto de controle da ingestão desses elementos.

Segundo Mozeto (2001), contaminantes tóxicos presentes nos sedimentos dos rios, lagos, áreas alagáveis e corpos de água têm potencial de desencadear degradação ambiental continuada, mesmo nos casos em que a coluna d'água não apresente concentrações desses elementos acima das previstas na legislação vigente de qualidade da água, ou seja, estejam dentro de critérios aceitáveis. Esses elementos tóxicos podem causar

impactos negativos à qualidade da água e à biota, mesmo após a interrupção da descarga de efluentes nos corpos receptores.

3.3.1 Metais Pesados na Água

O ambiente aquático, apesar de ser um ambiente transitório para os metais pesados, constitui importante ponto de avaliação ambiental da bacia de drenagem. Na água, os metais podem ser encontrados na forma iônica, complexada (Orgânico) e no material particulado em suspensão (MPS). Esteves (1998) destaca que, nos ecossistemas aquáticos, os metais pesados podem sofrer transformações químicas que os tornam mais nocivos ao ambiente.

As principais fontes de metais pesados para o ambiente aquático podem ser de origem natural, como intemperismo, erosão e erupções vulcânicas, bem como por meio de atividades antropogênicas (FOSTER; CHARLESWORTH, 1996). Rietzler *et al.* (2001) acrescentam que as fontes naturais são as rochas, os solos e as atividades vulcânicas, transportados por processos de lixiviação, erosão e escoamento pluvial. As fontes antrópicas incluem atividades industriais por meio de efluentes sólidos, que são lançados diretamente na atmosfera, e líquidos, que são lançados nos corpos hídricos; mineração, esgotos domésticos e o deflúvio urbano e agrícola.

O transporte dos metais pela água ocorre nas formas dissolvida, coloidal e associada ao MPS ou sedimento de fundo. Esses metais são constantemente redistribuídos entre as fases durante o transporte e varia de acordo com cada elemento e sua carga total no ambiente.

> Assim, os rios que recebem grandes cargas de rejeitos industriais apresentam, na maioria dos casos, grandes concentrações de elementos na fase dissolvida, enquanto que os rios sem contribuição antrópica apresentam a maior parte da carga total de elemento-traço associada ao material particulado em suspensão. (ESTEVES, 1998, p. 288)

O material particulado em suspensão e no sedimento de fundo representa importante parâmetro na análise da dinâmica e distribuição de metais, visto que uma grande parte dos elementos transportados na água está associada a essas partículas. O MPS

é constituído de materiais orgânicos e inorgânicos, que são originados de processos naturais (geológicos, biológicos, químicos e físicos) e de atividades antrópicas (TOMAZELLI, 2003, p. 11).

Os óxidos e hidróxidos de Fe, Al, Mg e Mn funcionam como elementos suporte, influenciando na concentração dos metais em solução, assim como nos processos de remoção e disponibilidade. Atuam carreando os metais, entre as fases dissolvida e particulada, por processos de adsorção[10] e co-preciptação (DORNFELD, 2002; ANJOS, 2003, RODRIGUEZ, 2001 e TOMAZELLI, 2003).

A sazonalidade é uma importante variável no entendimento da relação entre os metais pesados dissolvidos ou adsorvidos ao MPS. A vazão e a velocidade da água influenciam na precipitação e deposição dos metais nos sedimentos, bem como na ressuspensão dos elementos. Nos ambientes tropicais, as amostras devem ser coletadas em no mínimo dois períodos, o quente e chuvoso e o seco e frio. Processos físicos, químicos, biológicos e antrópicos também podem causar a remobilização/disponibilização dos metais acumulados no sedimento.

Os processos de adsorção conferem aos sedimentos uma quantidade maior que a fração dissolvida na água. Em um primeiro momento, os sedimentos atuam na diminuição da quantidade de metais na água, no entanto, quando saturados ou sob condições de acidez mais elevadas, podem voltar a liberar metais, caracterizando-se como uma fonte de contaminação. Quanto à poluição e toxidade, é importante conhecer a fração disponível responsável pela contaminação da coluna de água que pode, consequentemente, acarretar na bioacumulação e biomagnificação.

Apesar da presença transitória, das variações no tempo e espaço, bem como dos diversos fatores envolvidos na dinâmica dos metais na água, esse é o ambiente de ligação entre os metais pesados e os organismos vivos.

A presença dos metais pesados nos ambientes aquáticos pode iniciar uma rota de exposição. A água contaminada, a irrigação agrícola e a contaminação de peixes são meios de entrada dos metais na cadeia alimentar, que afeta o homem diretamente com o consumo da água e indiretamente com a ingestão dos alimentos afetados, nesse caso ainda mais concentrados.

---

[10] Processos de sorção são muito importantes na deposição e transporte de contaminantes no ambiente. Sorção é frequentemente definido como a concentração ou movimento de contaminantes de uma fase para outra. Absorção envolve a divisão de um contaminante de uma fase para outra. **Adsorção é o processo pelo qual os íons e moléculas presentes em uma fase tendem a condensar e concentrar na superfície de outra fase.(** SAWYER et al 2003 p. 97).

A contaminação humana por metais pesados tem históricos relacionados a características naturais das regiões. O exemplo do consumo de água subterrânea contaminada por As, extraída de formações geológicas arseníferas, é o fato mais conhecido de intoxicações associadas a características naturais, como ocorrido em Bangladesh, no México e outros países do mundo.

De acordo com Nriagu (1996), a poluição ambiental por metal pesado iniciou-se com a domesticação do fogo, com a liberação de elementos no interior das cavernas pela combustão da lenha. Posteriormente, a descoberta das minas e o aperfeiçoamento das técnicas de extração do metal se consolidaram na história humana. Durante o Império Romano, grandes quantidades de metais pesados, especialmente Pb, Cu, Zn e Hg, foram necessárias para sustentar o alto padrão de vida da sociedade. Para o autor, as fundições ao ar livre resultaram na emissão de metais potencialmente tóxicos, que chamaram a atenção dos pesquisadores antigos, possíveis responsáveis pela interdição de minas na Itália e países vizinhos. Embora as minas tenham sido reabertas no século XI, foi o desenvolvimento das fornalhas no século XVI que estendeu drasticamente a esfera de influência de fundições e instalações industriais. A Revolução Industrial trouxe a demanda por metais e um exponencial na intensidade de emissões desses elementos, tanto em massa absoluta, como em número e espécies tóxicas de metais. (TOMAZELLI, 2003 ; COTRIM, 2006)

Apesar da longa data das intoxicações por metais, foi no século passado que esse tema se consolidou no contexto ambiental. A influência antropogênica nas concentrações de metais pesados foi bem retratada em duas tragédias ocorridas no Japão, que marcaram a história da intoxicação humana por metais pesados.

Na década de 50, na região de Niigata e Minamata, o consumo de peixes contaminados com mercúrio levou ao óbito 52 pessoas, vítimas de doenças de distúrbios neurológicos da conhecida “doença de Minamata”, causada por compostos de cloreto de metil-mercúrio de uma indústria química instalada na baía desde 1939. Consequências foram sentidas pelos sobreviventes e pelos filhos de mães contaminadas por gerações.

A ingestão de arroz contaminado por cádmio deu origem a uma doença reumática conhecida como Itai-Itai, na qual alguns íons de Ca dos ossos são substituídos por Cd. As plantações de arroz eram irrigadas com águas do Rio Jintsu, localizado a jusante de uma área de mineração e fundição de zinco.

A partir desses fatos ocorridos no Japão, vários países criaram normas e aumentaram o controle dos processos que utilizavam metais pesados, corroborando com pesquisas na área.

O estabelecimento de padrões de potabilidade começou a ser desenvolvido no século XX. Os primeiros padrões americanos foram para Fe (1925), Cu (1942), Turbidez (1946) e As e Mn (1962). No Brasil, os primeiros padrões foram definidos em 1977 com a Portaria 56 do Ministério da Saúde, atualmente está em vigor a portaria 518/2004 para potabilidade e a CONAMA 357/2005 para os corpos hídricos. (LIBÂNEO, 2008).

3.3.2 Estudos de Metais Pesados no Brasil no Âmbito Ambiental

Os estudos ambientais sobre metais pesados no Brasil são recentes e desenvolveram-se principalmente com o crescimento da geologia médica, ainda não existindo um mapeamento geoquímico das águas superficiais ou subsuperficiais.

Os primeiros estudos datam da década de 80. Segundo Silva, Figueiredo e Capitani (2006, p. 6), pesquisadores da Universidade Federal da Bahia estabeleceram uma base de estudos de avaliação de contaminação de crianças e adultos por chumbo e cádmio em Santo Amaro da Purificação (Bahia), resultante da exposição a rejeitos de metalurgia de minério de Pb, armazenados no solo, que contaminaram o lençol freático.

No estado do Paraná, em Adrianopólis, também foi estudada a contaminação por Pb, associada à metalurgia (CUNHA, 2003 ; CUNHA *et al* , 2006), presente nos sedimentos do Rio Ribeira. As análises de sangue demonstraram que a população foi afetada pela contaminação também identificada nos solos.

No Pantanal Mato-grossense e na Amazônia, pesquisas sobre a contaminação da água por mercúrio foram desenvolvidas na região, principalmente em relação à mineração. Na região amazônica, foram encontrados níveis altos de mercúrio, que, inicialmente, foram atribuídos à atividade mineradora, no entanto, recentemente, estudos têm demonstrado que na bacia do Rio Negro existe um grande estoque de Hg, que pode ser liberado lentamente por processos de transformações geoquímicas, atingindo os rios e biomagnificando na cadeia alimentar. No Pantanal, as alterações nos níveis do Hg foram observadas somente próximo às áreas de Mineração. (LACERDA, 1992; VIEIRA *et al.*, 1995; FADINI, JARDIM, 2001) . Diegues (2002 p. 26), estudando as áreas úmidas

brasileiras, chama a atenção para o impacto da mineração, ressaltando que no Rio Madeira, em 1988, os garimpeiros despejaram cerca de 8 toneladas de Hg nas águas e 12 toneladas na atmosfera, uma séria ameaça à saúde da população ribeirinha.

Tomazelli (2003) analisou as concentrações de Pb, Cd e Hg da água, do sedimento de fundo , dos peixes e bivalves em seis bacias hidrográficas do Estado de São Paulo. Os maiores valores de Pb e Cd foram encontrados na bacias dos Rios Piracicaba e Mogi-Guaçu. A contaminação para Hg foi identificada em peixes do reservatório Jurupimirim.

Em Minas Gerais, a região do Quadrilátero Ferrífero tem um foco voltado para a contaminação por As, associado à mineração de Au. No minério do Au, o arsênio está na Arsenopirita, muito rica em As, que pode ser parcialmente liberado para as águas, via mais comum de exposição humana. Altas concentrações de arsênio foram encontradas nos sedimentos de toda região. Nas águas, os valores raramente ultrapassam os limites permitidos, exceto próximo às minas onde os valores são altos. Estudos realizados com crianças evidenciaram que 20% apresentaram valores de As, que pode ter efeito na saúde conforme Figueiredo et al (2006).

Em Ouro Preto, Gonçalves *et al.* (2006) estudaram o As nas águas subterrâneas e encontraram amostras com concentrações impróprias para o consumo humano em 75% dos pontos de coleta. Destaca-se a dificuldade ou impossibilidade de predizer as concentrações em poços vizinhos aos amostrados, uma vez que os aquíferos afetados são restritos a certos ambientes.

Rietzler *et al.* (2001) estudaram os tributários da represa da Pampulha, onde foram verificados altos níveis de contaminação para Pb e Cd e outros metais acima do permitido pela legislação brasileira.

Em Três Marias, Oliveira (2007) avaliou a contaminação de metais próximo à represa e área de influência da Votorantim metais. A autora usou como referência os estudos de Lundhamer *et al.* (1993), que encontraram altas concentrações de Cd e Zinco. Na época, foi observada a diminuição desses dois elementos, no entanto os valores de Zinco e Cromo na água e sedimentos ainda continuam acima do permitido pela legislação em algumas áreas.

No município de Buritizeiro, estudos realizados na bacia hidrográfica do Rio do Formoso investigaram a influência dos fatores naturais e geológicos nos níveis dos metais nas águas superficiais. Viana (2006) realizou um estudo geoquímico nas veredas e encontrou alterações para Cu e Zn nas áreas da agricultura de grãos e silvicultura. Baggio

(2008) encontrou altas concentrações, acima do permitido pela legislação ambiental, de Cádmio e Cromo no médio e baixo cursos, reafirmando a influência da agricultura nos níveis de metais dos sedimentos e água na Sub-bacia do Rio do Formoso.

Ribeiro (2007) avaliou a influência da indústria metalúrgica e têxtil nos teores de metais nas águas do Rio São Francisco, em Pirapora, e encontrou contaminação para Cu, Cd, Ni e Pb a jusante do lançamento do efluente industrial.

3.3.3 Chumbo (Pb)

De ocorrência natural, o chumbo é extraído principalmente do minério Galena (sulfeto de Chumbo - PbS). As fontes antropogênicas do Pb são a mineração e a fundição. O chumbo é muito usado nas baterias, cabos elétricos, pigmentos de tinta, pesticidas, escudo antirradiação e na gasolina, fontes industriais que podem ocasionar a liberação desse elemento no ambiente. Seu uso como aditivo na gasolina e óleo diesel vem diminuindo devido ao impacto no ambiente, principalmente nas áreas urbanas.

Os pigmentos milenares também fornecem grande quantidade de chumbo; o amarelo (cromato de chumbo) nas faixas de ônibus e estradas, o chumbo vermelho, resistente à corrosão e o chumbo branco, nas tintas para interiores. Quando a tinta descasca, pode ser ingerida por crianças pequenas devido ao adocicado do Pb^{2+}.

Em sistemas aquáticos contaminados, a maior parte do metal encontra-se fortemente ligada aos sedimentos de fundo, devido a fatores como temperatura, Eh, salinidade, ácidos húmicos e principalmente pH e STD. (LOPES *et al.*, 2006, p. 90)

Para Fellenberg (1980), como o chumbo e seus sais possuem densidade elevada, os gases industriais, com os quais são desprendidos, só os transportam por alguns poucos quilômetros, pois logo ocorre a sedimentação desses compostos; os motores de combustão eliminam chumbo finamente dividido e restos não queimados de tretaetilchumbo são capazes de permanecer na atmosfera por um razoável intervalo de tempo, maximizando os problemas nas áreas urbanas.

O Pb pode ser absorvido por meio dos pulmões de forma mais completa e rápida e entra na circulação sanguínea, distribuindo-se pelo organismo, provocando danos ao sistema nervoso central. A intoxicação também pode causar anemia já que o chumbo impede a fixação do ferro. Podem ser desenvolvidos ainda problemas no aparelho

digestivo e decréscimo das funções renais, hepáticas, sensoriais e cognitivas. Esses danos à saúde dependem do nível da exposição. As crianças são mais sensíveis; enquanto um adulto absorve 10% do chumbo ingerido, nas crianças esse percentual é de 50%, em ambos os organismos o Pb apresenta meia vida de 20 anos. (WHO, 1995[11] *apud* ANJOS, 2003)

Em ambientes ácidos, na presença do oxigênio, o chumbo pode ser dissolvido. Baird (2002) descreve o caso da contaminação de alimentos armazenados em latas seladas com chumbo, o que levou à proibição dessas embalagens na América do Norte, na década de 80. Situação semelhante ocorre no uso de tubulações domésticas com soldas de chumbo, principalmente em águas ácidas e moles que permitem a dissolução do Chumbo. A influência das águas ácidas permite a dissolução dos sulfetos e carbonatos de chumbo altamente insolúveis em água.

Uma das primeiras fontes ambientais de Chumbo decorre da sua utilização nos pesticidas, com o uso do arsenato de chumbo. Atualmente existe uma preocupação com a concentração de chumbo no ambiente e com a necessidade de evitar o estabelecimento de uma rota de exposição humana.

3.3.4 Cádmio (Cd)

A principal origem do Cd é como subproduto da fusão do Zinco, já que os dois usualmente ocorrem juntos. A poluição ambiental por esse elemento, frequentemente, acontece adjacente a fundições de Zn, Pb e Cu. Usado como eletrodo de bateria "níquel-cadmio", fonte significativa a partir da incineração, processo no qual grande parte das 5g de cada bateria é volatizado; processo semelhante ocorre com o Cd utilizado como pigmento em plásticos coloridos.

Baird (2002) destaca que a ingestão humana de Cd pela água e ar é pequena, exceto para a população residente próximo a minas e fundições de Zinco. Para a maioria das pessoas, a exposição ao cádmio vem da dieta alimentar, principalmente com os frutos do mar e órgãos comestíveis, bem como da batata, trigo arroz e outros cereais.

---

[11] WORLD HEALTH ORGANIZATION. Environmental health criteria 165 – Inorganic Lead. Geneva, 1995, p. 25-35.

Nas áreas agrícolas, o uso de fertilizantes fosfatados e pesticidas aumenta a quantidade de Cd no solo e nas plantas. A indústria incrementa a entrada de Cd pelo lodo de esgoto e por meio da deposição atmosférica no solo, fontes que têm como ambiente comum também as águas superficiais.

Em geral, a forma iônica dissolvida (Cd II) é considerada a mais disponível para acúmulo pelos organismos aquáticos. (BENJAMIN e HONEYMAN, 1994)

Uma proteína rica em enxofre, que regula o metabolismo do Zn, metalotionina, pode complexar o Cd ingerido, eliminado pela urina (BAIRD, 2002). Com um período de meia vida entre 10 e 30 anos, quando excede a capacidade de complexação e eliminação no organismo, esse elemento se acumula nos rins e fígado, já evidenciando a probabilidade do surgimento de doenças renais e a diminuição do olfato, além da supracitada doença reumática "itai-itai".

3.3.5 Bário (Ba)

Usado na metalurgia, pirotecnia, extração de petróleo, indústrias cerâmicas e de vidro (PRIMO, 2006), é também utilizado como contraste para raio-X, para o qual os compostos insolúveis não oferecem risco à saúde. O Ba não tem função biológica conhecida e seus compostos solúveis iônicos são altamente tóxicos. Licht (2006), em estudos de geoquímica de superfície no estado do Paraná, associou anomalias de Ba - as rochas sedimentares cretáceas da Formação Bauru, ao ambiente de deposição desértico no qual se formaram.

Dentre os sintomas causados pela ingestão de altos níveis de Ba, o autor destaca o aumento da pressão sanguínea, dificuldades respiratórias, alteração do ritmo cárdico, irritação no estômago, flacidez muscular e danos em diversos órgãos, como coração, rins e fígado.

Na presença de Fe, Al e Mg, a solubilidade do Ba aumenta. Apesar de normalmente não se encontrar presente em águas de superfície ou subterrânea, é encontrado em fontes ou efluentes de área onde há extração de bauxita (BRANCO, 1991).

O risco associado a metais como o Ba evidencia a necessidade de um mapeamento geoquímico que identifique anomalias ou níveis de *background* principalmente nas águas, por ter um contato direto com a população.

3.3.6 Cromo (Cr)

Destaca-se por sua resistência à corrosão e por sua abundância na natureza. As fontes de contaminação incluem a produção de cimento, soldagens metálicas, fundições, lâmpadas, minas, lixo urbano e industrial, curtumes, fertilizantes e incêndios florestais. Dentre as formas encontradas, o Cr hexavalente é considerado um indicador de poluição.

Essencial ao organismo humano o Cr trivalente atua no metabolismo da glicose, proteína e gorduras nos mamíferos. Com a intoxicação, o efeito mais comum é a corrosão do aparelho digestivo. O cromo hexavalente pode causar diarréias, náuseas, efeitos cutâneos, danos aos rins, fígado e pulmões, hemorragias internas e cancinorgênicos.

Os cromatos e dicromatos de sódio, potássio e amônio são solúveis e largamente utilizados na indústria. Apesar do seu potencial tóxico, o Cr hexavalente raramente é encontrado na forma dissolvido, já que são reduzidos pelos óxidos de Fe (Fe^{2+} - Fe^{3+}) e sulfetos dissolvidos. O oxido de Mn também atua na oxidação do Cr^{3+}.

3.3.7 Níquel (Ni)

Metal de grande importância econômica, é muito utilizado como catalizador na produção de ligas, baterias, eletrônicos, aços inoxidáveis e próteses clínicas.

O níquel possui função biológica para as plantas e sua capacidade de bio-acumulação o caracteriza como um elemento altamente tóxico. O principal efeito tóxico se manifesta sob a forma de dermatoses, com evidências de ser cancinorgênico. Alergias, rinites e sinusites também podem compor um quadro clinico, e os debatidos efeitos cancerígenos nas vias nasais, pulmões e outros órgãos. Existem também pesquisas sobre os possíveis efeitos sobre fetos e degeneração no coração. (TONANI, 2008 ; COTTA, 2003).

3.3.8 Zinco (Zn)

As principais ocorrências são na Blenda, Zincita e Calamina, sendo a principal o sulfeto de Zinco, geralmente associado a Pb, Cd, Cu e Fe.

Os compostos de Zn são usados nas ligas metálicas, galvanização, eletrodos, galvanoplastia, fabricação de plástico, baterias, preservativo de madeira, dieta suplementar de animais, materiais à prova de fogo e indústria farmacêutica.

Do mesmo grupo do Cobre, o Zinco é essencial para a saúde humana e sua toxidade depende da concentração no organismo. Sua capacidade de bioacumulação oferece risco com a ingestão de doses tóxicas, quando presente no ecossistema aquático, onde naturalmente ocorre em pequenas quantidades.

Ingerido pelos alimentos, apesar de pouco conhecido o papel do Zn no organismo, parece estar associado a funções enzimáticas, síntese de proteínas e metabolismo dos carboidratos. Intoxicações humanas por Zn causam febre, diarreia e problemas gastrointestinais. (PETRONI, 1999).

Amaral Sobrinho *et al.* (1992) avaliaram os teores de metais pesados em fertilizantes e corretivos enriquecidos com zinco e concluíram que esses produtos possuem níveis baixos de metais pesados; no entanto, usados contínua e indiscriminadamente, poderão acarretar problemas graves de contaminação.

3.3.9 Cobalto (Co)

O cobalto é um micronutriente essencial aos processos bioquímicos do desenvolvimento e crescimento da maior parte dos animais. È um componente da vitamina B12. O excesso pode causar danos na tireoide e no coração e possíveis efeitos cancerígenos.

O cobalto não é um elemento muito abundante, mas está bastante distribuído nas rochas, no mar, em águas minerais e carvão. Praticamente todo o cobalto que é utilizado no mundo provém do tratamento de minérios complexados com outros elementos, nomeadamente cobre e níquel. O cobalto e seus compostos são largamente utilizados em laboratórios e nas indústrias como catalisador. (RODRIGUEZ, 2001, p. 61)

3.3.10 Cobre (Cu)

Metal nobre, conhecido por ser um ótimo condutor elétrico, esse elemento está presente em todo tipo de instalações elétricas. Ocorre naturalmente nos minerais Cuprita e Malaquita e é abundante nas rochas sedimentares e sedimentos. (ELEUTÉRIO, 1977).

A entrada no ambiente ocorre principalmente pela mineração, fundição, combustão do carvão, fertilizantes, incineração de resíduos, indústria têxtil, esgotos e antiaderentes de pinturas.

Essencial às plantas e animais, tem importante papel na síntese da clorofila, hemoglobina e atua no combate aos radicais livres, atua no tecido ósseo conjuntivo e sistema imunológico (TONANI, 2008). O principal meio de ingestão é pela alimentação; no organismo, parte é absorvida e parte é eliminada. Por suas funções biológicas, a acumulação do Cu varia de acordo com a capacidade de metabolização de cada organismo e do período de meia vida. A ingestão de níveis tóxicos depende do comportamento supracitado.

Os efeitos da intoxicação são pouco conhecidos, dos quais pode se mencionar náuseas, vômitos, diarreias, anemia hemolítica e danos no trato gastrointestinal. Quanto ao efeito crônico, conhece-se bem o Mal de Wilson, responsável pelo acúmulo de Cu no fígado, cérebro e rim. (ANJOS, 2003)

3.3.11 Ferro (Fe)

O Ferro é um dos elementos mais conhecidos, seja por sua ampla distribuição na superfície terrestre e utilização na indústria seja pela sua função no metabolismo humano. As fontes antropogênicas são as indústrias, mineração, esgotos domésticos e fertilizantes agrícolas.

Os solos e as rochas fornecem o ferro encontrado na água, onde é o elemento de maior concentração, corroborando com as altas taxas de assimilação pelas plantas e animais. A oxi-redução do Fe em solos tropicais é uma forma visível dos processos químicos desse elemento, que em áreas ricas pode precipitar-se sobre a lâmina d'água; a forma dissolvida Fe^{2+} confere cor, sabor e odor às águas além de favorecer o crescimento de bactérias e permitir incrustação (LIBÂNEO, 2008).

A deficiência no organismo humano provoca anemia hipocrônica e altera o metabolismo muscular. O principal dano causado pelo excesso de Fe ocorre no fígado e nos tecidos e há riscos de câncer. Estudos apontam a influência da intoxicação no desenvolvimento do Mal de Parkinson.

3.3.12 Manganês(Mn)

Encontrado em toda a superfície terrestre, principalmente na pirolusita, carbonatos e silicatos. Micronutriente essencial ao metabolismo dos seres vivos, sua toxidade está associada à quantidade ingerida e à formação de complexos orgânicos.

Usado nos processos industriais em ligas não ferrosas, devido à sua baixa solubilidade, tem como principal via de exposição a inalação, e a contaminação caracteriza a doença denominada manganismo, caracterizada como doença neuropsíquica.

O Mn participa da fotossíntese e é usado como enzima na respiração e no metabolismo do nitrogênio nas plantas e animais. Nos animais, incluindo o homem, a intoxicação pode atingir o feto, uma vez que participa da formação dos tecidos ósseos e sanguíneos, sendo permeável à barreira placentária.A forma dissolvida Mn^{+2} pode causar manchas em roupas e louças sanitárias, causando desconforto à população. (LIBÂNEO, 2008)

3.3.13 Magnésio (Mg)

Originado nas rochas carbonáticas, em um elemento muito solúvel, funciona como um elemento suporte na adsorção dos metais aos MPS e sedimentos.

Essencial a plantas, pode se tornar tóxico em grandes concentrações, tanto para plantas quanto para animais.

3.3.14 Alumínio (Al)

O alumínio, presente nas rochas e solos, apresenta concentrações normalmente baixas em águas naturais, consequência da baixa solubilidade no pH, entre 6,0 e 9,0, usualmente encontrado nos ambientes aquáticos.

Muito usado na indústria automobilística, o Al vem da bauxita, o mineral que se distribui em jazidas na superfície terrestre, ocorrendo também nas argilas, micas e feldspatos. Sua presença nas águas está associada às fontes antropogênicas.

Um elemento não essencial, que, para Baird (2002, p.478), atua no efeito das águas ácidas sobre os peixes. O íon se precipita como hidróxido, quando entra em contato com as brânquias, menos ácidas, dos peixes formando um gel, que impede a absorção do oxigênio dissolvido na água, sufocando o peixe. A mobilização do alumínio nos solos pode ser uma das influências negativas da chuva ácida para o ambiente, prejudicando, por exemplo, o desenvolvimento da vegetação.Os hidróxidos de Al são importantes nos estudos de metais pesados, já que eles funcionam como uma importante fonte de adsorção desses elementos.

3.3.15 Cálcio (Ca)

O cálcio ocorre nas águas superficiais, em variadas proporções, dependendo das rochas, solos e fontes de poluição. A presença do Ca e do Mg nos ambientes aquáticos diminui a toxidade dos metais pesados. O cálcio é um macronutriente essencial aos vertebrados e invertebrados e desempenha importante papel no ciclo do carbono (carbonato de Cálcio).

4.0 METODOLOGIA

Os procedimentos metodológicos incluíram três fases principais: trabalhos de campo, análises laboratoriais e atividades em gabinete (FIG. 32).

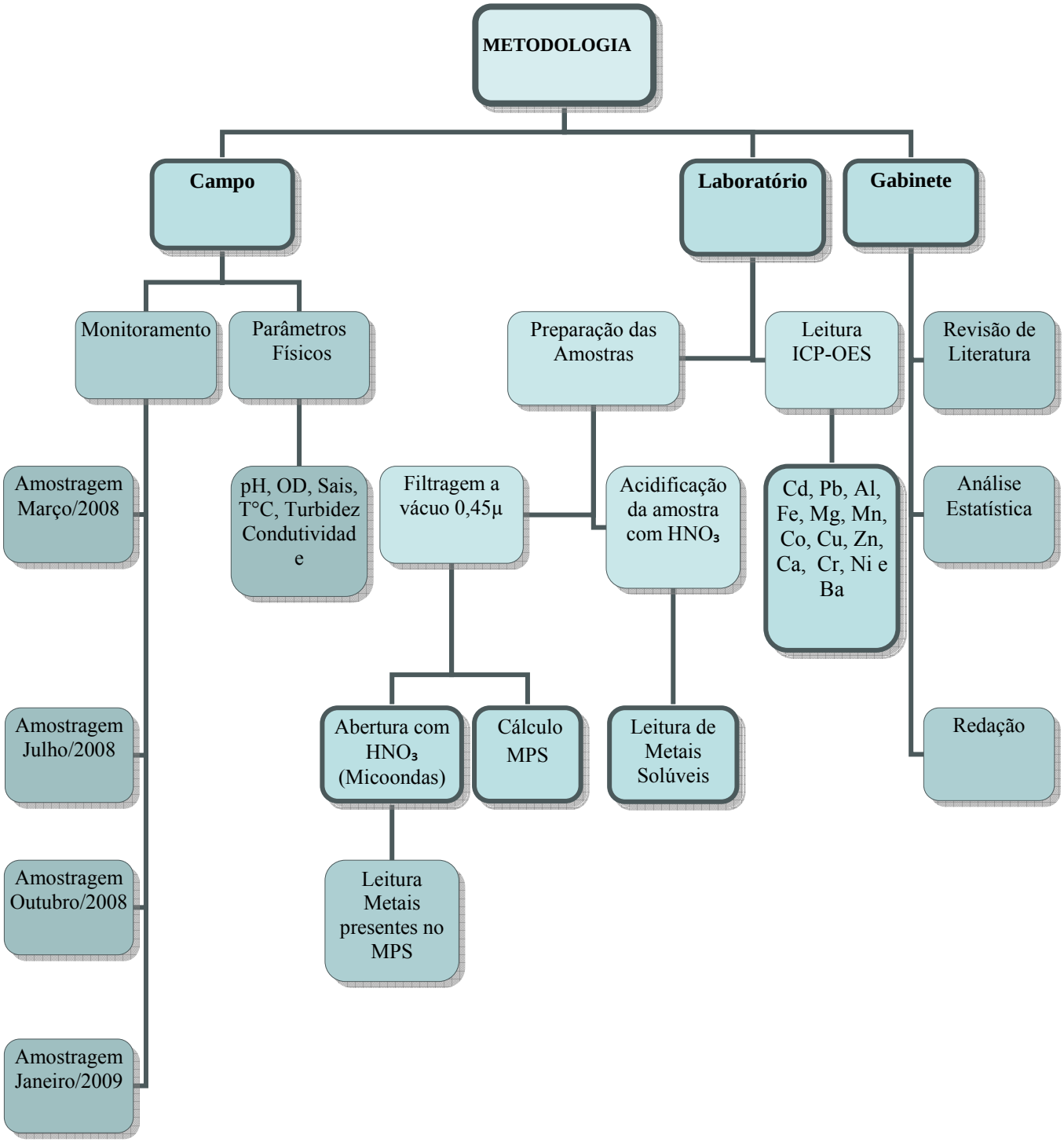


FIGURA 32 - Fluxograma metodológico.

A revisão de literatura desenvolveu-se durante todas as etapas da pesquisa - na caracterização da área de estudo, na discussão da qualidade da água e da contaminação por metais pesados - fornecendo suporte para a argumentação sobre os resultados obtidos no estudo.

Os trabalhos de campo foram fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho, tendo em vista sua importância na caracterização da área de estudo, na elaboração dos mapas de uso do solo, na identificação das fontes de poluição, na definição da rede de monitoramento e na coleta das amostras.

O trabalho laboratorial incluiu a preparação das amostras, o desenvolvimento da metodologia e a leitura dos metais pesados solúveis e nos particulados em suspensão.

A delimitação da área de estudo considerou o contexto ambiental, sócio-econômico e cultural do Rio São Francisco. A tradição pesqueira das comunidades ribeirinhas ainda tem grande representatividade nesse segmento do rio. No ano de 2005, uma mortandade de peixes (bioindicadores) no Rio São Francisco despertou a atenção da comunidade local e de geocientistas para a problemática da contaminação da água.

A possível existência de altas concentrações de metais pesados nas águas superficiais do Rio São Francisco enfatiza a necessidade de pesquisas objetivando identificar as áreas - fonte desses contaminantes, que podem conduzir, num segundo momento, as alterações geoquímicas nos ambientes físico e biológico, bem como efeitos deletérios à população.

As amostras da represa de Três Marias foram definidas como referência para avaliação de metais visto que permite a comparação com os dados a jusante do barramento. O segmento da bacia até Pirapora passou por intensas transformações do uso do solo a partir da implantação de atividades agrícolas e industriais. O Rio das Velhas definiu o limite norte da área de trabalho, uma vez que a bacia vem sendo estudada e a carga de poluição transportada influencia nas reações físico-químicas e na qualidade da água.

4.1 Trabalhos de Campo

O primeiro trabalho de campo teve como objetivo o conhecimento e a caracterização da área de estudo. Nessa primeira fase, foram coletados pontos para o georreferenciamento da área de estudo e dados do uso e ocupação do solo.

Todos os pontos foram marcados com Global Position System (GPS) de navegação, com precisão média de 7m. Para o georreferenciamento, foram coletados pontos nas vias principais, foz de afluentes do São Francisco, possíveis de serem identificados nas imagens de satélite. Para o mapeamento da cobertura do solo, foram coletados pontos com a referida identificação do uso do solo.

Outras quatro campanhas de campo ocorreram durante o monitoramento da qualidade da água. A amostragem trimestral ocorreu entre março de 2008 e janeiro de 2009. Durante o monitoramento, foi realizada a conferência do mapeamento e a aferição da escala.

4.2 Monitoramento

Para a definição dos pontos de amostragem da rede de monitoramento, foi utilizada a base hidrográfica das cartas topográficas do Serviço Geográfico do Exercito (SGE) de 1969, na escala na escala 1:100.000 (ANEXO B), a partir ; da qual foram estabelecidos pontos de coleta, distribuídos entre o Rio São Francisco e a Foz dos Principais Afluentes. Para sistematizar a definição dos pontos no Rio São Francisco, foi utilizado um espaçamento médio de 3km entre os pontos. Além desses, foi definido um ponto de coleta do efluente industrial, localizado no distrito industrial da cidade de Pirapora, e um ponto de background na represa de Três Marias.

Os pontos de coleta das amostras de água totalizaram 60 (TAB. 2) ao longo deste segmento (FIG. 33). Os Córregos Barreiro Grande, Consciência, Aldedo Dourado, Luanda, Espírito Santo, São José, Rio Abaeté e Rio de Janeiro (localizam-se nos primeiros 50 km do Rio São Francisco) a jusante tem-se o Ribeirão da Tapera, Ribeirão do Atoleiro, Córrego Cedro, Rio do Formoso e o Córrego das Pedras em Buritizeiro. Nestes afluentes foram coletadas amostras a montante, na confluência do córrego e a jusante.

Na área do distrito industrial de Pirapora, a rede de amostragem foi mais densa, com o objetivo de verificar a possível influência dos particulados emitidos pela indústria metalúrgica (precipitação seca na lamina d'água e solos) e do efluente industrial liquido lançado no Rio São Francisco.

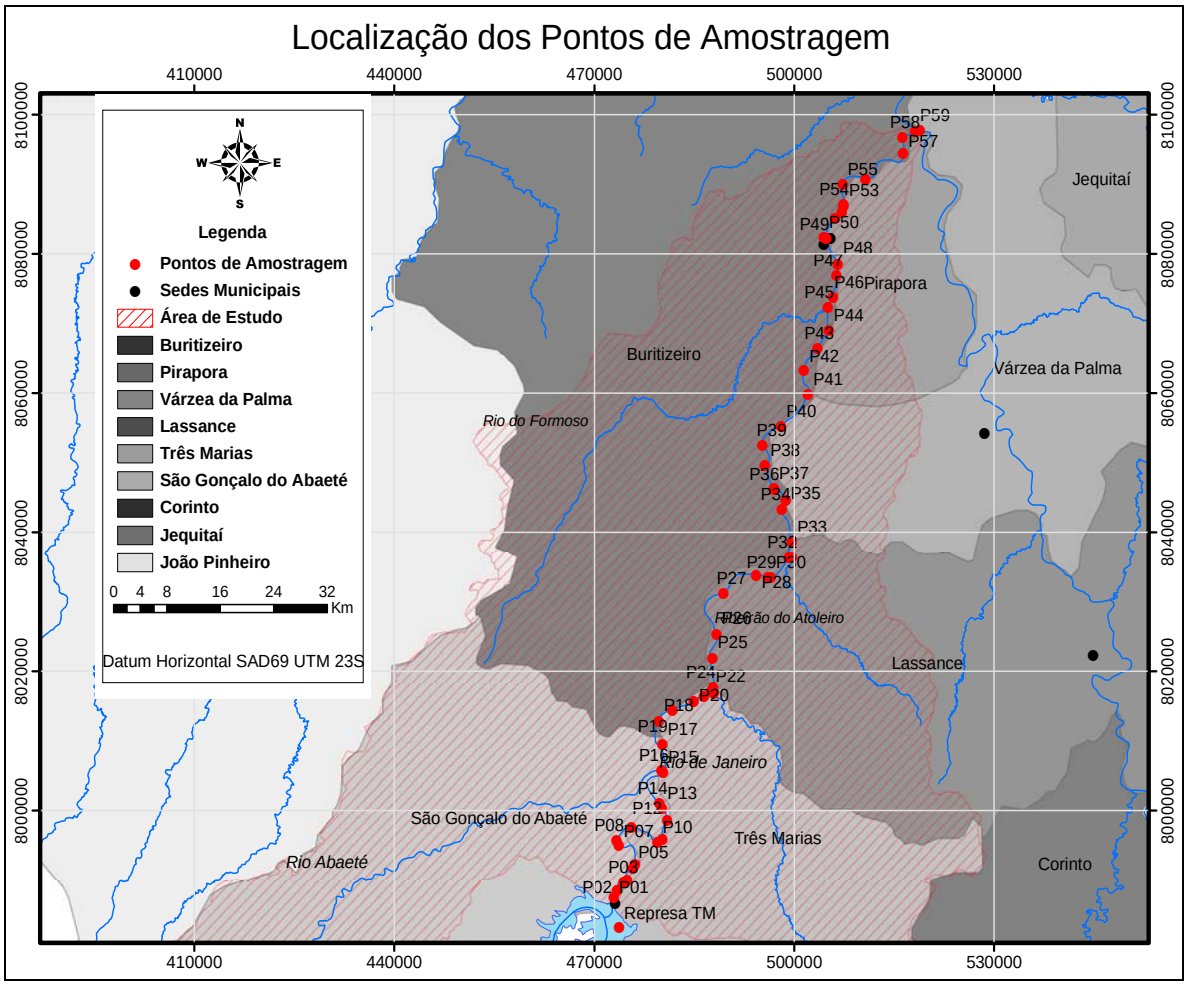


FIGURA 33 - Mapa de Localização dos pontos de amostragem na área de estudo considerando o contexto hidrográfico e dos municípios.

As coletas de amostras foram realizadas em março, julho e outubro de 2008, sendo a última amostragem realizada em janeiro de 2009. O monitoramento trimestral foi importante devido à intenção de identificar os fatores contaminantes permanentes e sazonais, caracterizados pela significativa diferença climática entre as estações úmidas e secas, principalmente pelo carreamento do material superficial e mobilização de materiais presentes nos sedimentos e solos.

Para a coleta das amostras, foi utilizado um barco para o deslocamento entre os pontos. Cada campanha de campo do monitoramento teve duração de três dias para a coleta, o segmento foi dividido em três partes: a 1ª a jusante da barragem de Três Marias ao Afluente Rio de Janeiro; a 2ª do Rio de Janeiro à cidade de Pirapora e a 3ª de Pirapora ao Rio das Velhas.

TABELA 2
Descrição dos pontos de amostragem

Ponto	UTM 23K	Localização	Altitude	Descrição
1	473386,714 7987336,043	Rio São Francisco	515,179	Jusante do barramento da represa da usina hidrelétrica da CEMIG
2	473445,913 7988477,070	Afluente Córrego Barreiro Grande	512,745	Pequeno Córrego que recebe os efluentes domésticos da Cidade de Três Marias.
3	474848,803 7989999,519	Rio São Francisco	509,621	Entre o Córrego Barreiro Grande e Córrego Consciência.
4	474888,503 7989960,816	Afluente Córrego Consciência	508,900	Córrego que recebe os efluentes da indústria de beneficiamento de Zinco da CMM.
5	475965,216 7992172,356	Rio São Francisco	514,187	Entre o Córrego Consciência e Aldedo Dourado
6	476100,304 7992339,606	Afluente Aldedo Dourado	517,311	Pequeno Córrego localizado a margem direita do RSF.
7	473372,199 7995699,950	Rio São Francisco	512,985	Entre o Córrego Aldedo Dourado e o Córrego Lucinda.
8	473333,556 7995791,047	Afluente Córrego Lucinda	515,629	Pequeno córrego localizado a margem esquerda do RSF.
9	475537,838 7997631,060	Rio São Francisco	512,745	Rio São Francisco
10	480141,799 7995850,688	Rio São Francisco	524,281	Montante do Rio Espírito Santo.
11	480227,558 7995826,358	Afluente Rio Espírito Santo.	520,435	Bacia do Rio Espírito Santo
12	480930,189 7998563,852	Rio São Francisco	503,372	Próximo a Sitiantes
13	479810,129 8001006,845	Rio São Francisco	508,900	Montante do Córrego São José
14	479787,933 8001045,650	Afluente Córrego São José	513,466	Córrego localizado a margem direita do Rio São Francisco.
15	480336,777 8005527,101	Rio São Francisco.	516,590	Montante do Rio Abaeté
16	480074,663 8005848,783	Rio Abaeté	515,629	Bacia do Rio Abaeté.
17	480198,946 8009511,343	Rio São Francisco	504,093	Jusante do Abaeté próximo a ilha.
18	479652,601 8012910,210	Rio São Francisco	505,054	Sítios
19	481676,855 8014408,070	Rio São Francisco	492,077	Ilha
20	484939,994 8015726,896	Rio São Francisco	492,077	Jusante da Ilha.
21	486405,054 8016427,325	Rio São Francisco	497,845	Rio São Francisco.
22	487715,673 8017401,789	Rio São Francisco	493,759	Montante do Rio de Janeiro
23	487946,394 8016827,995	Afluente Rio de Janeiro	493,038	Bacia do Rio de Janeiro
24	487864,550 8017723,175	Rio São Francisco	494,000	Jusante do Rio de Janeiro
25	487741,785 8021950,168	Rio São Francisco	495,441	Ilha

TABELA 2 (Continuação)
Descrição dos pontos de amostragem

Ponto	UTM 23K	Localização	Altitude	Descrição
26	488312,765 8025414,386	Rio São Francisco	493,519	Ilha
27	489357,836 8031229,147	Rio São Francisco	493,278	Rio São Francisco
28	494279,834 8033804,101	Rio São Francisco	493,759	Rio São Francisco
29	496067,625 8033490,178	Afluente	487,991	Bacia do Ribeirão da Tapera
30	496217,862 8033483,503	Rio São Francisco	494,961	Jusante do Ribeirão da Tapera
31	499200,749 8036394,193	Rio São Francisco	491,356	Canal Anastomosado/entrelaçado.
32	499682,877 8036444,487	Afluente	490,875	Bacia do Ribeirão do Atoleiro
33	499644,353 8038521,840	Rio São Francisco	491,836	Jusante do Ribeirão do Atoleiro.
34	498139,142 8043311,842	Rio São Francisco	490,154	Rio São Francisco.
35	498681,579 8044577,980	Rio São Francisco	487,511	Montante do Córrego Cedro
36	497061,026 8046187,983	Afluente	487,511	Bacia do Córrego Cedro
37	497055,477 8046205,212	Rio São Francisco	487,511	Jusante do Córrego Cedro
38	495596,811 8049700,155	Rio São Francisco	487,751	Ilha
39	495267,937 8052467,211	Rio São Francisco	482,944	Rio São Francisco
40	498029,847 8055215,801	Rio São Francisco	488,472	Ilha dos Prazeres
41	502055,253 8059781,208	Rio São Francisco	485,107	Comunidade de Pedra de Santana
42	501449,142 8063191,471	Rio São Francisco	485,107	Jusante da Comunidade Pedra de santana
43	503466,925 8066483,748	Rio São Francisco	483,425	Ilha
44	505155,409 8069009,961	Rio São Francisco	477,657	Rio São Francisco
45	505071,806 8072348,162	Afluente Rio do Formoso	482,223	Bacia do Rio do Formoso
46	505823,754 8073790,123	Rio São Francisco	481,262	Ilha/Córrego Marambaia
47	506315,426 8076945,423	Rio São Francisco	482,464	Ilha dos Prazeres/Jusante do Córrego Marambaia Lagoas Marginais
48	506538,375 8078584,231	Rio São Francisco	484,627	Inicio da área urbana de Pirapora
49	504826,242 8082699,238	Rio São Francisco	465,641	Área Urbana de Pirapora
50	504804,518 8082839,466	Afluente Córrego das Pedras	468,780	Bacia do Córrego das Pedras localizada na área urbana de Buritizeiro.
51	506176,894 8085153,601	Rio São Francisco	469,005	Distrito Industrial de Pirapora, área das Dragas

TABELA 2 (Continuação)
Descrição dos pontos de amostragem

Ponto	UTM 23K	Localização	Altitude	Descrição
52	506861,909 8085715,962	Rio São Francisco	474,533	Distrito Industrial de Pirapora, área da Codeba
53	507309,031 8086562,500	Rio São Francisco	468,284	Indústrias
54	507448,410 8087085,455	Rio São Francisco	468,284	Efluente Industrial
55	506839,436 8088854,217	Rio São Francisco	475,254	Jusante do Efluente Industrial
56	510705,325 8090704,511	Rio São Francisco	473,812	Sítios
57	516327,508 8094502,886	Rio São Francisco	477,177	Projeto Agrícola de Fruticultura
58	516257,580 8096792,899	Rio São Francisco	475,014	Rio São Francisco
59	518074,461 8097696,912	Rio São Francisco	473,091	A montante da foz do Rio das Velhas
Represa	472230,469 7985991,000	Rio São Francisco	520,053	Montante do Barramento da Represa em Três Marias

4.3 Parâmetros Físico-Químicos

Para uma melhor interpretação dos resultados e caracterização da qualidade da água, além dos dados de metais pesados, foram analisados alguns parâmetros físico-químicos (ANEXO C), cujas leituras foram feitas em campo e em laboratório. As leituras em campo foram realizadas com aparelhos portáteis, diretamente na lâmina d'água, no corpo hídrico ou após o término da coleta em laboratório.

As analises de pH, Temperatura, Condutividade Elétrica (CE) e Sólidos Totais Dissolvidos (STD) foram realizadas por meio de um aparelho multiparâmetro, previamente calibrado. Foi utilizado o aparelho Combo pH/EC/TDS/Temp Waterproof Family/HI198129 da HANNA instruments.

As medidas de oxigênio dissolvido (OD) foram realizadas com um instrumento simples, composto pelo sensor de OD e termômetro. Para as medições de OD, foi utilizado o Oxigen Meter da HANNA instruments modelo: DO-5510.

Em campo, o procedimento metodológico consistiu na imersão do sensor na lâmina d'água, que, após alguns segundos, se estabiliza; um leitor digital fornece os dados dos parâmetros com o comando de um botão de navegação simples.

A turbidez foi obtida em campo no final de cada dia de coleta. Para leitura, uma amostra de 10 ml é colocada em frasco de vidro, que, inserido no turbidímetro, fornece a leitura da amostra em um leitor digital. Nesse procedimento, foi utilizado turbidímetro portátil HI 93703 da HANNA instruments.

O Calculo do Material Particulado em Suspensão (MPS) foi obtido a partir da filtragem da amostra em micropore 0,45. Os filtros foram deixados na estufa por 24 horas (90°) pesados (Balança de precisão 0,00001g) depois da filtragem o processo foi repetido. A partir da diferença do peso do filtro com a amostra (P_2) e o filtro vazio (P_1) dividido pelo volume da amostra (V) obteve-se o MPS em mg/l.

$$MPS_{(mg/l)} = (P_{2\,(g)} - P_{1\,(g)}) * 10^6 / V_{(ml)}$$

4.4 Metais Pesados (MP)

Para a obtenção dos dados de Metais Pesados, desenvolveram-se algumas etapas principais, desde a coleta das amostras, filtragem, abertura dos filtros e leitura no Espectrômetro de Emissão Atômica (ICP – OES).

4.4.1 Coleta das Amostras

Para a coleta das amostras, foram usadas garrafas polietileno de 600 ml, previamente lavadas, descontaminadas com Ácido Nítrico 10% e homogeneizadas com água do local por três vezes.

Depois de coletadas, essas amostras foram armazenadas e transportadas em caixas térmicas, conservadas com gelo. Nessas condições, elas deram entrada no laboratório de Geoquímica Ambiental do Centro de Pesquisa Manoel Teixeira da Costa (CPMTC) da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), onde foram refrigeradas a 4°C.

Após a preparação, as amostras foram enviadas para leitura no Laboratório de ICP do CPMTC/UFMG. Durante todo processo laboratorial, também foi utilizado o Laboratório de Química do supracitado centro de pesquisa.

Visando preservar as amostras, todo procedimento de Coleta foi baseado nas definições da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) de 1988.

4.4.2 Preparação das Amostras para Análises de Metais.

A primeira etapa da preparação das amostras é a filtragem. Nesse processo, foram utilizados filtros brancos de Nitrato de Celulose, com porosidade 0,45µm e 47 mm de diâmetro (Sartorius Stedim Biotech), em bomba a vácuo (Prismatec 132B/2VC). Com esse processo ocorre a separação dos coloidais e do material particulado em suspensão.

Após a filtragem, duas amostras de 30 ml foram acidificadas com Ácido Nítrico até o pH 2,0 e armazenadas na geladeira a 4°C (Friomax GC1000), de onde seguiram para a leitura no ICP-OES. Dessas amostras filtradas foram obtidos os metais dissolvidos (ANEXO D).

A segunda etapa refere-se à preparação do material particulado em suspensão (MPS), retido nos filtros pelo processo de filtragem. Para a leitura dos metais presentes no MPS (ANEXO E), foi realizada uma abertura com ácido nítrico. A abertura dos filtros foi realizada em micro-ondas (Microwave Acceleration Reaction System - MARS 5 Versão 194A06 / Copyright 1997, 2007) e baseou-se na metodologia da Environmental Protection Agency (EPA) 3051. Nesse método, o material e submetido a uma rampa de temperatura de 10 minutos (tempo de Rampa), chegando a 180°C, na qual permanece por mais 5 minutos (tempo de Hold). Para a abertura, os filtros foram quebrados com pinça de plástico, previamente descontaminada, e colocadas nos tubos teflon express, nos quais foram adicionados 5 ml de Ácido Nítrico (HNO_3).

O procedimento de abertura no micro-ondas tem um tempo total de 40 minutos, sendo então os tubos retirados do forno e pré-abertos na capela por 10 minutos para liberação dos gases gerados durante a digestão. Posteriormente, o material é transferido para balões calibrados e avolumados para 10 ml. Esse material é filtrado[12] e armazenado em frascos plásticos em geladeira até o procedimento de leitura no ICP - OES.

Os metais totais apresentados resultaram da soma dos valores obtidos na parte dissolvida e do particulado em suspensão, separadamente conforme metodologia descrita

[12] No processo de digestão com HNO_3 não ocorreu a destruição total da matriz restando algumas partículas em suspensão que foram retiradas por filtragem (0,45 µm) antes da leitura no ICP.

acima. As leituras dos metais dissolvidos, presentes no MPS, e totais foram importantes para a avaliação ambiental guiada pela legislação ambiental, cujos padrões variam para cada metal.

4.4.3 Análise Química dos Metais Pesados

A espectroscopia atua na geração, observação e registro da atração eletromagnética emitida ou absorvida por átomos, íons e moléculas; quando aplicado a problemas químicos é chamada espectroquímica. Essas análises podem ser baseadas na absorção ou emissão da radiação dos átomos ou moléculas.

O Inductively Coupled Plasma (ICP) ou Plasma acoplado indutivamente foi um dos mais importantes avanços da espectroquímica e vem sendo adicionado aos espectrômetros, com a vantagem da alta taxa de detecção, grande acurácia e funções analíticas simples em grandes concentrações, em que o predomínio dos átomos ionizados sobre os neutros favorece a obtenção de limites de detecção mais baixos.

A espectrometria de emissão óptica (OES) está entre os mais destacados métodos dentro da química analítica, com interesse pela introdução da excitação espectral pelo sistema de plasma de argônio. Essa técnica auxilia a geoquímica, pois a maioria dos elementos químicos é encontrada em traços e, portanto, seu estudo exigi métodos de alta sensibilidade. (FORMOSO *et. al.*, 1984, p. 122).O espectrômetro é composto por um sistema eletrônico de detecção de leitura direta para determinação de multielementos. Seu diferencial está na possibilidade da leitura quantitativa de vários elementos com um único procedimento.

As análises foram realizadas no laboratório de ICP do CPMTC/UFMG com o aparelho Spectroflame – ICP P/M da Spectro analytical Instruments. O Espectrômetro de Emissão Atômica com Plasma Acoplado Indutivamente, utilizando chama de argônio, foi utilizado para leitura de todos os elementos. Os metais analisados foram Magnésio, Alumínio, Cálcio, Cromo, Ferro, Cobalto, Cobre, Cádmio, Manganês, Níquel, Zinco, Bário e Chumbo.

Alguns desses elementos se destacam como elementos suporte na adsorção de metais, outros pela toxidade bem como pela presença associada a atividades antrópicas. Os

resultados foram expressos em parte por milhão (ppm), considerando os limites de detecção do aparelho (TAB. 3).

TABELA 3
Limites de detecção e curva de leitura dos Metais Pesados.

Elemento	Límite de Detecção LD (ppm)	Límite de Quantificação LQ[13] (ppm)
Magnésio (Mg)	0,0158	0,0743
Alumínio (Al)	0,0037	0,0174
Cromo (Cr)	0,0015	0,0071
Ferro (Fe)	0,0016	0,0752
Cobalto (Co)	0,0029	0,0136
Cálcio (Ca)	0,0094	0,0442
Cobre (Cu)	0,0011	0,0052
Cádmio (Cd)	0,0013	0,0631
Titânio (Ti)	0,0007	0,0033
Manganês (Mn)	0,0016	0,0075
Níquel (Ni)	0,0110	0,0517
Zinco (Zn)	0,0012	0,0056
Bário (Ba)	0,0074	0,0348
Chumbo(Pb)	0,0150	0,0705

Fe, Al, Mg, Ca e o Mn têm importante significado na avaliação de metais pesados, devido à capacidade desses elementos de adsorver os metais pesados, pois podem influenciar na disponibilidade e níveis de toxidade dos metais.

Nos ambientes aquáticos, a dinâmica dos metais no perfil sedimento-água é muito influenciada pela presença dos óxidos e hidróxidos de Fe, Al, Mn. O Ca e Mg atuam, principalmente, influenciando na acidez das águas e solubilidade dos metais.

Os metais pesados Cd, Pb, Zn, Cu, Co, Ni e Cr estão entre os elementos com maior ocorrência de problemas ;quanto aos efeitos tóxicos aos organismos vivos, sendo que na área em estudo esses metais podem ter fontes associadas principalmente à indústria e à agricultura.

A avaliação da qualidade da água utilizou como referência a resolução do Conama 357 de 2005, analisando os níveis de concentração e o potencial tóxico para o ambiente em relação aos limites estabelecidos. Mg e Ca não possuem limite estabelecido, no entanto os resultados obtidos são importantes para a avaliação dos níveis desses elementos na área de estudo.

[13] O Limite de Quantificação corresponde a 4,7 *LD (Fonte: Conceitos da ISO para Limites de Detecção e Quantificação ISSO draft ISO/CD 12235. Spectro Analytical Instruments)

Os resultados serão apresentados discutindo-se a distribuição dos metais no segmento, com a análise dos metais totais, dissolvidos e presentes no MPS. A variação sazonal também receberá atenção considerando-se as possíveis fontes de poluição sazonais e permanentes.

4.5 Análise Estatística

Na Analise estatística foram realizados testes de correlação e médias bem como a Análise de Cluster no programa SPSS e a criado de um índice de contaminação.

4.6 Mapas

O mapa de localização da área de trabalho foi elaborado a partir da base de dados do Geominas, utilizando as macrorregiões de planejamento (1994) e a divisão municipal de Minas (1996).

A base de dados das bacias hidrográficas federais e da hidrografia de Minas Gerais do IGAM e as cartas topográficas do SGE também foram utilizadas na elaboração dos mapas do contexto hidrográfico. O mapa de pontos de amostragem foi elaborado a partir dos dados levantados em campo com GPS.

Os dados SRTM (Shuttle Radar Topographic Mission) e as cartas topográficas do Serviço Geográfico do Exército foram utilizados na geração do MDE(Modelo Digital de Elevação), das bacias de drenagem, das áreas de contribuição e na delimitação da área de estudo. Para a elaboração foi utilizado o software ArcGis 9.2.

Para a elaboração do mapa de uso do solo, foram interpretadas imagens de multiespectrais Landsat 5, órbita 219 (Pontos 72/Buritizeiro e 73/Três Marias) de 02/07/1985 e 17/07/2008 classificadas utilizando o software ENVI 4.1.

5.0 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Diagnóstico da Qualidade da Água: níveis de contaminação segundo a Resolução CONAMA 357/2005

A instituição do Sistema Nacional de Meio Ambiente (SISNAMA), Lei 6.938/81), e a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), (Lei 9.433/1997), foram passos importantes na gestão da água no Brasil. As questões de disponibilidade de água passaram a ser mais discutidas no país tanto em termos de quantidade como de qualidade.

O Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) é o órgão consultivo e deliberativo do Sistema Nacional do Meio Ambiente, que tem entre suas ações a proteção ambiental e o uso sustentável dos recursos ambientais, entre as quais se insere as de natureza da qualidade da água.

A Resolução 357/2005 (em substituição a de 10/1986) levou em consideração as prerrogativas da Política Nacional de Recursos Hídricos e uma visão da água integrada à preocupação com o desenvolvimento sustentável, baseado nos princípios da função ecológica da propriedade, da prevenção, da precaução, do poluidor-pagador, do usuário-pagador e da integração, bem como no reconhecimento de valor intrínseco à natureza.

Segundo essa resolução, a classificação das águas é considerada essencial à defesa de seus níveis de qualidade, avaliados por condições e padrões específicos, de modo a assegurar seus usos preponderantes.

O enquadramento dos corpos de água deve estar baseado não necessariamente no seu estado atual, mas nos níveis de qualidade que deveriam possuir para atender às necessidades da comunidade.

A saúde e o bem-estar humano, bem como o equilíbrio ecológico aquático, não devem ser afetados pela deterioração da qualidade das águas. Há a necessidade de se criar instrumentos para avaliar a evolução da qualidade das águas em relação às classes estabelecidas no enquadramento, de forma a facilitar a fixação e o controle de metas, visando atingir gradativamente os objetivos propostos. Também há a necessidade de se reformular a classificação existente para melhor distribuir os usos das águas, melhor especificar as condições e padrões de qualidade requeridos, sem prejuízo de posterior aperfeiçoamento.

Por fim, o controle da poluição está diretamente relacionado com a proteção da saúde, garantia do meio ambiente ecologicamente equilibrado e a melhoria da qualidade de vida, levando em conta os usos prioritários e classes de qualidade ambiental exigidos para um determinado corpo de água.

Nesse contexto, a resolução 357 dispõe sobre a classificação e as diretrizes ambientais para o enquadramento dos corpos de água superficiais, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes.

As águas doces (salinidade igual ou inferior a 0,5 ‰) são classificadas em cinco classes, definidas de acordo com o tipo de tratamento prévio necessário e o uso a que podem ser destinadas. À exceção da classe 4, todas podem ser destinadas ao abastecimento humano.

De acordo com a resolução, o Rio São Francisco, na área de estudo, se enquadra na classe 2, cujas águas podem ser destinadas:

a) ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional;
b) à proteção das comunidades aquáticas;
c) à recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução CONAMA 274, de 2000;
d) à irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto; e
e) à aquicultura e a atividade de pesca.

Os padrões definidos para a classe 1 são aplicáveis à classe 2 com algumas exceções, a exemplo dos valores de Turbidez e Oxigênio Dissolvido.

Os elementos analisados neste trabalho - Al, Ba, Cd, Pb, Co, Cu, Cr, Fe, Mn, Ni e Zn - têm os limites máximos (TAB. 4) definidos para as concentrações dissolvidas ou totais.A definição da forma do elemento está relacionada à sua toxidade e à possibilidade de reação nos organismos.

A forma dissolvida é especificada para elementos que oferecem menor risco, sendo somente sua forma dissolvida passível de incorporação aos organismos. Os metais que oferecem maior risco, mesmo os associados ao material particulado em suspensão (MPS) ou coloidais, podem, em condições químicas ou físicas (solo, sedimento, água, pH, condutividade) diferentes, ser liberados aos organismos, chamando a atenção principalmente os elementos sem função biológica conhecida

TABELA 4
Limites máximos segundo a resolução do CONAMA 357/2005.

Parâmetros	Valor Máximo
Alumínio dissolvido	0,1 mg/L
Ferro dissolvido	0,3 mg/L
Cobre dissolvido	0,009 mg/L
Cobalto total	0,05 mg/L
Cromo total	0,05 mg/L
Cádmio total	0,001 mg/L
Bário total	0,7 mg/L
Manganês total	0,1 mg/L
Níquel total	0,025 mg/L
Zinco total	0,18 mg/L
Chumbo total	0,01 mg/L
Turbidez	100UNT
pH	6,0 a 9,0
OD	>5,0 mg/L
STD	500mg/l

Fonte: CONAMA, 357/2005

5.2 – Parâmetros Físico-Químicos

Os parâmetros físico-químicos representam um importante grupo de dados na caracterização da qualidade da água. Permitem analisar os aspectos naturais bem como identificar fontes de poluição.

Os valores de potencial Hidrogeniônico, Turbidez, Condutividade, Sólidos Totais Dissolvidos (STD), Temperatura e Oxigênio Dissolvido (OD) são também fundamentais para que se entenda a dinâmica dos metais pesados na água. Neste trabalho os dados foram analisados sobre dois aspectos: a variação sazonal e a espacial.

Nos resultados serão mencionados os pontos (FIG.34) de amostragem que seguem uma ordem crescente a jusante da represa de Três Marias (P1) à montante da foz do Rio das velhas (P59).

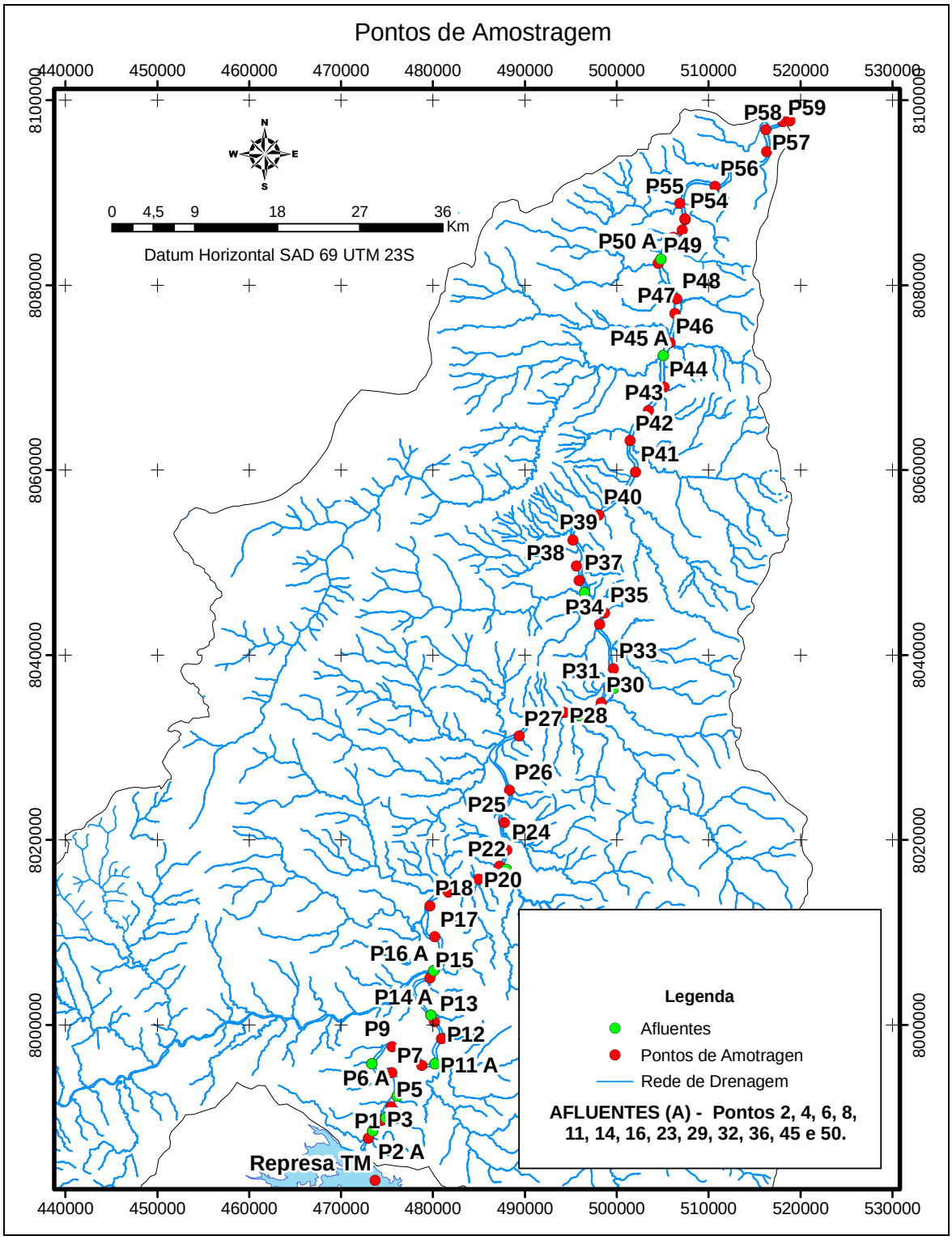


FIGURA 34 - Mapa de localização dos pontos de amostragem.

5.2.1 Potencial Hidrogeniônico (pH)

Ao longo do perfil do RSF e dos seus principais afluentes, os valores de pH variaram entre 6,3 e 8,8 nas quatro amostragens (GRAF. 3). A média do pH foi superior a 7 em todas as estações climáticas, sendo que, no mês de julho, obteve-se os maiores valores do ano com média de 7,7. Nos meses de março, outubro e janeiro, as médias foram respectivamente 7,10; 7,29 e 7,11.

A influência da sazonalidade caracteriza águas ligeiramente mais ácidas no período quente e úmido (março/2008 – janeiro/2009) enquanto na estação seca foram obtidos os maiores valores de pH. Essa variação sazonal é evidenciada pela diferença nos valores de pH entre o RSF e os afluentes Rio de Janeiro e Rio do Formoso (P45), nos quais foi encontrado pH mais básico em julho.

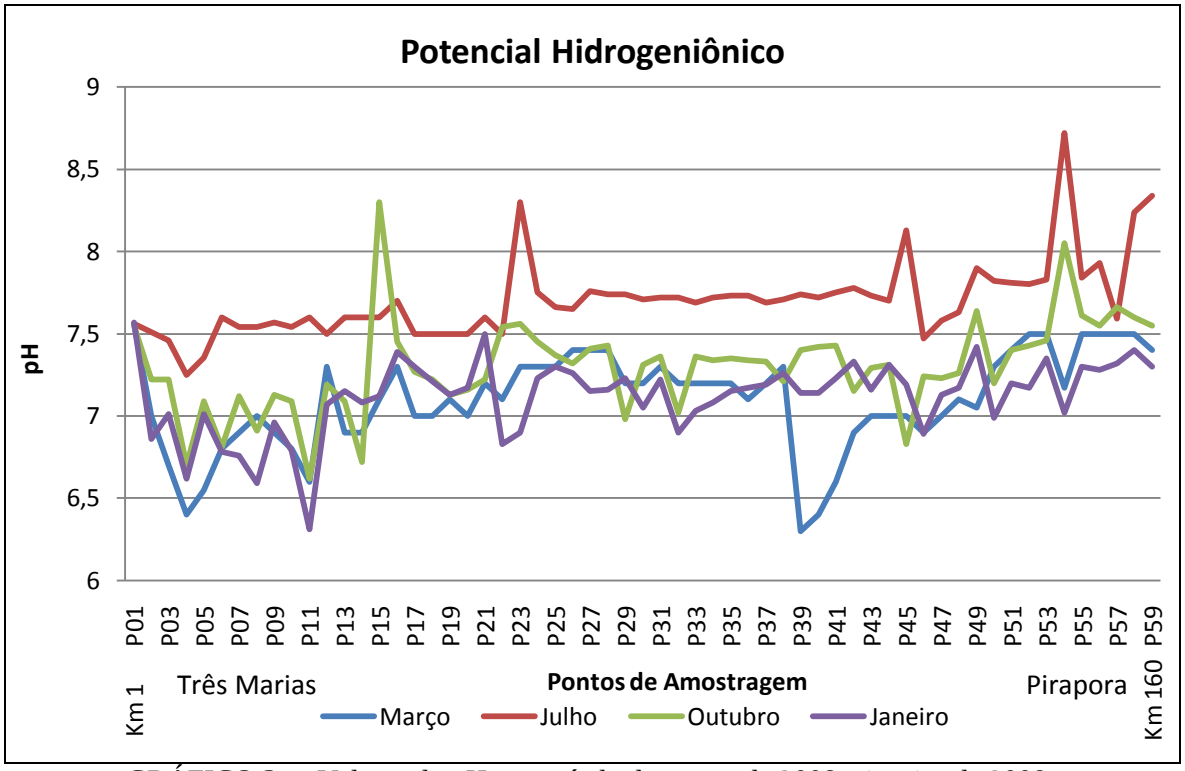


GRÁFICO 3 - Valores do pH no período de março de 2008 e janeiro de 2009.

Observa-se que na estação seca, tendo em vista a ausência da precipitação pluvial, as características ambientais ficam mais evidentes, uma vez que o aporte de material carreado dos solos, que interferem na qualidade da água, é menos evidente, permitindo diferenciar as sub-bacias e os contextos geoambientais.

Apesar da variação dos valores de pH na área de estudo, todos os pontos encontram-se dentro do limite estabelecido pela resolução do CONAMA, que define o intervalo entre 6,0 e 9,0.

Em Três Marias e Pirapora, no entanto, podem ser diferenciadas as áreas de influência urbano-industrial, com pH mais ácido nos córregos que recebem efluentes urbano e industrial em Três Marias (P2 e P4) e na área do efluente industrial em Pirapora (P54). Nesse último ponto, pode ser observada uma grande diferença nos valores do pH entre as estações seca (pH mais básico) e chuvosa (pH mais ácido). As características do pH na estação seca refletem mais as condições do efluente que é lançado no Rio São Francisco uma vez que, neste período, o poder de diluição do rio é menor, evidenciando a possível interferência humana na qualidade da água.

5.2.2 - Temperatura

A temperatura (GRAF. 4) apresenta um padrão bastante representativo da realidade regional, com variação média de 3.7°C entre o verão e inverno.

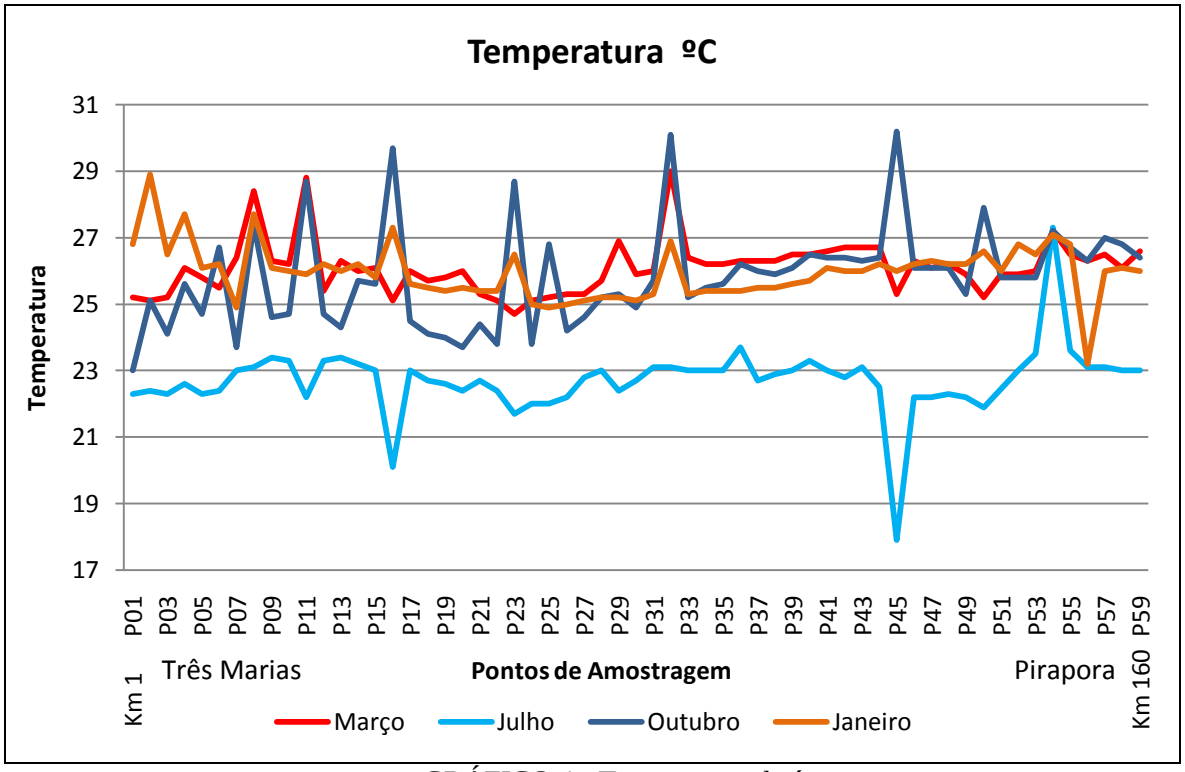


GRÁFICO 4 - Temperatura da água.

Apesar da interferência da variação diária, esses dados caracterizam bem as condições da área de estudo. A variação temporal é confirmada pelas médias da temperatura, que em março foi de 26.1, em julho 22.7, em outubro 25.8 e 25.6 em janeiro.

Não existem normas legais especificas para a temperatura da água. A Resolução CONAMA 357 define apenas um limite máximo de 40ºC para o lançamento de efluentes.

Valores constantes de temperatura foram obtidos na área do lançamento dos efluentes industriais de Pirapora, variando entre 27,01ºC e 27,03ºC; a maior diferença entre a temperatura da área do efluente e a água do rio ocorreu no mês de julho, período no qual obteve-se 27,3°C na área do efluente e 23,5 a montante, resultando em uma diferença de 3,8ºC, que também foi observada a jusante.

Apesar dessa variação no P54, em Pirapora não foram observadas interferências antrópicas que comprometam a qualidade da água quanto às condições térmicas.

5.2.3 - Condutividade e Sólidos Totais Dissolvidos (STD)

Os Parâmetros Condutividade (GRAF. 5) e STD apresentaram dois conjuntos de alterações na área de estudo: a diferença entre os afluentes e o RSF, e altos valores relacionados à presença de atividades industriais.

Segundo Baggio (2008), em relação à condutividade, “em geral, níveis superiores a 100 µS/cm indicam ambientes impactados. A condutividade fornece indicações sobre modificações na composição da água; altos valores de condutividade podendo indicar características corrosivas da água (CETESB, 2007)”. Valores que indicam ambientes impactados foram observados apenas nas áreas urbano-industriais.

Valores baixos de condutividade e de STD (GRAF. 6) foram observados no Córrego Espírito Santo, no Rio de Janeiro e no Rio do Formoso, que podem refletir as características geoquímicas naturais de alguns dos maiores afluentes do RSF na área de estudo. Na estação úmida, a diferenciação entre esses afluentes e o RSF são ampliadas. Essa diferença corrobora os menores valores de Mg, Al, Ca e Fe encontrados nas leituras feitas por ICP.

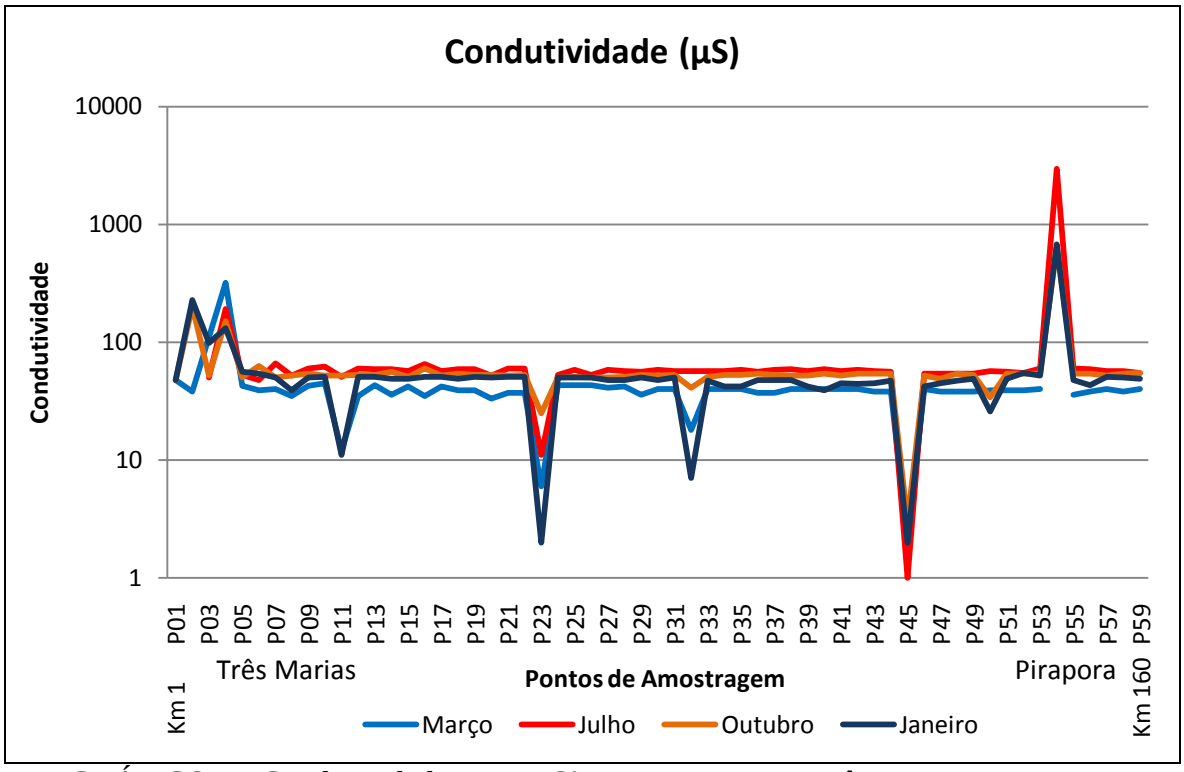


GRÁFICO 5 - Condutividade no Rio São Francisco entre Três Marias e Pirapora.

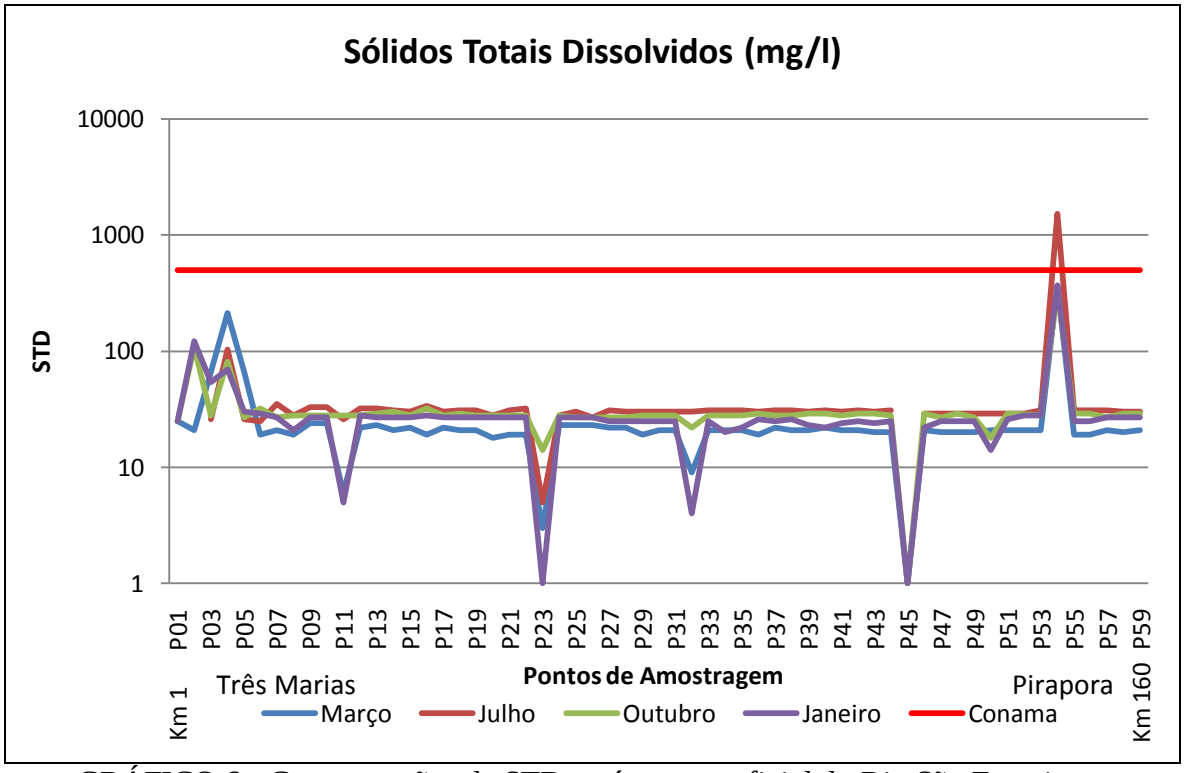


GRÁFICO 6 - Concentrações de STD na água superficial do Rio São Francisco.

Altos valores de condutividade e de sais ocorreram próximos a fontes pontuais de poluição. No Córrego Barreiro Grande (P2), que recebe o esgoto doméstico da cidade

de Três Marias, e no Córrego Consciência (P4), que tem o passivo dos efluentes da indústria de beneficiamento de Zinco, os altos valores de condutividade refletem a degradação da qualidade da água nesses pontos adjacentes à cidade de Três Marias. O ponto 54 também apresentou altos valores, relacionado ao efluente do distrito industrial da cidade de Pirapora, onde os valores de STD encontram-se acima do limite ambiental na amostragem de julho de 2008.

5.2.4 - Oxigênio Dissolvido (OD)

As médias obtidas para o oxigênio dissolvido (GRAF. 7) se mantiveram entre 5 e 7, a média mais baixa foi observada no mês de março com 5.5, no mês de julho foi 6.4, em outubro 5,76 e no mês de janeiro obteve-se a melhor média, com valor 7.

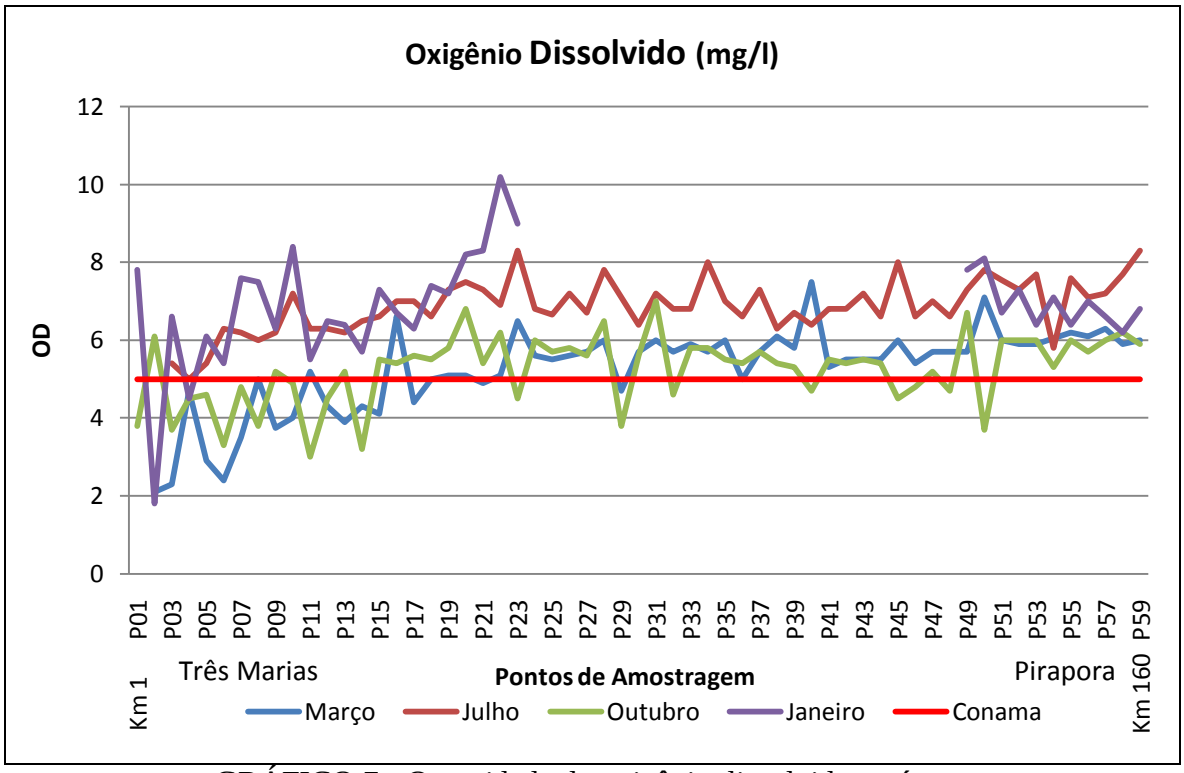


GRÁFICO 7 - Quantidade de oxigênio dissolvido na água.

Em relação aos parâmetros de qualidade da água, a Resolução CONAMA estabelece o valor mínimo de 5mg/l. Alguns pontos apresentaram problemas em relação à baixa quantidade de OD, principalmente nos meses de março e outubro. Dentre as

alterações, chamam a atenção os pontos 2, 3, 4, respectivamente, na foz do Córrego Barreiro Grande, no Rio São Francisco e no Córrego Consciência; nesses locais ocorreram os menores valores, refletindo a poluição por efluentes domésticos orgânicos advindos da cidade de Três Marias e a possível influência do passivo da poluição industrial do córrego Consciência.

5.2.5 - Turbidez

Os valores de turbidez variaram bastante em todas as amostragens (GRAF. 8). As diferenças entre março e julho de 2008, com respectivas médias de 170,34 e 7,27, e entre outubro e janeiro cujas médias foram 19,71 e 39,64UNT refletem a influência da dinâmica pluvial/sazonal nos valores de turbidez.

A influência da represa de Três Marias é bem ilustrada pelos menores valores de turbidez nos pontos localizados nos primeiros 30km a montante do Rio Abaeté.

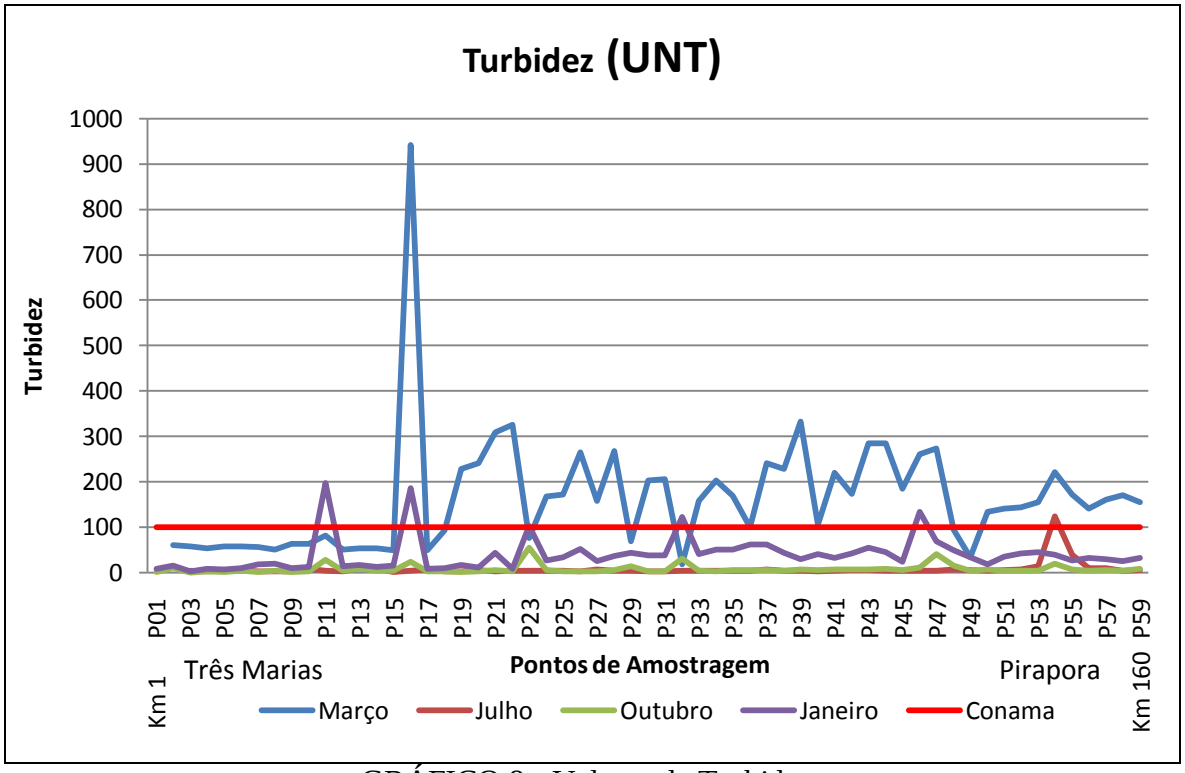


GRÁFICO 8 - Valores de Turbidez.

Quanto à análise ambiental, considerando o valor limite definido pela resolução CONAMA 357 de 100UNT, foram encontrados valores acima do permitido no mês de março, a jusante do Rio Abaeté (entre os pontos 16 e 59). Essas alterações estão relacionadas aos materiais carreados pelas chuvas. O único valor não conforme no mês de julho ocorreu no ponto de lançamento de efluentes industriais em Pirapora. Em janeiro, foram verificados valores acima do limite máximo nos afluentes Rio Espírito Santo, Rio Abaeté, Rio de Janeiro, Ribeirão do Atoleiro e a jusante do Rio do Formoso, que estão relacionados a chuvas ocorridas nas cabeceiras de drenagem dessas sub-bacias.

Os altos valores de turbidez obtidos em março, a jusante do Rio Abaeté, mostram que esse é um fator limitante da qualidade da água durante a estação chuvosa, decorrente do carreamento de materiais na água superficial, que inviabilizam o uso direto da água superficial por períodos subsequentes à precipitação pluvial. Em relação a esse uso da água, as comunidades ribeirinhas são as primeiras a serem impactadas pela deterioração da qualidade da água durante esse período uma vez que a maioria não tem acesso à água tratada.

5.2.6 - Material Particulado em Suspensão (MPS)

As concentrações de MPS (GRAF. 9) nesse segmento do RSF estão associadas à sazonalidade climática e à influência da represa.

A variação sazonal é bem marcada pelos valores máximos em março (760,2) e janeiro (235,9) bem como baixas concentrações de MPS em julho (1,3) e outubro (1,15). Nos meses de maior concentração de MPS, a variação entre os pontos está mais relacionada com a própria ocorrência de precipitações e a variação dessas ao longo da bacia devido à sua extensão.

Uma tendência geral que pode ser observada é um aumento crescente do MPS a jusante dos primeiros 30 km, trecho coincidente com o segmento a jusante da represa em Três Marias, observando-se um aumento significativo na concentração de MPS, que reflete a diminuição da influência do barramento do lago na retenção de sedimentos e do MPS.

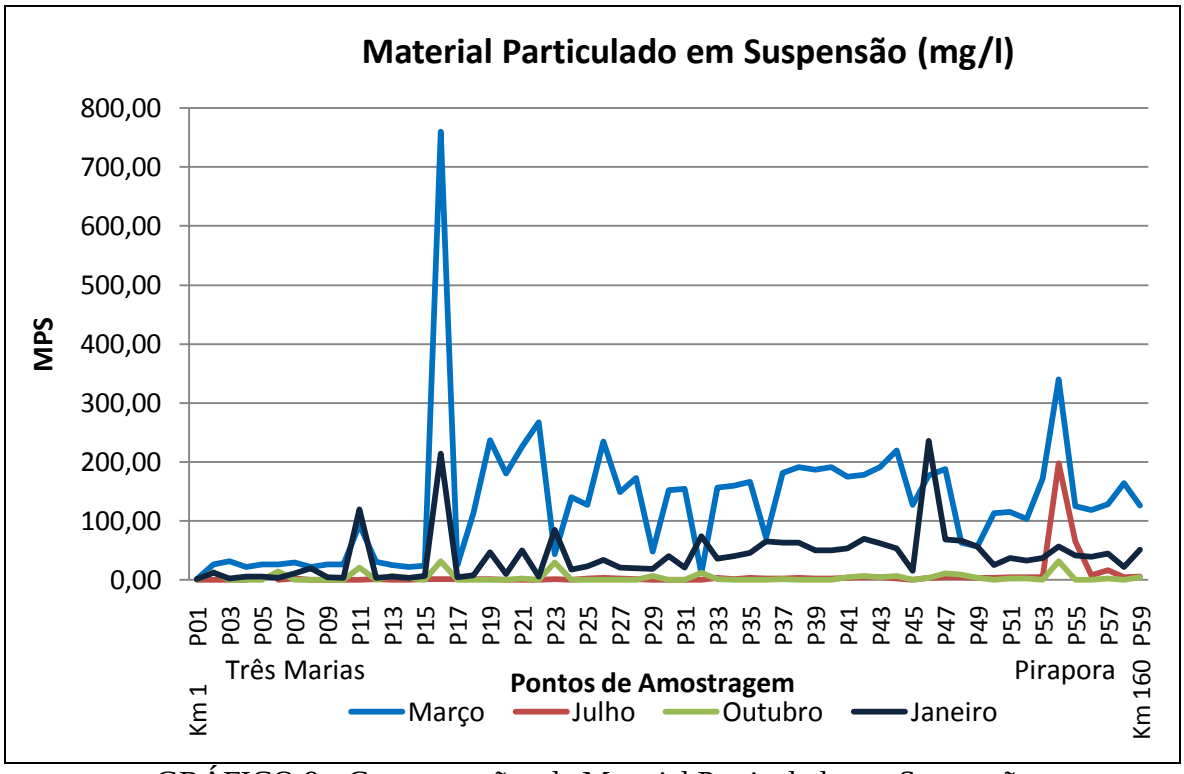


GRÁFICO 9 - Concentrações de Material Particulado em Suspensão.

Os picos de concentração de MPS referem-se aos maiores afluentes e à área do efluente industrial líquido de Pirapora. No Rio Abaeté, a atividade de garimpo do diamante pode ser a responsável pelo aumento da quantidade do MPS nas águas da sub-bacia; quanto ao efluente industrial, o material pode ser originado principalmente das indústrias têxteis que lançam os seus dejetos nas águas.

As alterações dos parâmetros físico-químicos mais discrepantes associam-se a algumas fontes pontuais de poluição que foram identificadas no campo: compostos orgânicos urbanos e os efluentes industriais.

5.2.7 - Pluviosidade na área de estudo

Dados de pluviosidade diária do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) foram utilizados para se conhecer a quantidade de precipitação ocorrida durante o período do monitoramento, tendo em vista a influência do aporte de partículas carreadas durante as chuvas em algumas concentrações de parâmetros físico-químicos.

Os dados de precipitação (GRAF. 10) foram obtidos das estações de Pirapora (Convencional e Automática A545) e de Três Marias (Automática A528) para o período de 1° de fevereiro de 2008 a 31 de janeiro de 2009 .O acumulado anual em Três Marias foi de 1525,4mm, já em Pirapora o acumulado anual médio das duas estações de medição foi de 951,3mm.

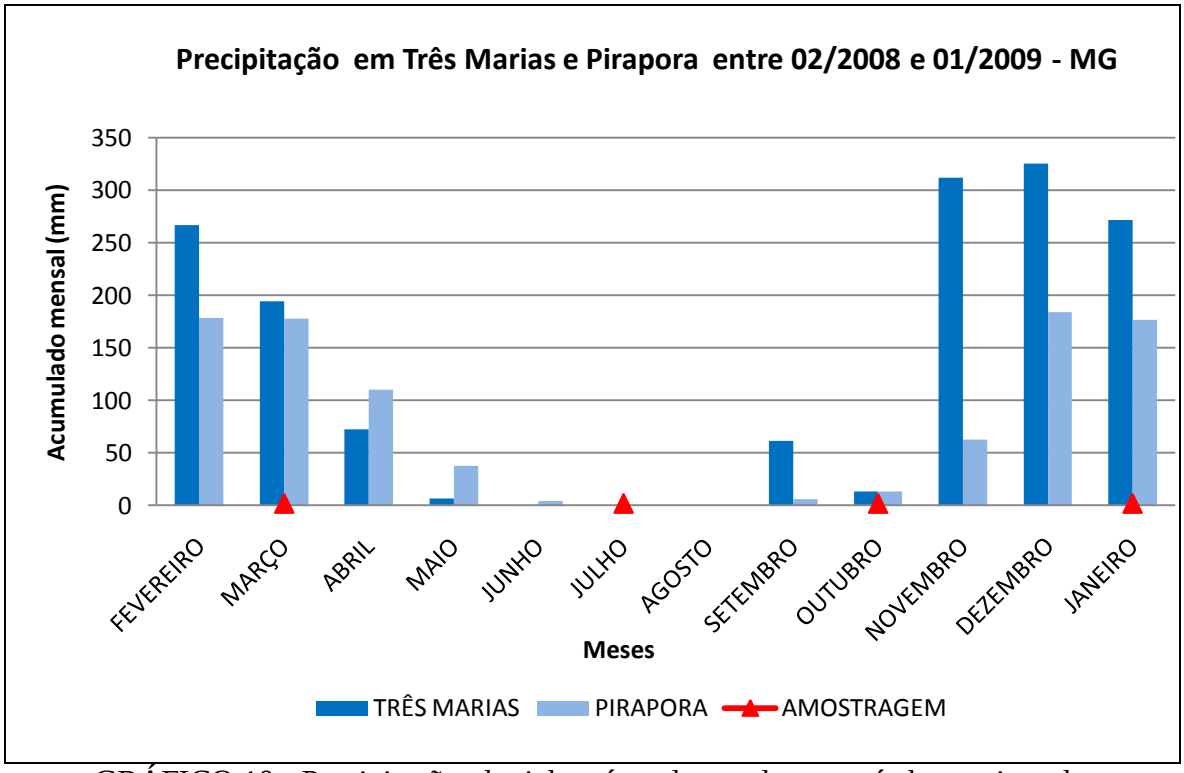


GRÁFICO 10 - Precipitação pluvial na área de estudo no período monitorado

Durante as amostragens da estação úmida, realizadas em janeiro e março, foram registradas precipitações nos dias amostrados e um acumulado significativo nos dias anteriores à coleta da amostra (30-80mm). Para a estação seca, não ocorreu precipitação na amostragem de julho; em relação a outubro, tem-se um acúmulo precipitado no período anterior (14 -76mm) e também foram registradas chuvas no dia da amostragem.

As precipitações relacionadas ao período da amostragem estão bem refletidas nos altos valores de turbidez e MPS, principalmente nos maiores afluentes, conforme descrito acima na análise dos parâmetros físico-químicos.

5.3 – Concentrações de Metais Pesados na Água Superficial

Os resultados dos metais na água superficial serão discutidos considerando as concentrações nas frações dissolvida, em suspensão e total.

5.3.1 - Alumínio (Al)

As concentrações de Al dissolvido foram inferiores ao limite de detecção (LD) em grande parte das amostras analisadas. O maior número de quantificações foi obtido em março, outubro e janeiro, período em que ocorreram níveis de contaminação (GRAF. 11).

Em março, os teores de Al ficaram entre 0,01 e 0,28ppm. Níveis de contaminação foram verificados nos Córregos Barreiro Grande (P2), Lucinda (P8), São José (P14) e Cedro (P36). Além desses afluentes, foram encontrados níveis acima da legislação nos pontos (7,10, 12, 13, 14, 15, 17,18, 25) e na área industrial de Pirapora (P52 e P54).

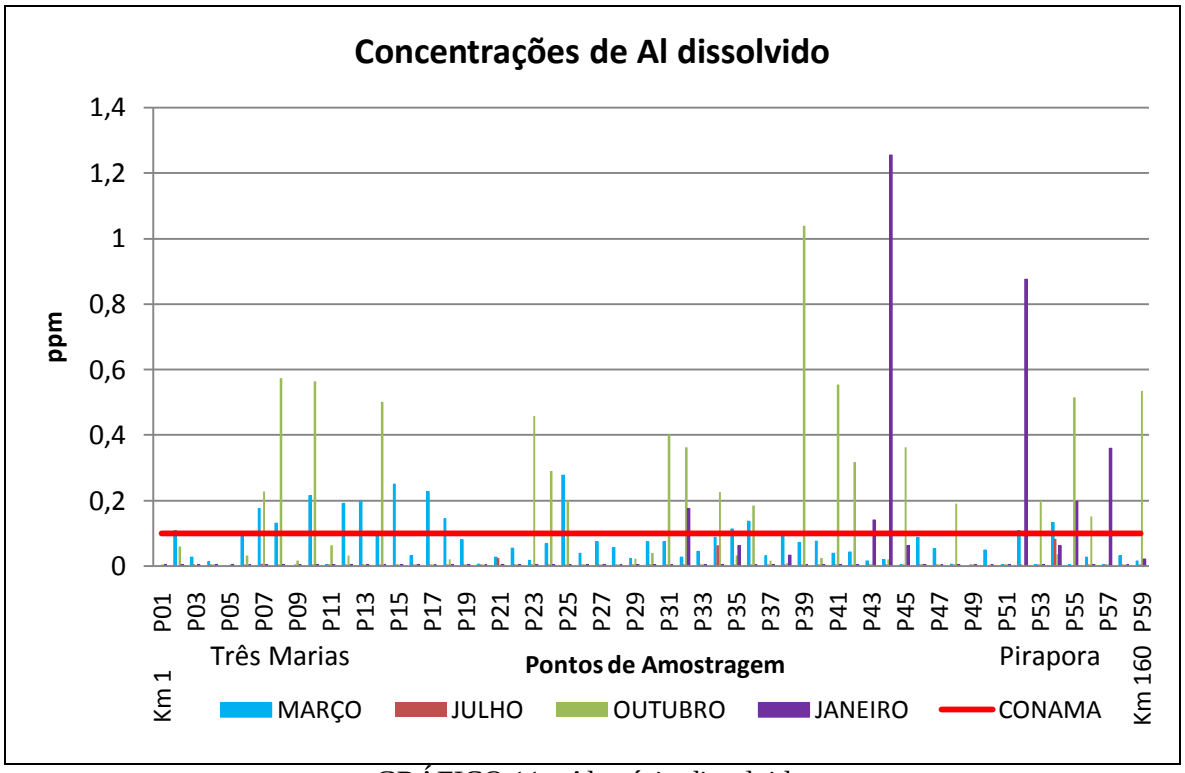


GRÁFICO 11 - Alumínio dissolvido

Na amostragem de julho de 2008, foram quantificados teores de Al apenas em três pontos, sendo o maior valor no supracitado P54.

Os resultados obtidos em outubro são muito semelhantes aos de março, no entanto existe um maior número de pontos abaixo do LD e os níveis de contaminação são maiores, chegando a 10 vezes o limite permitido no P39. Em comparação com março, repetem-se níveis altos nos pontos (7, 8, 10, 14, 25 e 36). Valores altos de Al são encontrados no Afluente Rio de Janeiro (0,45ppm - 23) e imediatamente a jusante (0,29ppmP24) bem como no P31, P32 (Ribeirão do Atoleiro), 34, 39, 41, 42,45 e 48. A jusante de Pirapora, tem-se o P53 na área industrial e os pontos 55,56, e 59 a jusante que apresentaram valores até 5 vezes o permitido.

Janeiro apresenta resultados semelhantes aos encontrados em julho, com quantificação em apenas dez pontos. Desses, seis apresentam níveis de contaminação, corroborando os dados de outubro, P32/P55, e março, P52. Outros índices de contaminação foram verificados a montante de Pirapora (P430-14ppm, 44-1,25ppm) e na área do Projeto de Fruticultura em Pirapora (P57).

O único ponto que apresentou valores acima do LD em todas as amostragens foi o localizado na área de lançamento do efluente do distrito industrial de Pirapora (P54), no qual, em março, a concentração esteve acima das exigências legais (0,13ppm).

O Al presente no MPS apresentou média entre 3 ppm e 52 ppm ao longo do período monitorado. Em todas as medições, os teores de Al em suspensão estão acima de 0,4ppm, e as maiores concentrações foram obtidas nas amostragens do período chuvoso.

5.3.2 - Ferro (Fe)

As concentrações de Fe foram menores que o LD em amostras de julho e outubro sendo que os maiores valores foram obtidos em março e janeiro (GRAF. 12).

Em março, apenas dois pontos apresentaram contaminação, o P43 e P54. O primeiro refere-se a uma ilha localizada a montante da cidade de Pirapora, onde os teores de Fe podem estar relacionados à dinâmica erosiva /deposicional da ilha. O segundo (P54) localiza-se no distrito industrial de Pirapora.

Em julho, os valores de Fe dissolvido foram bem menores, com vários pontos abaixo do LD, e os valores quantificados encontram-se abaixo do limite ambiental. Os

maiores valores encontrados nessa amostragem localizam-se no distrito industrial de Pirapora (P54) e na sub-bacia do Rio de Janeiro (P23), respectivamente.

A amostragem de outubro é marcada por duas características: os primeiros 50km a montante do Rio de Janeiro têm grande parte dos pontos abaixo do LD, contrapondo níveis de contaminação nos afluentes Córrego Barreiro Grande (P2), Rio Espírito Santo (11), Córrego São José (14) e Rio de Janeiro (23). A jusante, apenas o ponto 39 apresenta contaminação.

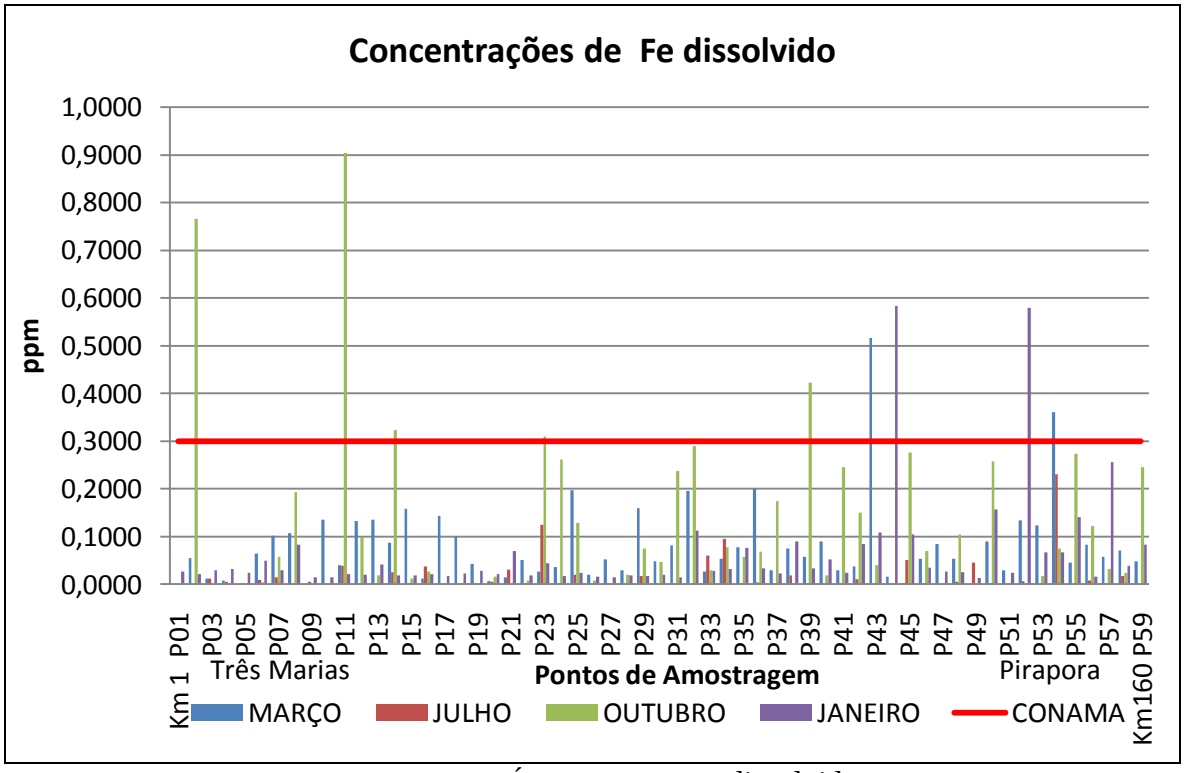


GRÁFICO 12 - Ferro dissolvido.

Em janeiro, os teores de Fe são semelhantes aos obtidos em março, com contaminação na mesma área, sendo contemplados nessa amostragem os pontos 44 (RSF) e 52 (Distrito Industrial).

Os resultados em relação ao Fe caracterizam bem a sazonalidade desse elemento no RSF, e as contaminações encontradas apontam para as características naturais das sub-bacias e a interferência antropogênica industrial.

As concentrações de Fe em suspensão foram maiores na estação chuvosa, com média em torno de 70ppm, e na estação seca, variando próximo a 4ppm. O Fe suspenso apresenta comportamento similar ao Al, com valores superiores a 0,4ppm em todas as análises e significativa influência da sazonalidade.

5.3.3 - Cobre (Cu)

A maior porcentagem das leituras para Cu foram menores que o LD. Em março, julho e outubro, foram quantificados teores de Cu dissolvido (GRAF. 13). Na amostragem de março, valores maiores que o LD foram observados entre o P40(0,001ppm) e P47(0,002ppm); nessa mesma área ocorreu uma detecção no P44(0,002ppm) em julho. Esses valores obtidos nesses pontos estão entre o LD e o Limite de Quantificação (LQ), mas os mesmos são mencionados tendo em vista serem os únicos acima do LD ao longo do Rio. Condições semelhantes também foram observadas entre os pontos 34 e 39, em outubro, bem como o comportamento semelhante para outros metais nessa área.

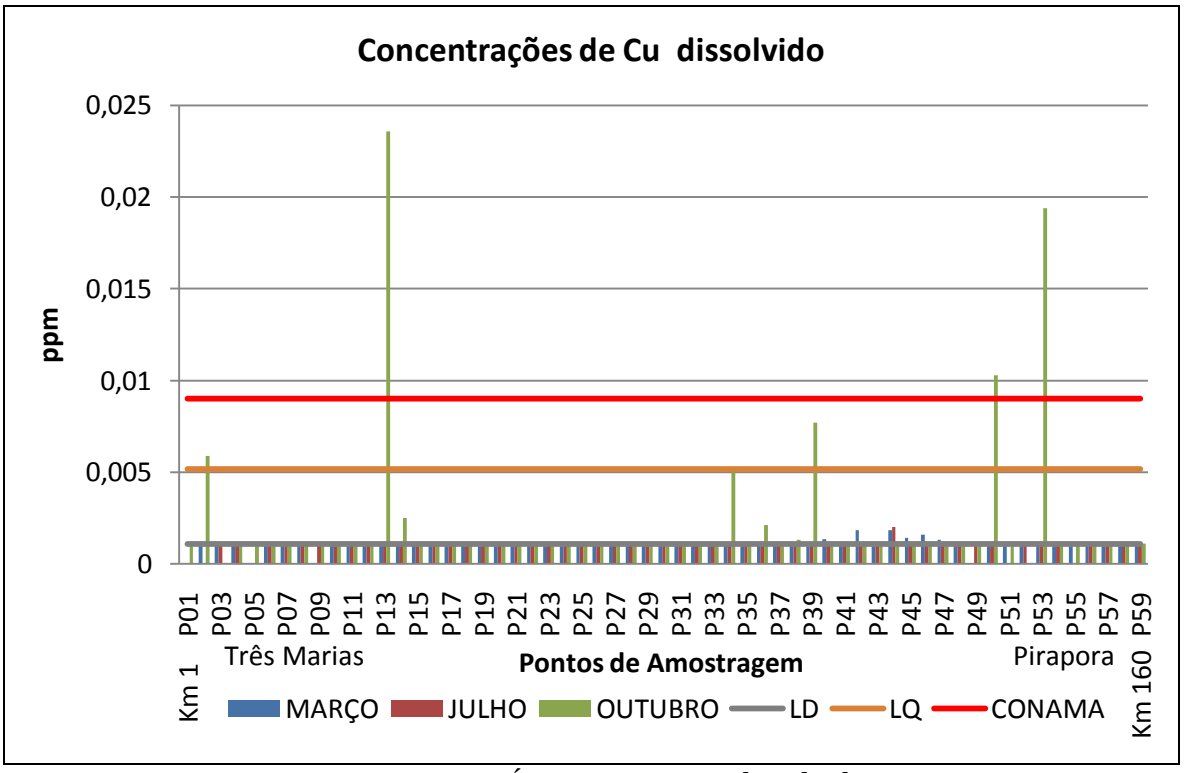


GRÁFICO 13 - Cobre dissolvido

Em outubro, em nove pontos, foram obtidos valores acima do LD, dentre esses, três pontos apresentaram níveis de contaminação. A contaminação ocorreu a montante do Córrego São José (P13 - 0,023ppm), Córrego das Pedras (P50 – 0,01ppm) e próximo às indústrias (P53 – 0,019).

O primeiro ponto (13) localiza-se no RSF a 10 km de Três Marias, onde permanece a influência turística do lago pela intensa ocupação por sitiantes. O P50

(Córrego das Pedras) localiza-se na área do centro urbano de Buritizeiro, sendo um afluente da margem esquerda do RSF. Sua bacia de drenagem caracteriza-se por um ambiente bastante antropizado pelo espaço urbano e atividades de suinocultura, além da influência de atividades industriais que levam à deposição de materiais particulados no solo, plantas e lâmina d'água.

No MPS (GRAF. 14) as concentrações de Cu ficaram entre o mínimo 0,04ppm em outubro e o máximo 0,8 ppm em março. Não foram observadas diferenças tão significativas entre o período seco e úmido, e as médias foram bastante semelhantes em julho, outubro e janeiro.Maiores concentrações de Cu em suspensão foram observadas em março.

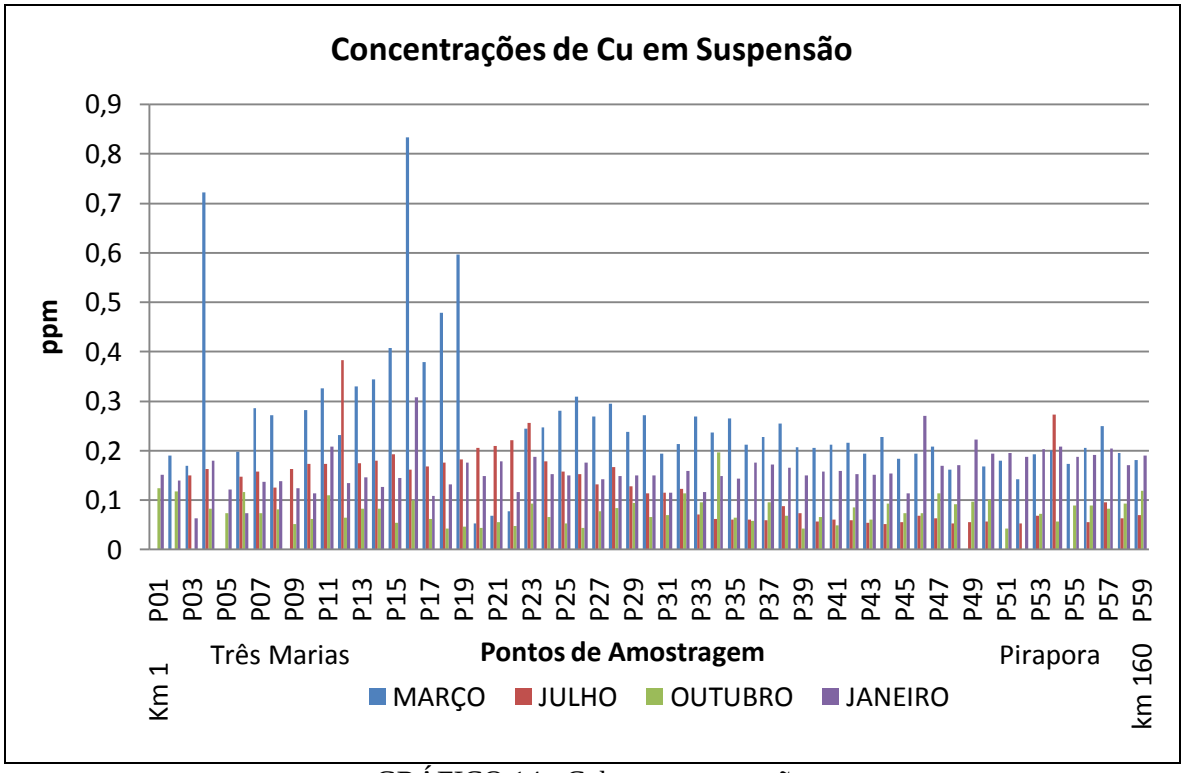


GRÁFICO 14 - Cobre em suspensão

A semelhança dos resultados nas diferentes estações pode ser relacionada à maior solubilidade desse elemento, permitindo uma maior movimentação na interface água-sedimento, mesmo durante o período de menor quantidade de MPS na água.

Quanto à distribuição espacial, os maiores valores estão nos primeiros 50km do RSF, a montante do Rio de Janeiro, em todas as amostragens.

Os maiores valores foram observados no Córrego Consciência (P4) – 0,7ppm) e no Rio Abaeté (P16) em março. Em julho, o maior valor ocorreu na área dos sitiantes,

corroborando o alto valor de Cu dissolvido encontrado nesse ponto em outubro; destaca-se ainda nessa amostragem a concentração observada a jusante do efluente industrial (P55).

5.3.4 - Cádmio (Cd)

As concentrações de Cd dissolvido foram menores que as de LD na maioria das amostras. O Córrego Consciência (P4) apresentou altos teores em março (0,122ppm) e janeiro(0,027ppm); em outubro, valores altos de Cd foram obtidos no Córrego das Pedras (P50 – 0,024ppm) e próximo às indústrias (P53 – 0,039ppm).

Valores entre o LD e o LQ foram encontrados entre os pontos 40 e 47 em março. Em julho, foram quantificados os pontos 43, 49, 53, 54 e 56. Em outubro, uma quantidade maior de leituras foram obtidas sendo no Córrego Barreiro Grande (P2),Córrego Aldedo Dourado (P6), Jusante do Córrego Lucinda (P9),12 e a jusante do ponto 27. Em janeiro, esses valores foram obtidos entre os pontos 2 e 43.

No MPS as concentrações de Cd em suspensão foram obtidas somente nos meses de março e janeiro no Córrego Barreiro Grande (P2 – 0,01ppm), Consciência (P4 – 0,05ppm) e no Rio Abaeté (P16 – 0,007ppm). Em janeiro, além dos afluentes citados, foram quantificados os pontos 21, 23 e entre 27 e 47 cujas leituras ficaram entre o LD e o LQ.

As concentrações totais de Cd acima do permitido pelas normas legais ocorreram no Córrego Consciência (P4) e Rio Abaeté (P16), em março e janeiro (GRAF. 15). Em janeiro, inclui-se ainda o Córrego Barreiro Grande (P2).

No córrego Consciência, as concentrações de Cd estavam acima do limite máximo já na fração dissolvida , enquanto no Córrego Barreiro Grande e no Rio Abaeté os maiores teores estão associados ao MPS.

Níveis de contaminação ocorreram também no Córrego das Pedras (P50) e próximo às indústrias (P53); os altos valores de Cd encontrados nesses pontos foram obtidos na amostragem de outubro na fração dissolvida.

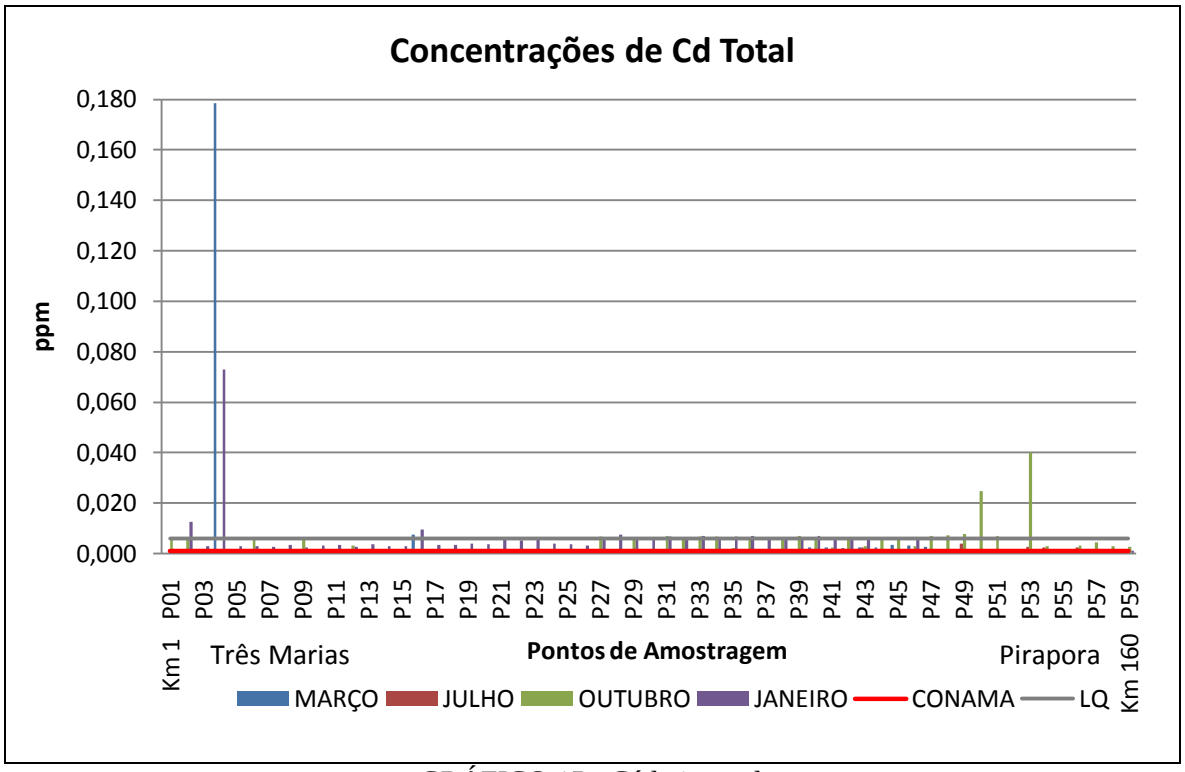


GRÁFICO 15 - Cádmio total

Os valores de Cd observados ao longo do RSF e afluentes confirmam os níveis de contaminação próximos a Três Marias e Pirapora. Os teores entre o LD e o LQ, obtidos nas duas frações, chamam a atenção para a correlação de concentrações encontradas no MPS em janeiro e na fração dissolvida nas quatro amostragens. É importante salientar que nessa área as alterações encontradas para Cd também ocorreram para o Cu na fração dissolvida em março e outubro, como descrito no tópico anterior.

5.3.5 - Cromo (Cr)

Na fração dissolvida, as maiores concentrações de Cr foram obtidas na estação seca. Em julho, as medições ocorreram nos primeiros 70 km do Rio, do P03 ao P11 e entre o P24 e P27; no segmento a jusante, somente na área do efluente industrial (P54) foi quantificado Cr dissolvido, nessa mesma área do distrito industrial, verificou-se a única quantificação em outubro no P53.Na estação chuvosa, não houve concentrações acima do LQ para Cr dissolvido, no entanto, em março, no P54 (supracitado) e no P57 (fruticultura), foram obtidas concentrações entre o LD e o LQ.

As concentrações de Cr em suspensão foram maiores na estação chuvosa. Entre o Rio Abaeté (P16) e a montante da cidade de Pirapora (P49), todos os pontos apresentam altas concentrações de Cr em suspensão com valores acima do permitido pela legislação, situação característica da amostragem de março e janeiro. Em março, também foram encontradas altas concentrações de Cr em suspensão nos afluentes Córrego Barreiro Grande (P2 – 0,09ppm) e Consciência (P4 – 3,81ppm), à jusante do Córrego Aldedo Dourando (P6 – 0,21ppm) e no Rio Espírito Santo (P11 - 0,07ppm), bem como nos pontos do segmento a jusante da cidade de Pirapora.

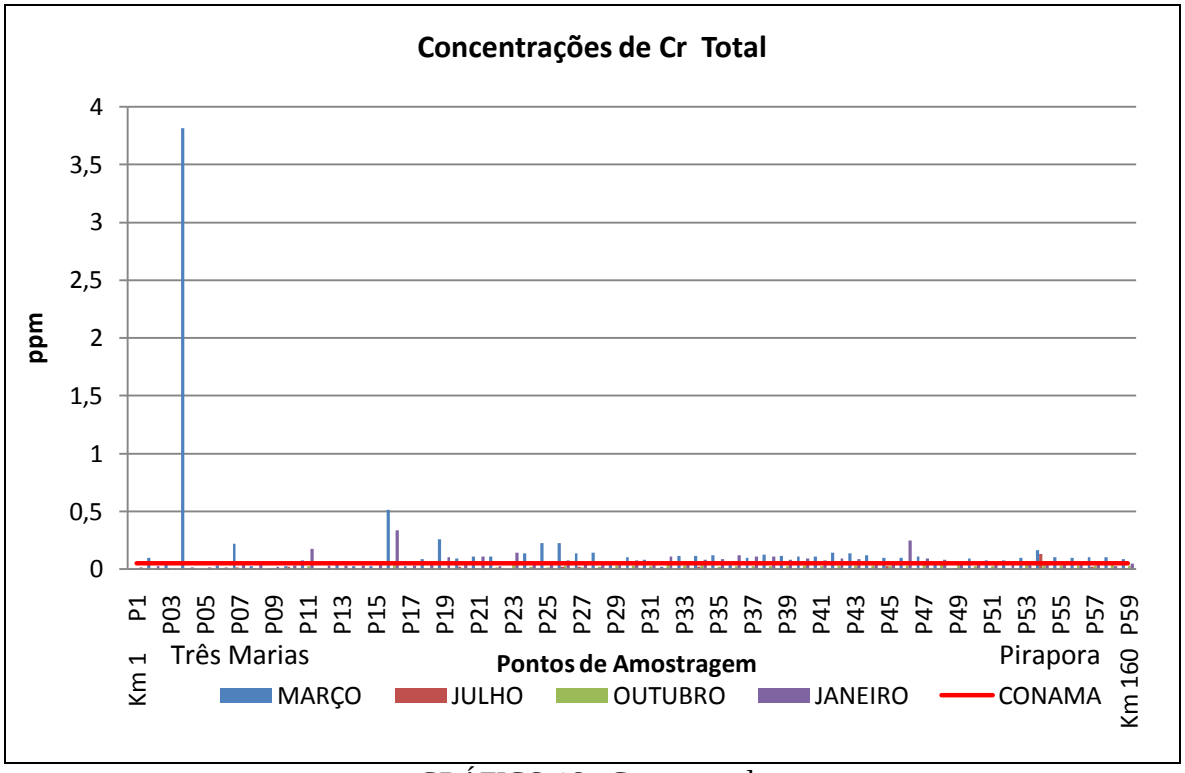


GRÁFICO 16 - Cromo total.

Na estação seca, valores acima do permitido pela legislação ocorreram apenas no Rio Abaeté (P16), no Rio de Janeiro (P23), à jusante do córrego Marambaia (P47), em julho, e na área do efluente industrial (P54) em julho e outubro (GRAF. 16).

Considerando o limite máximo de 0,05ppm, chama a atenção os níveis de contaminação para o Cr em suspensão que ocorreram na estação chuvosa, principalmente nos afluentes próximos a Três Marias (P2, P4, P7, P11), e a jusante do Abaeté. Na estação seca, destacam-se contaminações nos afluentes (Rio Abaeté e Rio de Janeiro) e no distrito industrial de Pirapora.

5.3.6 - Níquel (Ni)

As detecções de Ni dissolvido restringiram-se ao Ribeirão do Atoleiro (P32 – 0,012ppm) e ao Córrego Cedro (P36) em março. Em outubro, os maiores teores ocorreram no Córrego das Pedras (P50 - 0,12ppm) e na área das indústrias em Pirapora (P51 e P53). Menores concentrações foram obtidas entre o P32 e P49. Dentre essas leituras, destaca-se o P51(0,016ppm) e P53(0,32ppm), bem mais elevados que o LQ.

No MPS, maiores concentrações de Ni ocorreram na estação chuvosa. Em março, no Córrego Consciência (P4) e a jusante do Aldedo Dourado (P7), foram encontrados os maiores valores de Ni em suspensão. À jusante do Rio Abaeté (P16), a maioria dos pontos foi quantificada com concentrações entre 0,02 e 1,5 ppm. Em julho, foi registrado apenas um valor entre o LD e LQ na área do efluente industrial (P54); em outubro, a situação é semelhante, com quantificações no Rio Abaeté (P16) e a jusante do Formoso (P46).

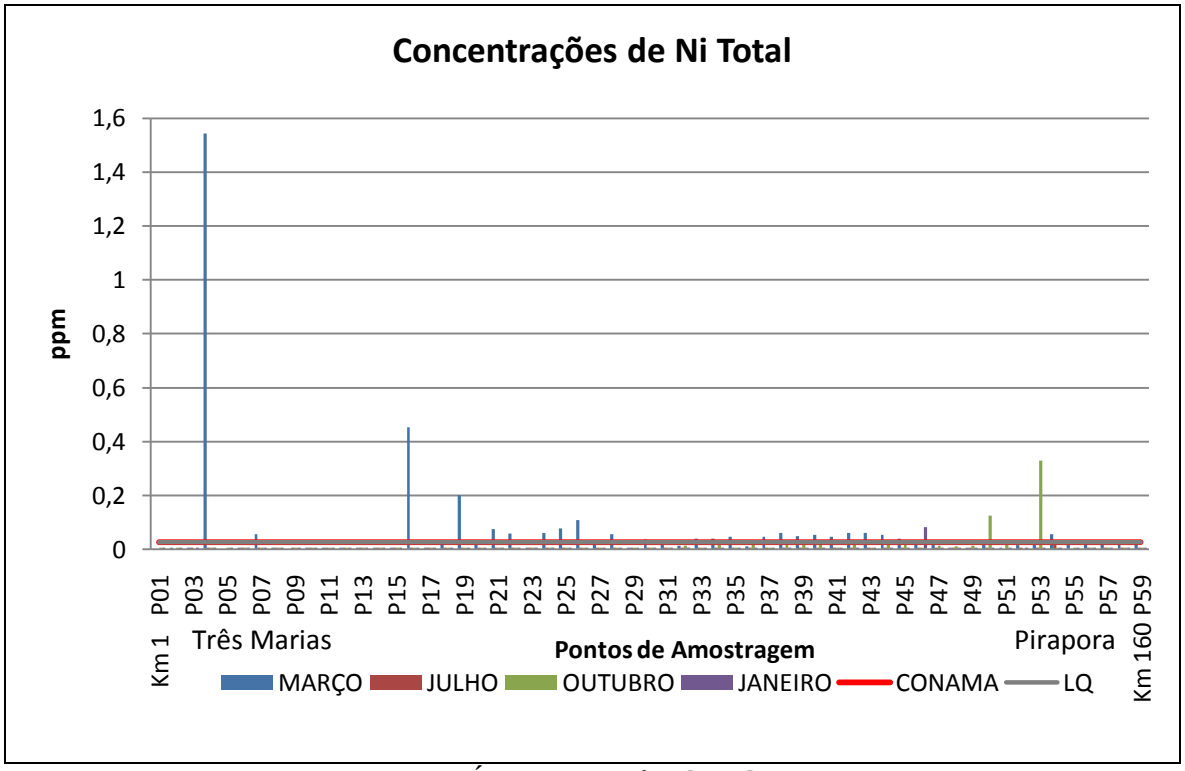


GRÁFICO 17 - Níquel total

A maioria dos pontos nos quais houve a detecção do Ni em suspensão em março, apresenta-se acima do limite permitido. Níveis de contaminação por Ni também

foram encontrados nos dois pontos, com quantificação na amostragem de janeiro: no Rio Abaeté (P16) e a jusante do Rio do Formoso (P46). Nos pontos 34, 39 e 40, também foram encontradas concentrações de Ni acima do limite permitido na fração dissolvida em outubro. Nessa amostragem destacam-se concentrações 5 e 13 vezes maiores que o máximo permitido no Córrego das Pedras (P50) e na área industrial (P53).

Os níveis de Contaminação (GRAF. 17) para Ni estão associados ao MPS em março e à fração dissolvida em outubro. As altas concentrações verificadas em outubro são mais preocupantes uma vez que foram encontradas na fração dissolvida, com maior possibilidade de entrada na cadeia alimentar e possível efeito tóxico na biota.

5.3.7 - Zinco (Zn)

A estação chuvosa apresentou os maiores valores de Zn dissolvido, e, em outubro, algumas concentrações foram menores que o LD. As maiores concentrações localizam–se próximo a Três Marias, entre os pontos 2 e 5. Os valores mais altos estão no córrego consciência (P4 – 29,1ppm), nos pontos a montante (P3 – 0,31ppm e P2 – 0,19ppm) e a jusante (P5 – 0,14ppm).

No MPS, as concentrações foram semelhantes nas estações seca e chuvosa, principalmente no segmento próximo a Três Marias. Entre os pontos 2 e 5, foram encontrados altos valores, que são similares ás concentrações encontradas na fração dissolvida.

Em relação ao limite máximo permitido pela legislação, na estação chuvosa, a maioria dos pontos apresenta Zn acima do limite permitido (GRAF. 18). Essa contaminação está associada ao metal em suspensão. No córrego consciência (P4), os valores estavam acima do permitido em todas as amostragens já na fração dissolvida, comportamento observado também a montante do Córrego Barreiro grande (P3) em março e no Barreiro Grande (P2) em janeiro.

Na área próxima a três Marias, as concentrações estão entre 1,6 e 180 vezes o máximo permitido, revelando a forte influência dos efluentes industriais enriquecidos em Zn nessa área. Os pontos localizados na área de influência das indústrias em Três Marias e Pirapora apresentaram níveis de contaminação em todas as amostragens.

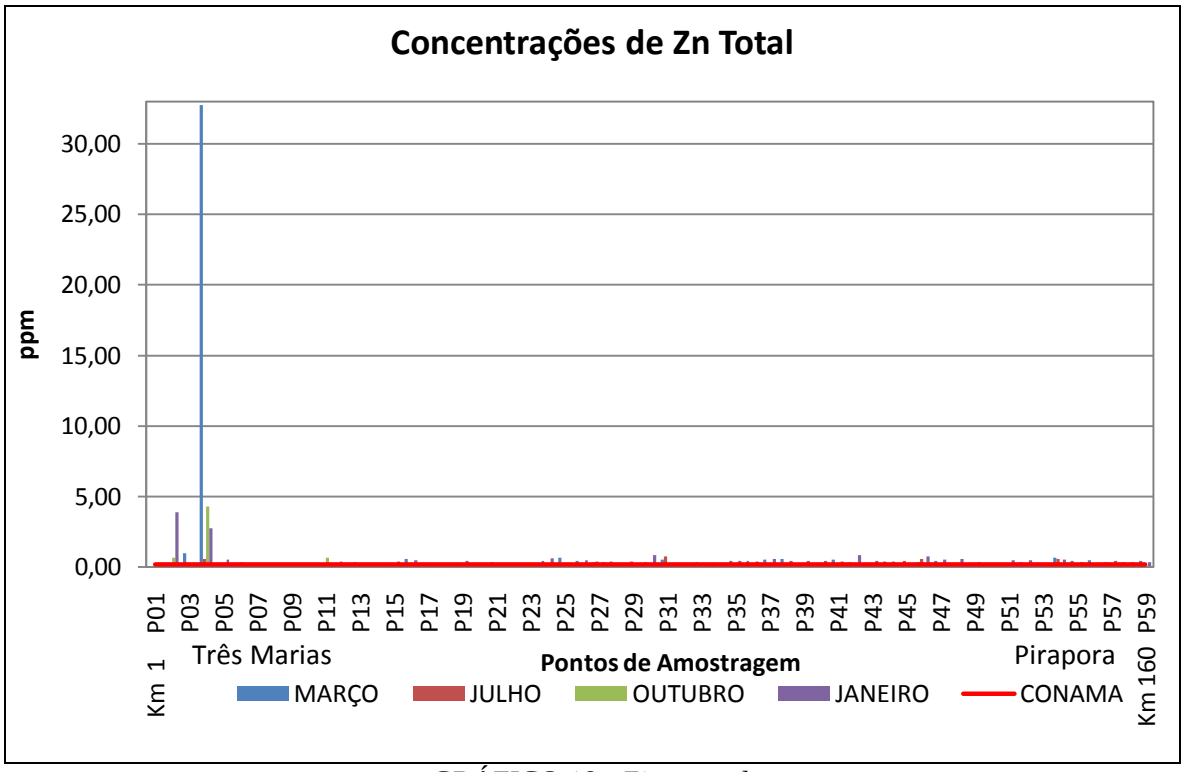


GRÁFICO 18 - Zinco total

Na estação chuvosa, foram verificados valores acima do permitido na maioria dos pontos a jusante da área de influência da indústria, no entanto os níveis de contaminação foram menores, ultrapassando, no máximo, 4 vezes o limite permitido. Essas maiores concentrações, associadas ao MPS ao longo do segmento, podem refletir a quantidade desse metal que podem está presente nos sedimentos de leito. Os valores encontrados ao longo do segmento no Rio São Francisco não estão relacionados unicamente à indústria uma vez que foram encontrados valores elevados, com picos no P40 e P47, onde existe uma influência maior da agricultura e da pecuária.

5.3.8 - Chumbo (Pb)

A maioria das leituras de Pb ficaram entre o LD e o LQ. Várias amostras foram menores que o LD no segmento a montante do Rio de Janeiro (P23) em março, julho e outubro, bem como a jusante do P44 em janeiro.

Na área das indústrias (P53), observou-se os maiores valores de Pb dissolvido em julho e outubro; esses valores na fração dissolvida já ultrapassam o limite legal.

No MPS, a influência da sazonalidade é bem marcada, já que nas amostragens da estação seca foram quantificados apenas 4 pontos. Um desses refere-se ao efluente industrial (P54), em Pirapora, no mês de julho; os demais ocorreram em outubro no Rio Abaeté (P16), Rio de Janeiro (P23) e a jusante do Córrego Marambaia, próximo a Pirapora (P47).

Na estação chuvosa, as maiores concentrações de Pb em suspensão ocorreram em janeiro, com média de 0,12ppm e o máximo de 0,4 ppm. Em março, as concentrações são menores, com destaque para o maior valor localizado no Rio Abaeté (P16).

Analisado o Pb total, os níveis de contaminação por chumbo (GRAF. 19) são mais altos na estação chuvosa, quando esse elemento está associado ao MPS. Na amostragem realizada no período mais seco (julho), a fonte de poluição pontual industrial apresentou níveis de contaminação mais expressivos. A influência dessa fonte de poluição é reafirmada pela presença de grandes concentrações de Pb dissolvido na área das indústrias em outubro, que estão acima do LQ.

Os níveis mais elevados de contaminação na estação chuvosa foram verificados nos Córregos Barreiro Grande (P2), Consciência (P4), Rio Espírito Santo (P11), Abaeté (P16), Rio de Janeiro (P23), jusante do Córrego Marambaia (P46) e na área do distrito industrial de Pirapora (P53 e P54).

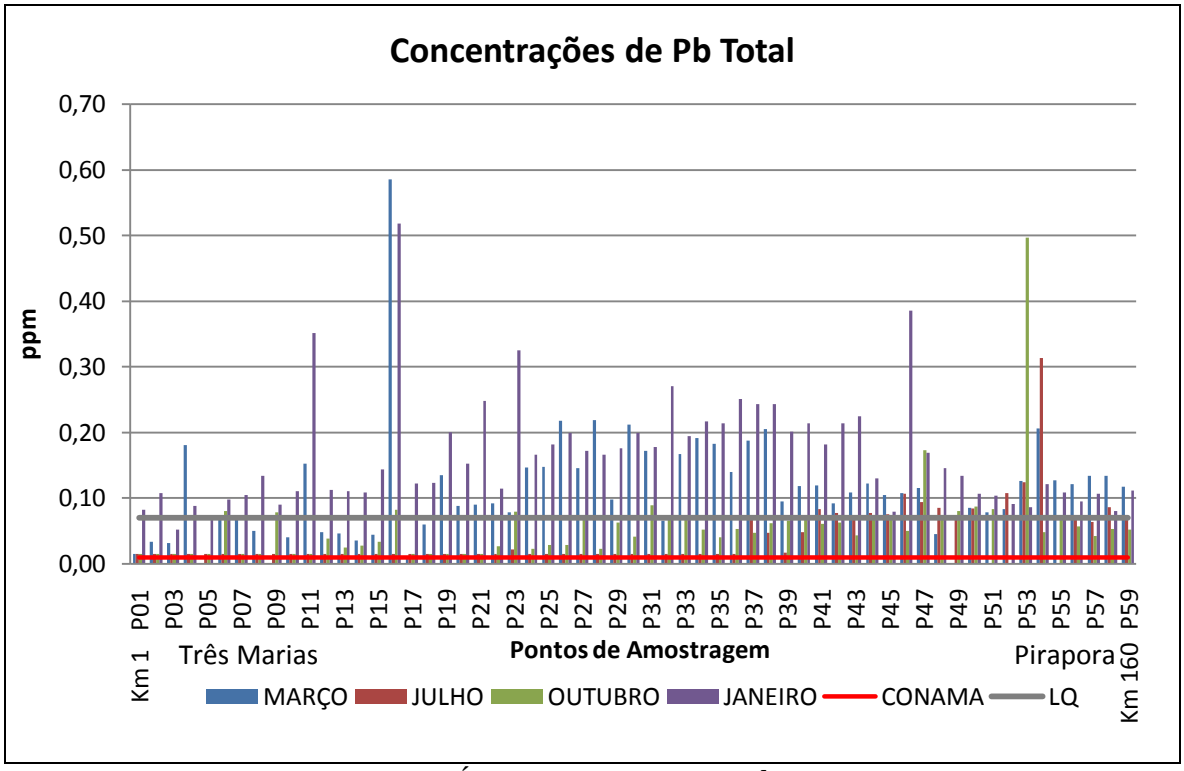


GRÁFICO 19 - Chumbo total

Valores maiores também são observados entre os pontos 23 e 46 para o Pb associado ao MPS em março e janeiro. Nessa área, os valores maiores estão possivelmente relacionados à agricultura uma vez que não foram observadas concentrações (Pb dissolvido/suspenso) no perfil linear que indiquem um carreamento desse metal a partir da fonte pontual localizada em Três Marias.

Tendo em vista o alto limite de detecção do aparelho utilizado nas leituras de Pb, este trabalho se limita a descrever apenas os maiores níveis de contaminação uma vez que são as leituras com maior confiabilidade no que se refere à problemática do Pb na água superficial em termos das normas legais e da técnica utilizada (maior que o LQ).

É necessário que esse elemento seja avaliado utilizando-se critérios que atendam às exigências legais, na qual as concentrações estejam fora da faixa analítica entre o LD e o LQ. Esse problema analítico foi maior para a parte dissolvida, que entra no cálculo da concentração total, sendo, portanto, os dados de janeiro e março mais confiáveis uma vez que refletem mais as concentrações em suspensão.

5.3.9 - Bário (Ba)

Concentrações de Ba dissolvido foram quantificadas em março e outubro. A jusante da área industrial de Pirapora não foi medido nenhum teor de Ba ao longo de todo o período do monitoramento.

Nas amostras de março, foram encontrados níveis de Ba dissolvido em todos os pontos a montante do P38 (com um aumento significativo a partir do P24 – 0,02ppm); à jusante as concentrações foram observadas somente no ponto do efluente industrial (P54). Em outubro, foi encontrado Ba dissolvido em todos os pontos a montante da área do distrito industrial (P53 – 0,33ppm), estando nesse último o maior valor. Em janeiro, no Córrego Barreiro Grande (P2), a quantidade de Ba esteve acima do LD, refletindo a fonte pontual de Ba nesse ponto durante o período analisado; situação semelhante foi observada a jusante do Rio de Janeiro no P25.

As concentrações de Ba em suspensão apresentam duas características principais: na estação chuvosa (março/janeiro), a maioria dos pontos apresentou teores de Ba enquanto na estação seca (julho) somente a partir do trecho à jusante do Córrego Cedro (P37) foram quantificados teores de Ba. Em outubro, as concentrações ocorreram nos

afluentes e a jusante do P41; nesse segmento, os resultados corroboram aqueles encontrados em julho.

As maiores concentrações de Ba em suspensão na estação chuvosa ocorreram no Córrego Barreiro Grande (P2 – 0,26ppm), no Rio Espírito Santo (P11 – 0,66ppm) e no Rio Abaeté (P16 – 3,6ppm). A jusante do P19, as concentrações aumentam até o P47 a partir do qual diminuem e se estabiliza. Essas maiores concentrações podem estar associadas a uma nova atividade de uso, principalmente relacionada à agricultura e ao conseqüente manejo da camada superficial do solo, que pode disponibilizar Ba para a água com o carreamento de terras agricultáveis ou de solo exposto no período chuvoso.

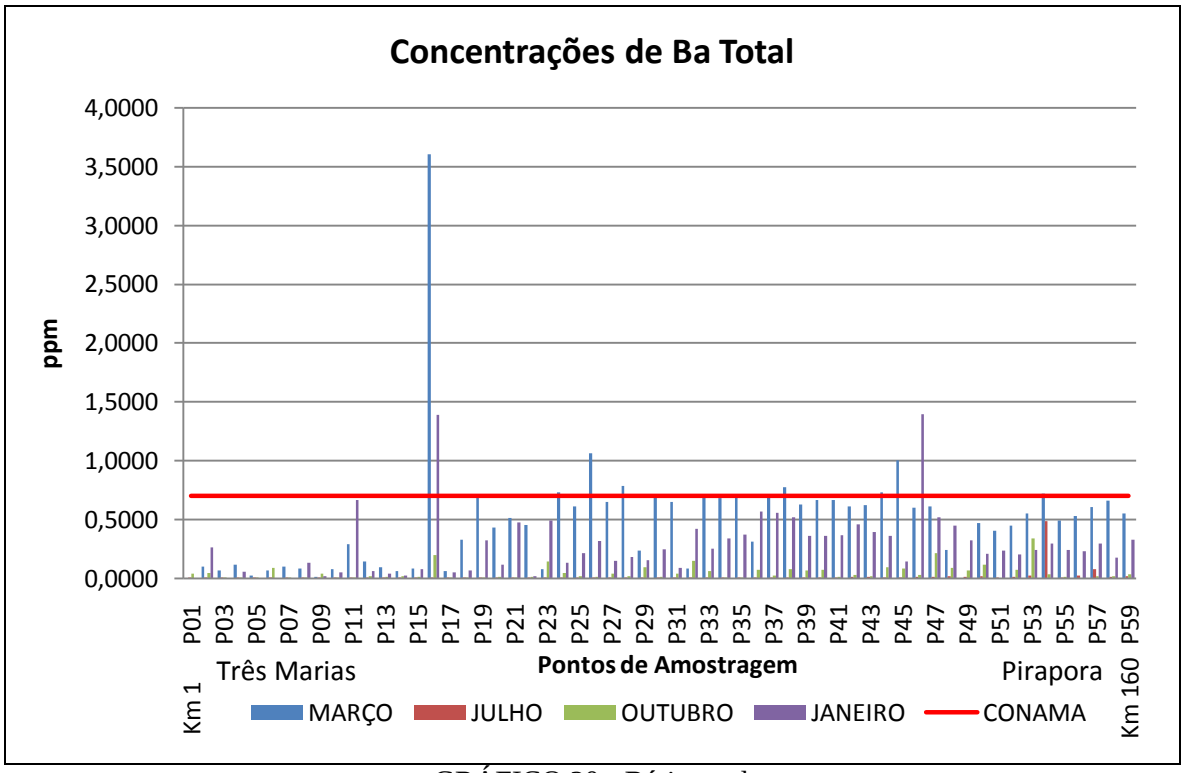


GRÁFICO 20 - Bário total

Do ponto de vista ambiental, valores acima do limite permitido são verificados quando incluído o metal associado ao MPS. As maiores concentrações (GRAF. 20) foram encontradas no Rio Abaeté (P16) em março e janeiro; contaminações também foram verificadas a jusante do Córrego Aldedo Dourado (P7), a jusante do Rio de Janeiro (P24, 26, 28 e 38) , a montante (P44) e a jusante (P46) do Rio do Formoso (P45); ainda na área do efluente industrial, os valores apresentam-se acima do limite permitido.

5.3.10 - Cobalto (Co)

As concentrações de Co dissolvido maiores que o LD se restringiran à estação seca e a jusante do Córrego Cedro (P36). A maioria das concentrações ficou entre o LD e LQ; apenas um ponto, a montante do Rio do Formoso (P44), apresentou teor maior que o LQ em julho; em outubro, esses valores, maiores que o LQ, foram observados no Córrego das Pedras (P50) e na área do distrito industrial (P53).

Comportamento contrário ao Co dissolvido é observado no Co em suspensão uma vez que os maiores teores foram obtidos na estação chuvosa. A média do Co suspenso em março foi de 0,023 ppm, bastante discrepante do maior valor de 0,17 ppm encontrado no Rio Abaeté (P16). Situação semelhante pode ser observada em janeiro, com média 0,025 ppm e concentrações de 0,11 ppm a jusante do Rio do Formoso (P46) e 0,09 no Rio Abaeté (P16).

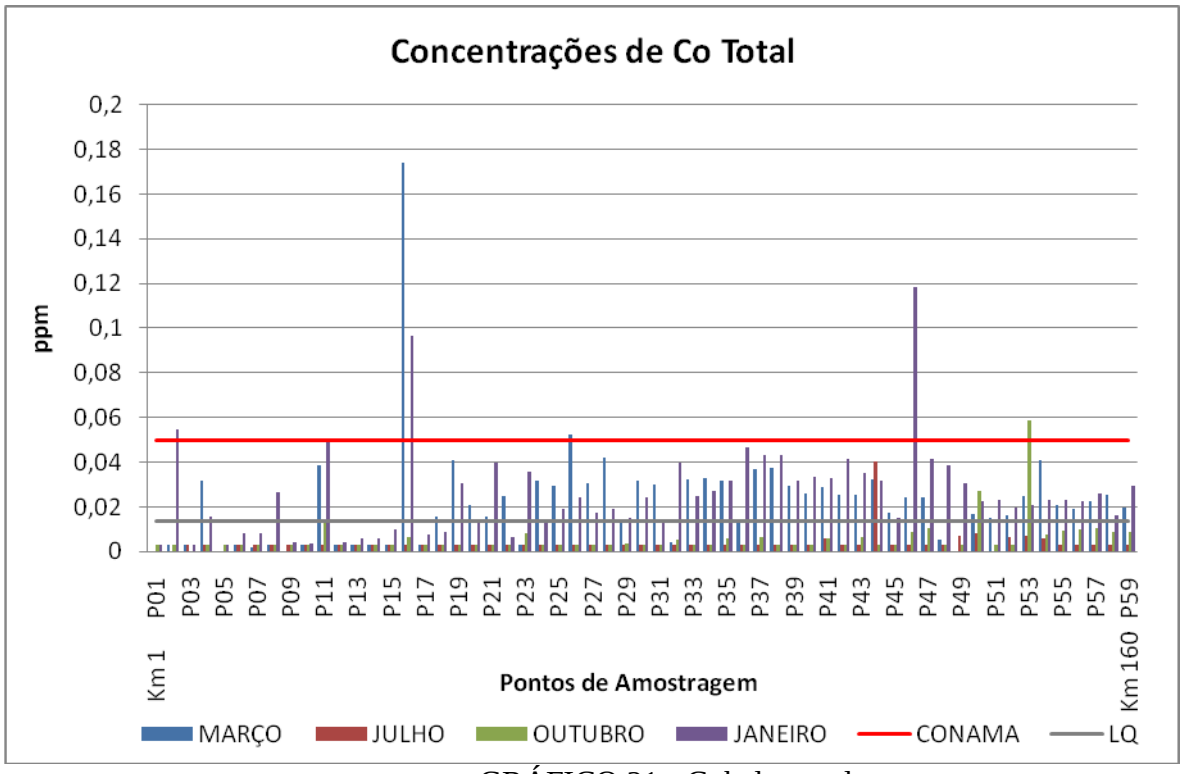


GRÁFICO 21 - Cobalto total

Na estação seca, as concentrações de Co em suspensão nos pontos quantificados foram menores. Em julho, somente o ponto do Efluente industrial (P54) foi quantificado com 0,068 ppm, semelhante aos teores encontrados na estação chuvosa. Os

pontos do Córrego Espírito Santo (P11), do Rio Abaeté (P16), do Rio de Janeiro (P23), do Ribeirão da Tapera (P29), do Ribeirão do Atoleiro (P32) e a jusante do Córrego Marambaia, em Pirapora (P47), apresentaram concentrações de Co em outubro.

Para o Co total, foram encontrados valores acima do limite permitido (GRAF. 21) apenas no Córrego Barreiro Grande (P2), Rio Abaeté (P16), P26, a jusante do Rio do Formoso (P46) que ocorreram na estação chuvosa e adsorvidos ao MPS. Na área do distrito industrial (P53) a contaminação está associada ao Co na fração dissolvida.

5.3.11 - Manganês (Mn)

Grande parte das amostras de Mn dissolvido ficou abaixo do LD. Dentre amostras analisadas, a maioria das que apresentaram concentrações de Mn ocorreu na amostragem de outubro. Na estação chuvosa, em março, foram verificadas concentrações no Córrego Consciência (P4 – 2,6ppm), a montante desse (P3 – 0,01ppm) e na área do efluente industrial em Pirapora (P54 – 0,0134ppm); em janeiro, somente a jusante de Pirapora foram encontrados teores de Mn na área dos sitiantes e do projeto de fruticultura (P56 – 0,058ppm e P58- 0,31ppm). Na amostragem de julho, as concentrações restringiram-se ao Rio do Formoso (P45); em outubro, foram encontrados Mn nos Córregos Barreiro Grande (P2), Consciência (P4), Aldedo Dourado (P6) e no Rio Espírito Santo (P11); no trecho a jusante, verificou-se concentrações entre o P27 (jusante do Rio de Janeiro) e o P53 na área industrial de Pirapora.

As concentrações em suspensão foram altas em todas as amostragens, variando entre 0,1 e 6,9 ppm. As concentrações foram menores na estação seca, com média de 0,2; na estação chuvosa, os valores médios são de 1,3ppm.

O Mn total apresentou níveis de contaminação ao longo de todo o monitoramento: no Córrego Consciência (P4), em março e outubro, no Córrego Barreiro Grande (P2), no Rio Espírito Santo (P11), na área das indústrias em Pirapora (P53) em outubro (GRAF. 22). À jusante do projeto de fruticultura (P58), os níveis de contaminação foram observados também na fração dissolvida. Na estação chuvosa, as concentrações de Mn dissolvido foram significativamente maiores.

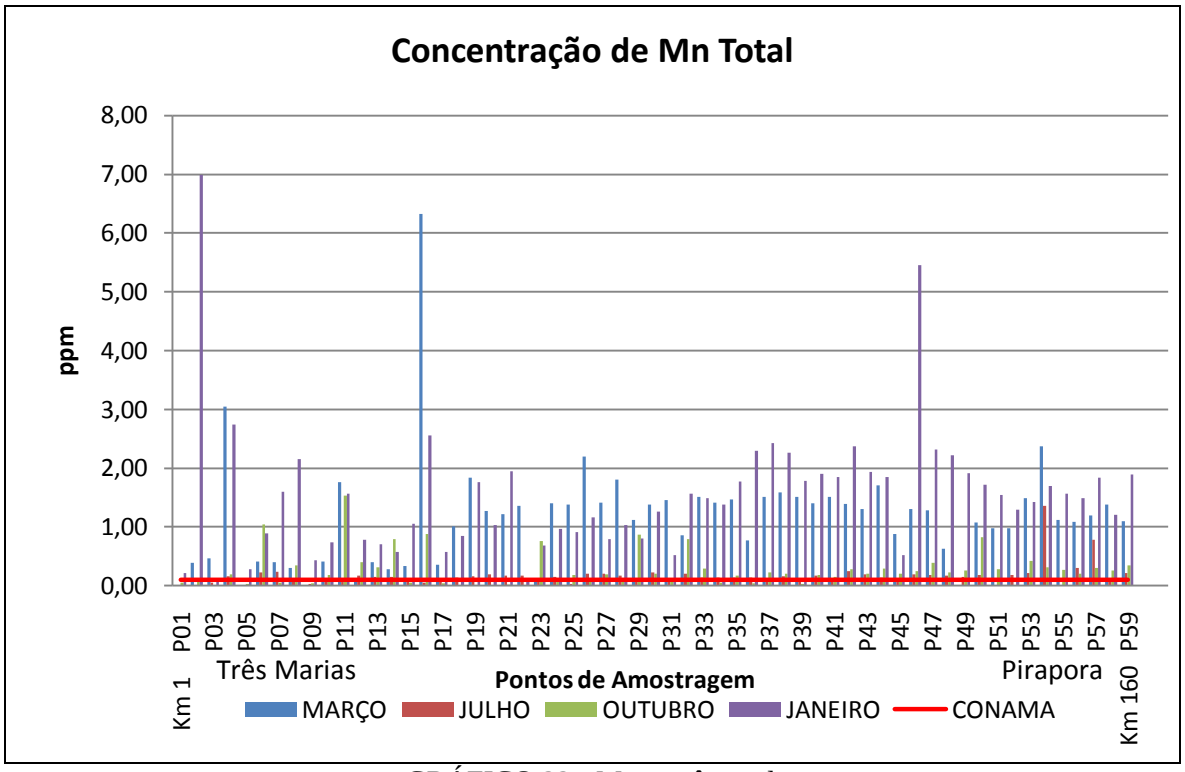


GRÁFICO 22 - Manganês total

5.3.12 - Cálcio (Ca) e Magnésio (Mg)

Os elementos Ca e Mg não têm limite legal definido pela Resolução CONAMA, no entanto são elementos importantes, pois suas concentrações podem estar relacionadas á distribuição dos demais metais analisados.

A fração dissolvida de Ca e Mg apresentou comportamento semelhante. Menores valores foram observados nos grandes afluentes e todos apresentaram valores maiores que o LQ ao longo do monitoramento.

Observa-se que a fração dissolvida desses dois elementos diferencia bem as águas dos maiores afluentes tanto na estação seca quanto na chuvosa; essa mesma característica não pode ser atribuída à fração em suspensão, que varia muito no espaço.

As maiores concentrações de Ca dissolvido (GRAF. 23), observadas nos Córregos Barreiro Grande (P2) e Consciência (P4), diferenciam-se significativamente do restante do perfil analisado, evidenciando o Ca como um indicador de contaminação urbano-industrial.

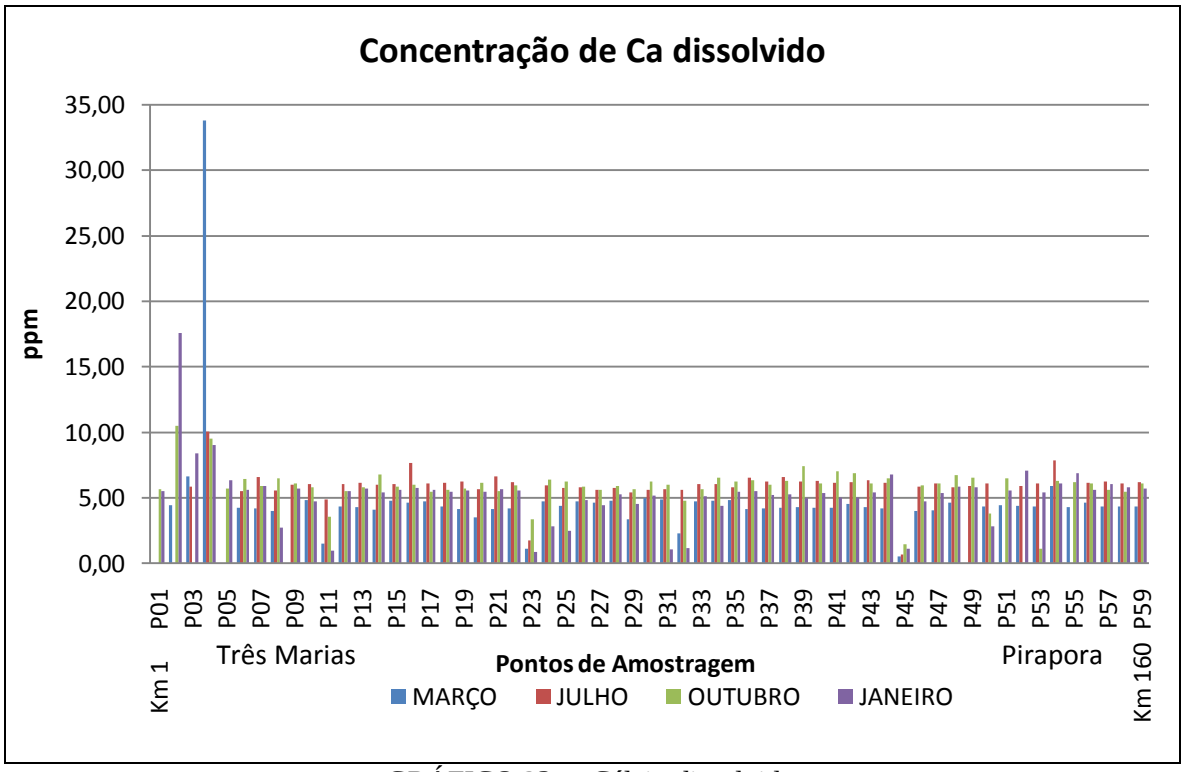


GRÁFICO 23 - Cálcio dissolvido

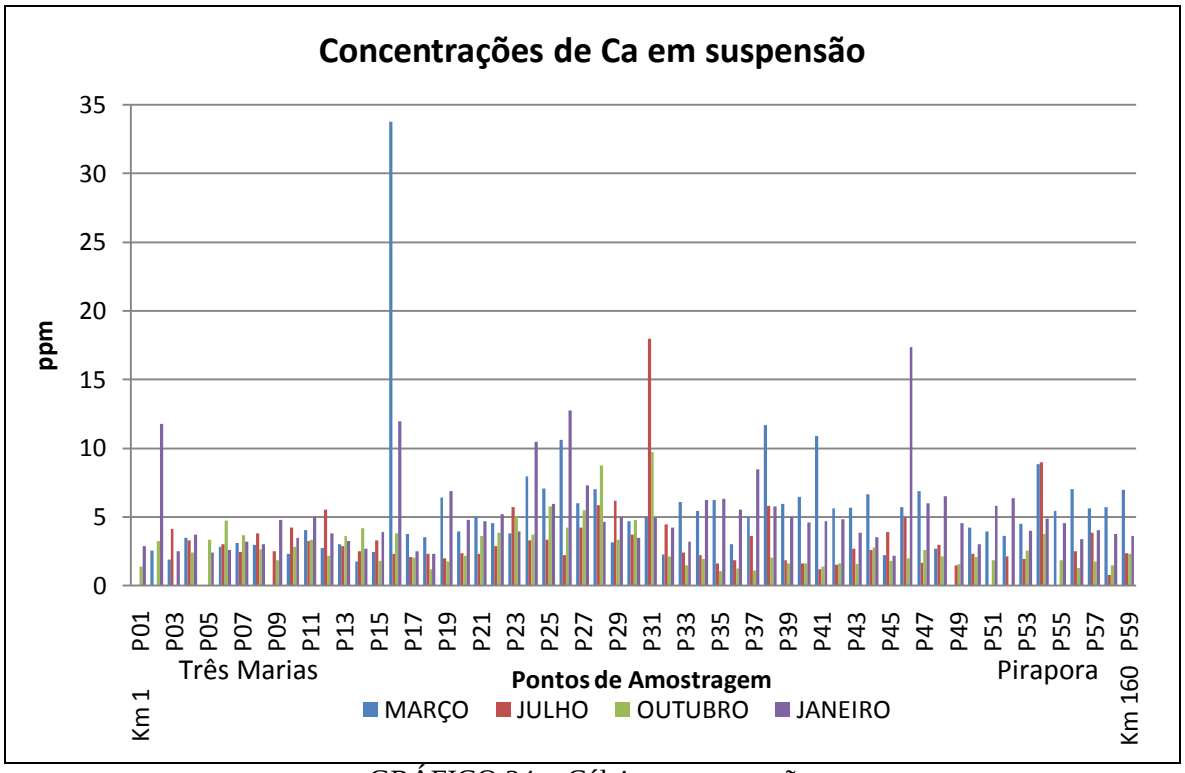


GRÁFICO 24 - Cálcio em suspensão

O Ca em suspensão (GRAF. 24) apresentou maiores valores no Córrego Barreiro Grande (P2), no Rio Abaeté (P16), a montante do Ribeirão do Atoleiro (P31) e a jusante do Rio do Formoso (P46). Destacam-se ainda as concentrações observadas na área do efluente industrial (P54).

Maiores concentrações de Mg dissolvido foram observadas no Córrego Consciência (P4) e no P3. Concentrações ligeiramente mais altas também foram encontradas na área do efluente industrial em Pirapora (P54). Essa mesma relação espacial, com maiores concentrações, também foi observada para Ca dissolvido, evidenciando as alterações relacionadas ao uso urbano-industrial em Três Marias. Essas alterações pontuais podem ser associadas aos maiores níveis de contaminação descritos para os demais elementos nesses pontos.

O Mg dissolvido (GRAF. 25) diferencia-se sazonalmente visto que valores maiores foram observados na estação chuvosa em contraposição aos menores valores da estação seca. Na estação chuvosa, as concentrações aumentam significativamente a jusante do Rio Abaeté.

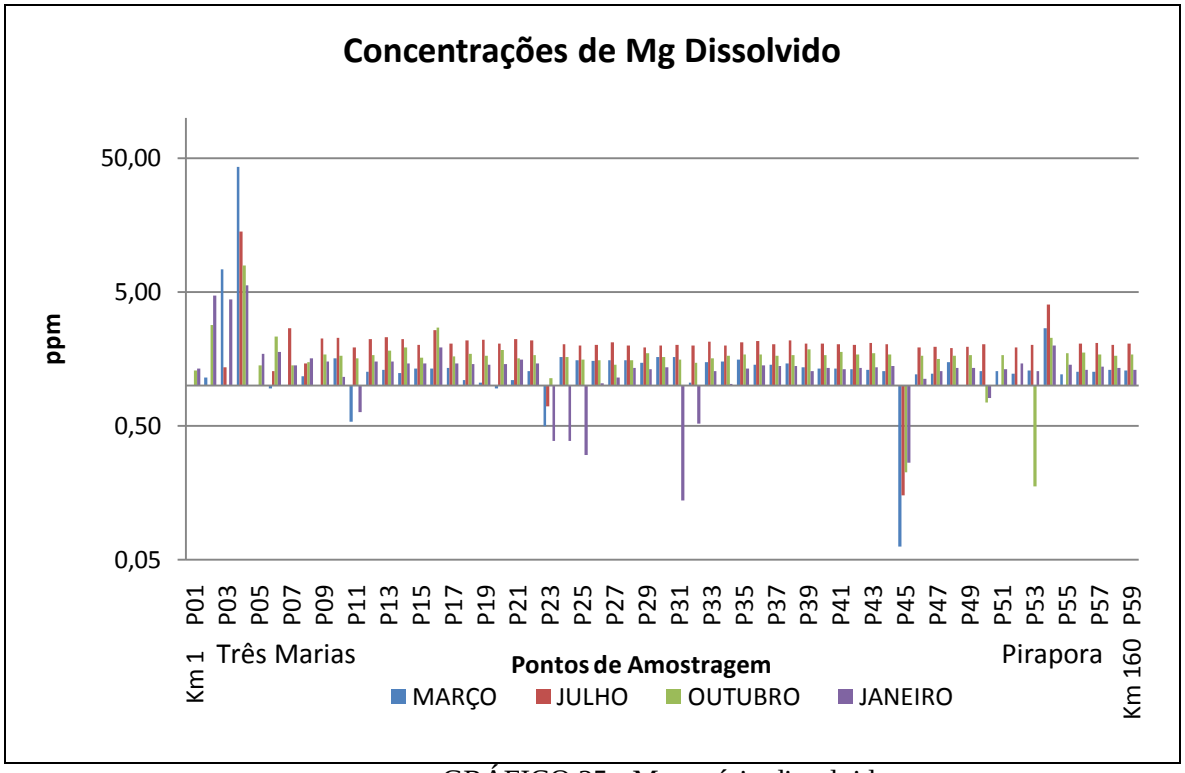


GRÁFICO 25 - Mangnésio dissolvido

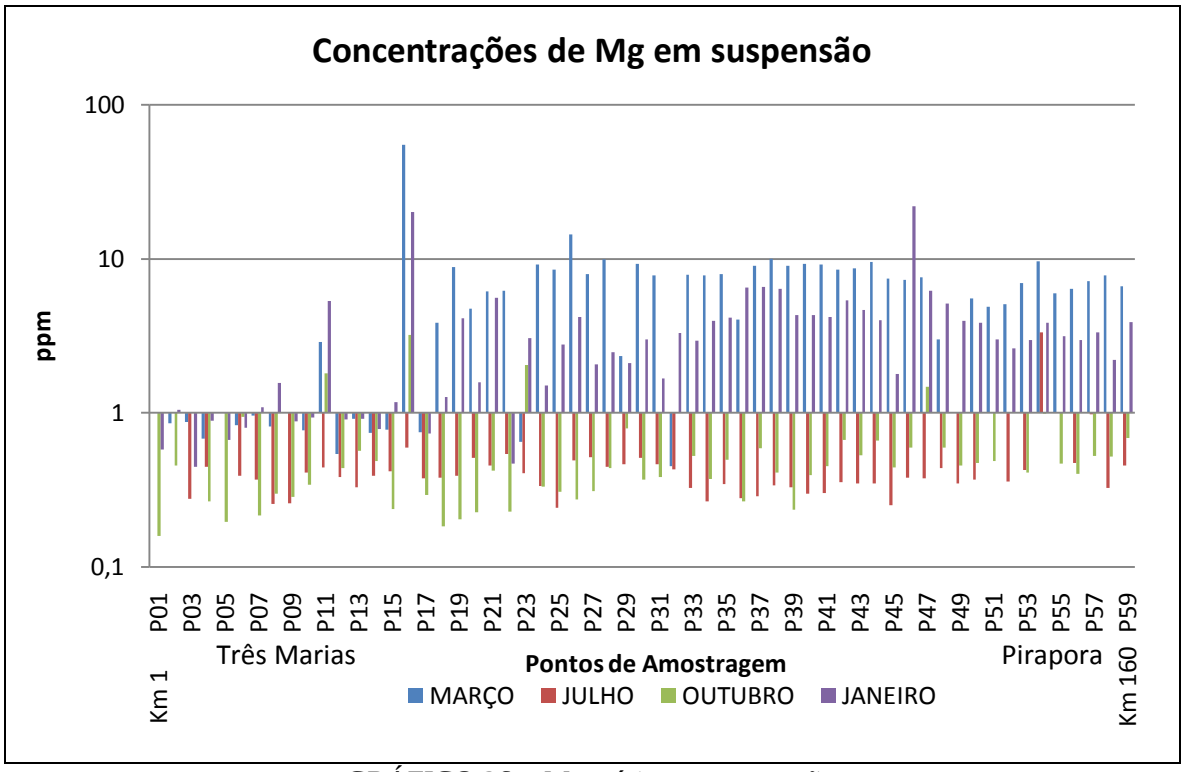


GRÁFICO 26 - Magnésio em suspensão

No MPS os valores foram superiores a 0,7 ppm em todos os pontos,sendo que as concentrações de Ca foram maiores que as de Mg (GRAF. 26). As concentrações máximas de Mg foram de 55 ppm e as de Ca foram de até 33 ppm.

5.4 - Distribuição Espacial das Concentrações dos Metais em Relação ao Uso do Solo

5.4.1 Três Marias: Área de Influência da Indústria de Zn e do Centro Urbano

As altas concentrações de metais pesados encontradas próximo à cidade de Três Marias foram estudadas pelo CETEC (1980), Lundhamer (1991), Mozeto (2001) e Oliveira (2007) com o objetivo de conhecer as concentrações de metais na água ou sedimentos na área de influência da indústria de beneficiamento zinco.

Segundo Oliveira (2007), observa-se que as concentrações diminuíram entre 1980 e 2006 provavelmente por haver um maior controle de efluentes como da indústria de Zn. Nas análises de água realizadas por essa autora, entre 2004 e 2006, foram encontradas

altas concentrações de Zn total nos córregos Barreiro Grande e Consciência nas amostragens de outubro/2005 e março/2006. Alterações de Cu no Córrego Consciência e Cr na margem esquerda e direita também foram observadas nessa área.

Neste trabalho foram encontradas altas concentrações de Zn dissolvido e em suspensão no Córrego Barreiro Grande e no Consciência e entre esses dois córregos na margem direita do RSF.

No Córrego Barreiro Grande, também foram verificados valores altos de Cd dissolvido e em suspensão e de Cr em suspensão; nesse ponto, apesar da diminuição da influência da indústria de Zn nos últimos anos, tem aumentado a influência do efluente doméstico/urbano com o crescimento da população urbana.

O Córrego Consciência, além dos maiores níveis de Zn dissolvido e em suspensão, apresentou também maiores concentrações de Cd dissolvido e em suspensão, de Co, Cr, Cu e Ni em suspensão e de Pb dissolvido. As altas concentrações desses elementos ocorreram na estação chuvosa e estão relacionados à movimentação e à solubilização dos metais ainda presentes nos sedimentos de fundo e da própria barragem de rejeito localizada na área.

Nessa área próxima a Três Marias, foram observados menores valores de pH e OD e maiores valores de Condutividade associados aos dois pontos de contaminação descritos acima. Em relação ao segmento do Rio São Francisco próximo a Três Marias, foram verificadas maiores concentrações de Mg, Mn e Ca dissolvido; a maior concentração desses elementos na fração dissolvida é viabilizada pelo maior acidez da água na área.

A amplitude da influência dessas contaminações pode ser observada em maiores valores no RSF até 3km a jusante da foz do Córrego Consciência. Fica evidente que a diluição das concentrações ocorre em função do próprio volume de água do RSF.

5.4.2 - Centros Urbanos de Pirapora e Buritizeiro: Distrito Industrial

Na área de Pirapora, está clara a influência dos efluentes particulados e líquidos do distrito industrial. Altas concentrações de metais foram encontradas numa trecho de 5km do RSF a montante do distrito Industrial.

Os metais Co, Cd, Cu e Ni dissolvidos apresentaram comportamento semelhante no Córrego das Pedras (P50) e no (P53) em frente às indústrias. Altas

concentrações de Pb e Cr foram observadas no (P53) e na área do efluente liquido do distrito industrial (P54). Nesse último, foram obtidos menores valores de pH e OD e altos valores de Condutividade.

Variações nas concentrações de Mg, Mn e Ba também foram verificadas neste segmento do RSF, mostrando a interferência das atividades antrópicas nos teores de metais e qualidade da água.

5.4.3 - Influência da Agropecuária

Considerando, principalmente, os resultados para a fração dissolvida dos metais, verificou-se dois conjuntos de variação espacial nas concentrações de alguns elementos: no segmento a jusante do Rio de Janeiro (P23), a montante da cidade de Pirapora (P48) e na área do Projeto de Fruticultura (P56-P58), a jusante da cidade de Pirapora.

No segmento a montante de Pirapora, concentrações de Cu, Cr, Mn, Co, Ba e Pb dissolvido tiveram considerável aumento e a detecção foi restrita a esse segmento. Para o Cd e o Ni, esse comportamento ocorreu para a fração dissolvida e em suspensão.

Na área do Projeto de Fruticultura, o ponto com maiores concentrações refere-se aqueles mais próximos da área de plantio, local, inclusive, onde está instalada a estação de captação de água da CODEVASF (P57). Nessa área, chama a atenção a presença de Cd, Cr, Co, Ba e Mn, que podem estar relacionados aos agroquímicos utilizados no manejo das culturas.

Esses resultados fornecem embasamento para o desenvolvimento de estudos mais específicos para se avaliar a influência das atividades agropecuárias na qualidade da água do RSF.

5.5 – Mapeamento da Qualidade da Água: Índice de Contaminação por Metais Pesados

O mapeamento da qualidade da água foi realizado por meio do Índice de Contaminação[14] (Ic) em cada ponto monitorado. No Ic foram utilizados os metais Al, Cr, Fe, Co, Cu, Cd, Mn, Ni, Zn e Ba.

Dentre os metais que possuem limites estabelecidos pela legislação, somente o Pb não foi utilizado devido ao alto limite de detecção do aparelho, que já é acima do limite permitido, não viabilizando a interpretação da contaminação pontual e sim somente a variação ao longo do perfil, como foi descrito no tópico sobre o referido metal.

Os mapas serão apresentados considerando a amostragem bem como a análise das concentrações na fração dissolvida e total.

O Ic por metais dissolvidos em março (FIG. 35) variou entre 1 e 310. Essa diferença reflete a variação da quantidade dos metais que determinaram a contaminação bem como a proporção em relação ao limite ambiental. Dentre todos os pontos contaminados por metais dissolvidos em março, destaca-se o Córrego Consciência (P4), no qual essa contaminação tem peso especifico dos metais Cd, Mn e Zn. No Córrego Barreiro Grande (P3), a contaminação é determinada exclusivamente pelo Zn, que se encontra em concentração acima do permitido.

Nos demais pontos, o Ic é determinado pela variação das concentrações de Al e Fe, respectivamente. Esses elementos, apesar de também condicionarem alterações na qualidade da água, são menos tóxicos, não representando a maior preocupação em relação à toxidade, mas revelando condições locais que definem uma qualidade diferenciada para essas águas superficiais.

Para as concentrações totais dos metais em março (FIG. 36), o Ic apresenta uma maior variação, tendo em vista a presença dos metais associados ao MPS. Essas variações foram observadas para o Cd no Córrego Consciência (P4) e no Rio Abaeté (P16).

Concentrações altas de Ni também foram observadas no Córrego Consciência (P4), entre os córregos Aldedo Dourado e Lucinda (P7), e no Rio Abaeté (P16), bem como entre os pontos 18 e 45 e a jusante no distrito industrial de Pirapora (P54).

---

[14] Descrição do Índice na Análise Estatística

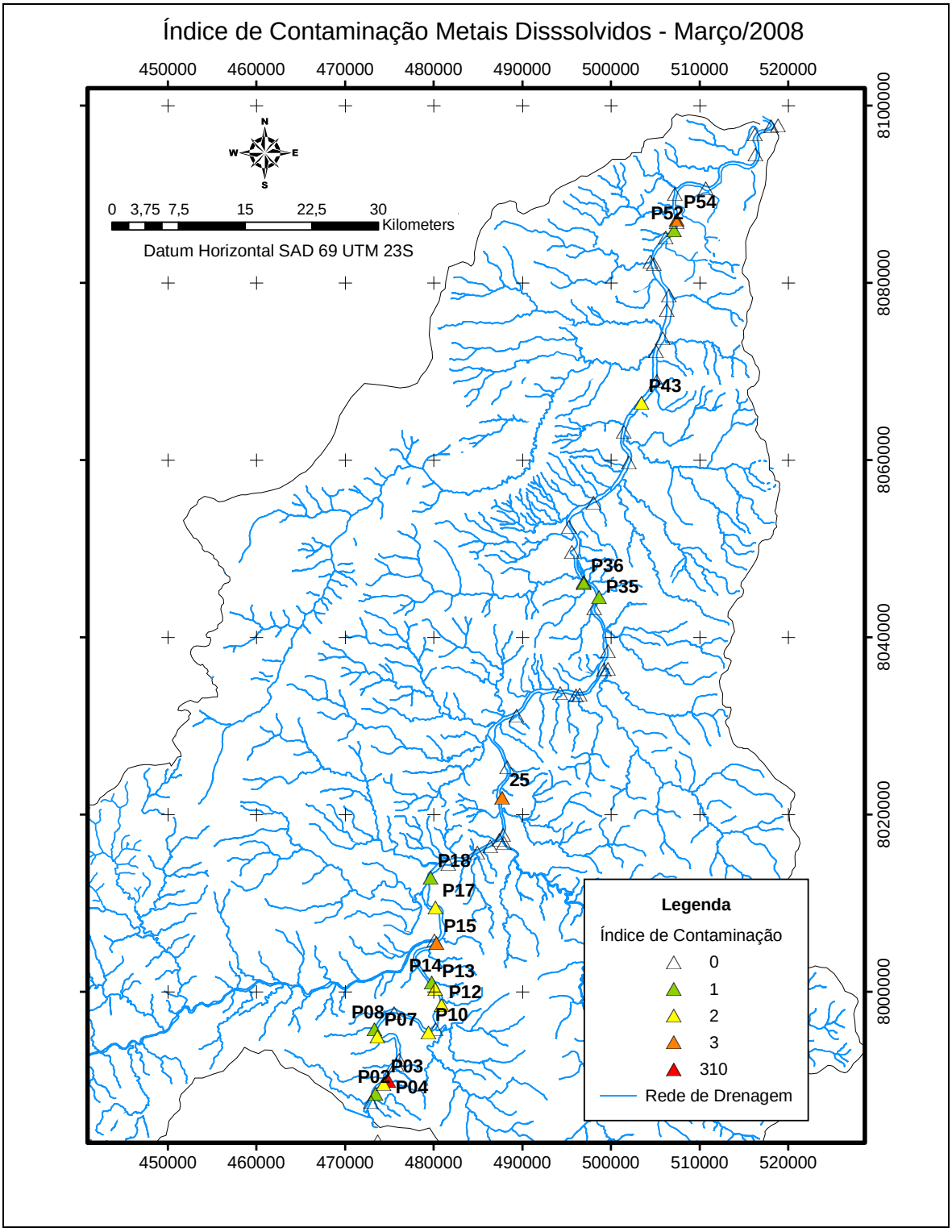


FIGURA 35 - Mapa do Ic por metais dissolvidos em março/2008. Destaque para o alto índice de contaminação por metais dissolvidos nos Córregos Consciência (P4) e Barreiro Grande (P3).

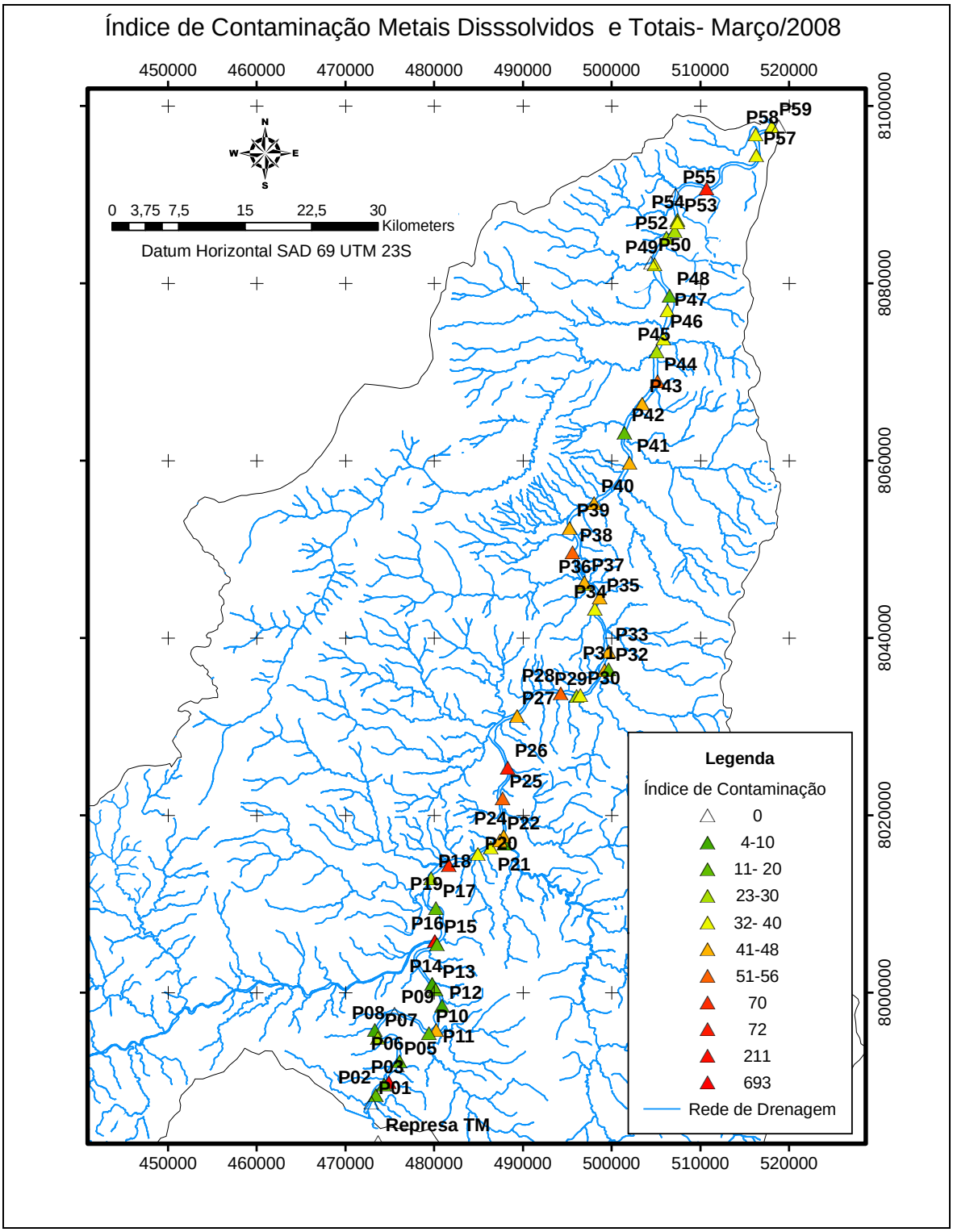


FIGURA 36 - Mapa do Ic por metais em março/2008. Ic entre 4-56 apresenta peso maior do Mn, Zn e Cu associado ao MPS.

O Bário também se destaca no Ic no Rio Abaeté (P16) e a jusante do (P19). Comportamento semelhante pode ser observado para o Co no Córrego Consciência (P4), Córrego Espírito Santo (P11) e Rio Abaeté (P16). Além desses afluentes, foram verificadas influências do Co entre o (P19) e (P47), na área do distrito industrial de Pirapora (P53 e 54) e a jusante da Fruticultura (P58).

Os valores de Cr, Mn e Zn foram altos em todo o perfil, variando entre 2 e 5 vezes o limite permitido, no entanto destacam-se os altos valores nos Córregos Consciência (P4), Rio Abaeté (P16) e na área do efluente Industrial em Pirapora, com valores entre 7 e 200 vezes o limite ambiental.

O Ic para os metais dissolvidos em julho (FIG. 37) restringiu-se ao Córrego Consciência (P4) determinado pelo Zn em concentrações de 2,1 vezes acima dos valores permitidos (110% de inconformidade legal).

Considerando os metais em suspensão (FIG. 38), destaca-se a contaminação por Cr, Ni e Co no distrito industrial de Pirapora (P54). Nos demais pontos, as alterações estão relacionadas à presença do Mn e Zn associados ao MPS. Para esses metais, a contaminação ocorre ao longo do perfil, mas o Ic é significativamente mais baixo.

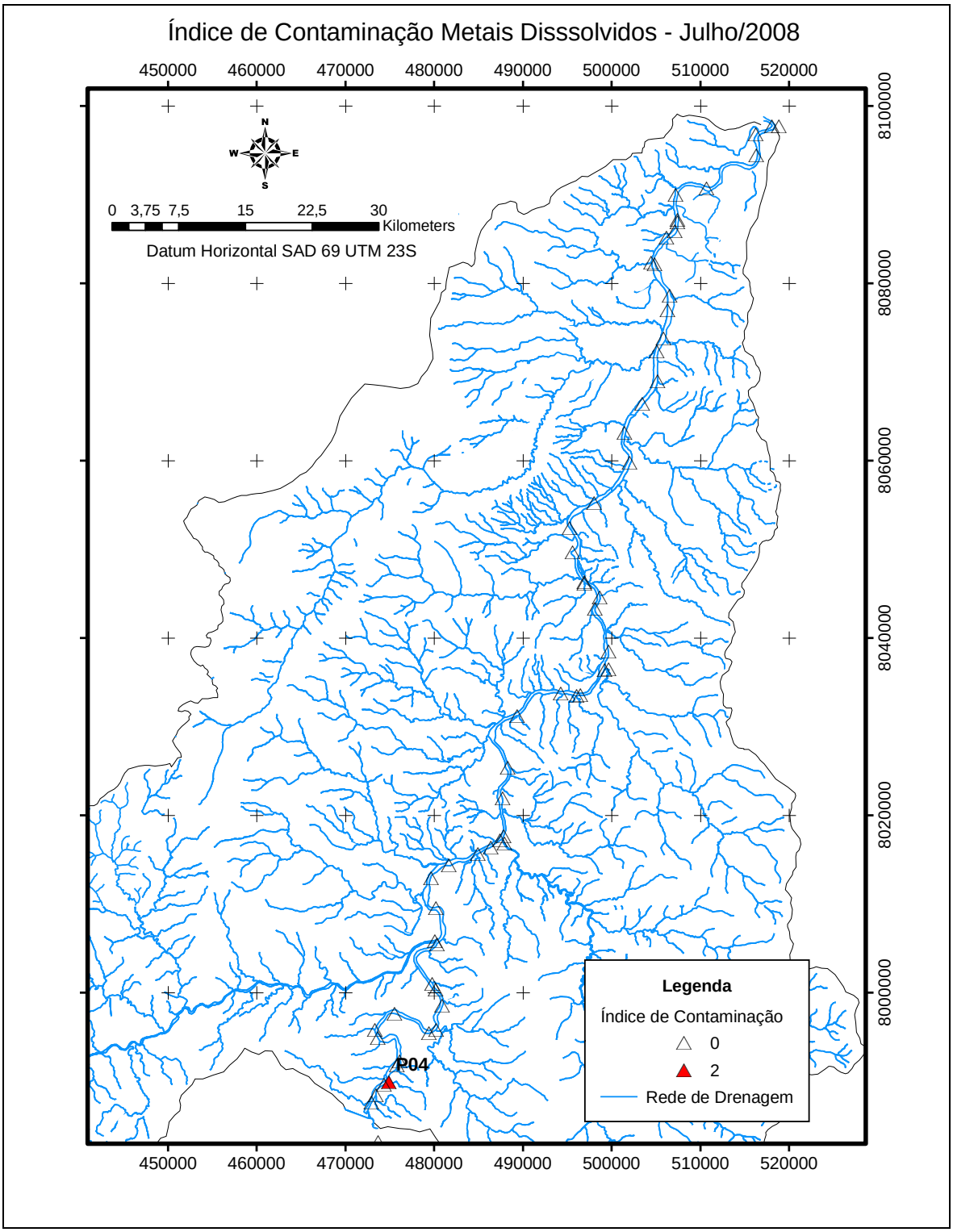


FIGURA 37 - Mapa do Ic por metais dissolvidos em julho/2008. Contaminação no Córrego Consciência (P4).

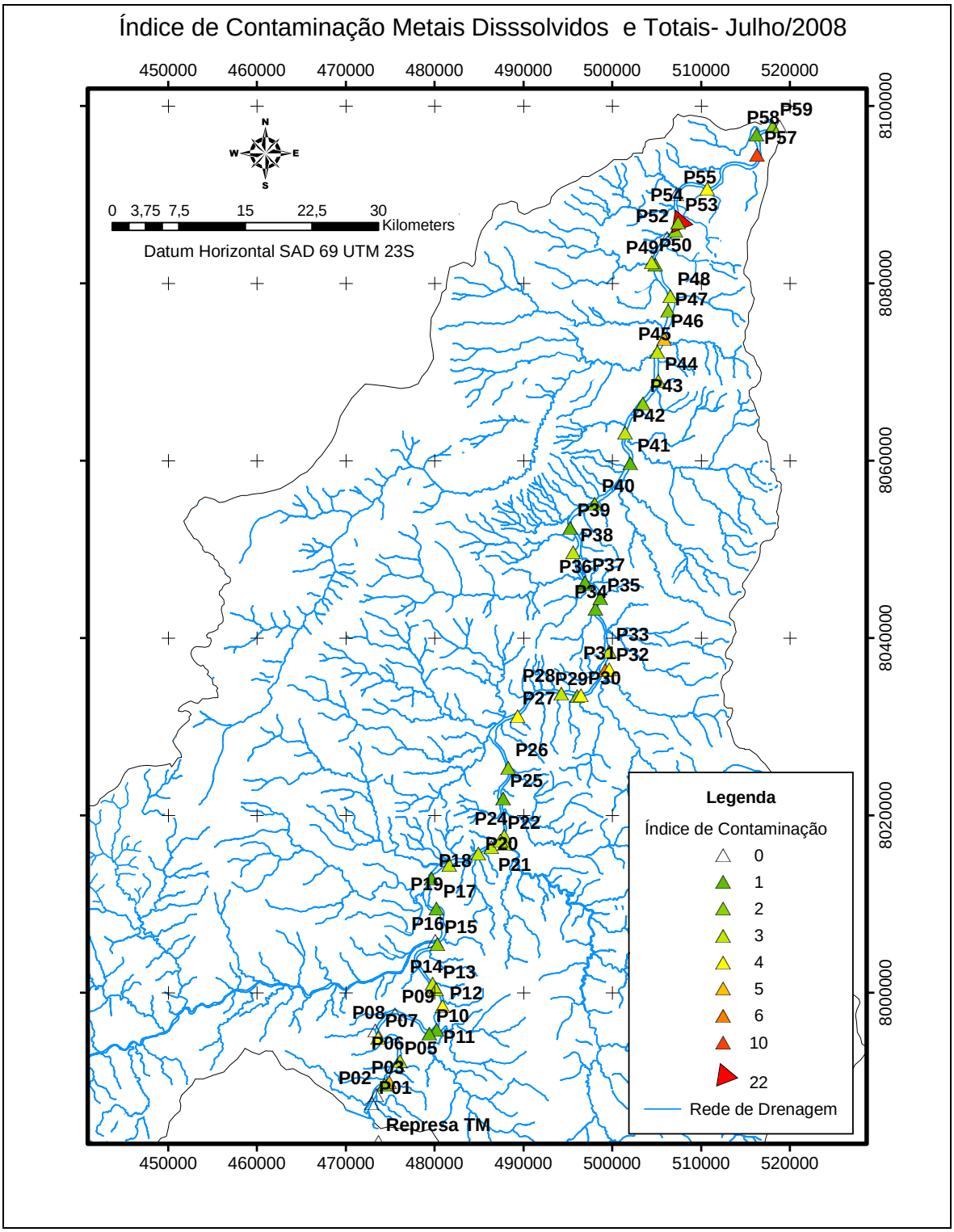


FIGURA 38 - Mapa do Ic por metais em julho/2008. Maior Ic no (P54) e Ic alto na área da Fruticultura (P56 e 57) com peso maior da contaminação por Mn.

Em outubro (FIG. 39), o Ic por metais dissolvidos variou bastante espacialmente, destacando-se o Córrego das Pedras (P50) e a área do distrito industrial (P53) pela presença de' Cu, Cd, Ni e Co. Chama a atenção ainda o Cu na área dos sitiantes em Três Marias (P13) bem como o Cd nos pontos 31, 39, 48 e 49, com possível influência da agricultura e da pecuária. Nos demais pontos, as alterações do Ic referem-se ao Al, Fe e Mn. Reafirma-se a contaminação por Zn no Córrego Consciência (P4).

Ainda em outubro, quando a fração em suspensão (FIG. 40) é associada as concentrações dos metais , mudanças no Ic podem ser observadas no distrito industrial de Pirapora (P54) com o Cr, Zn e Mn e no Rio Abaeté (P16), Rio de Janeiro (P23), Ribeirão do Atoleiro (P32) e a jusante do Córrego Marambaia (P47 - início da área das lagoas marginais) com o Cr, resultando no aumento do Ic nesses pontos. Nos demais destaca-se o Mn suspenso.

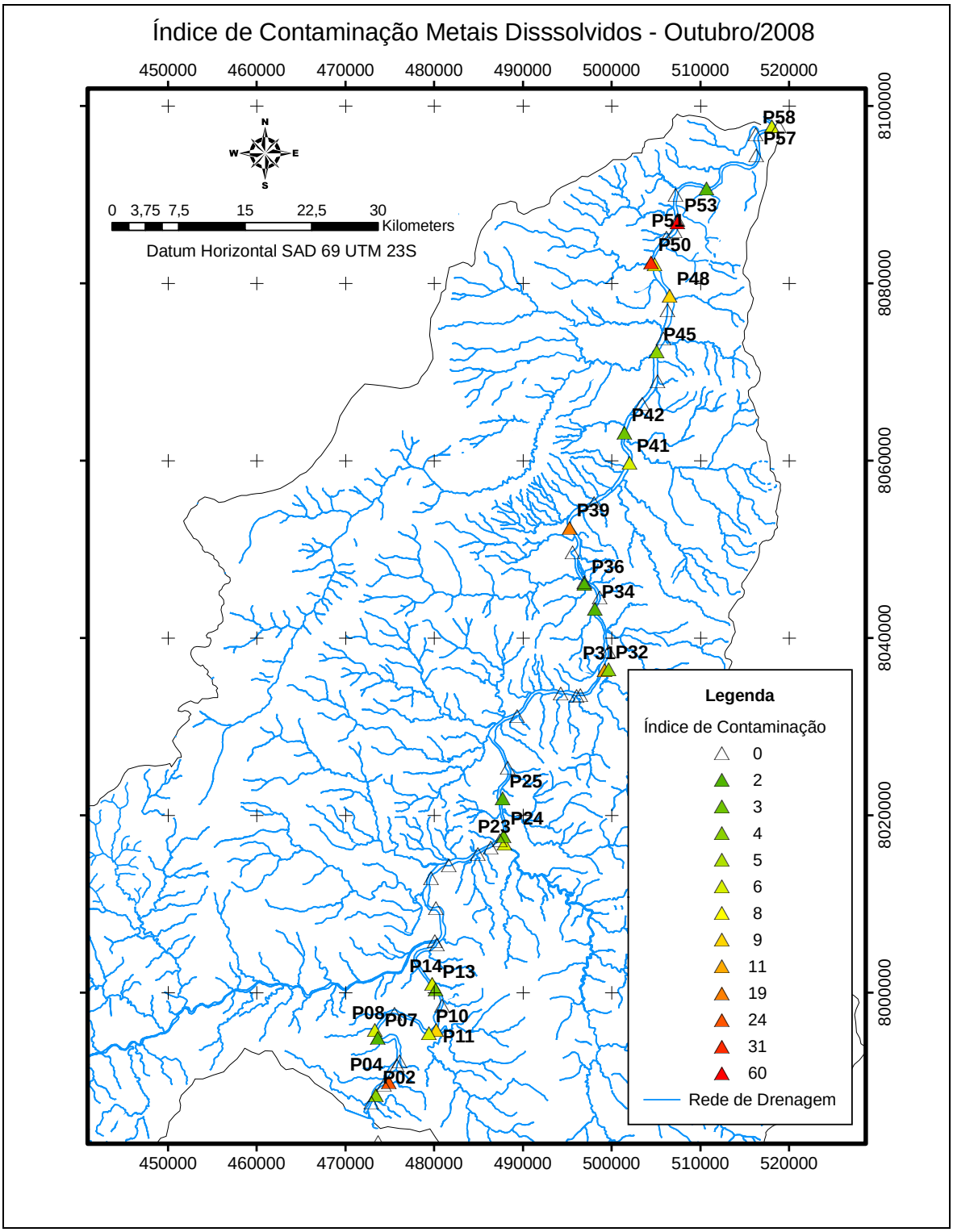


FIGURA 39 - Mapa do Ic por metais dissolvidos em outubro/2008. Ic menor que 8, contaminação por Al, Fe e Mn, exceto P13, contaminado por Cu (162%).

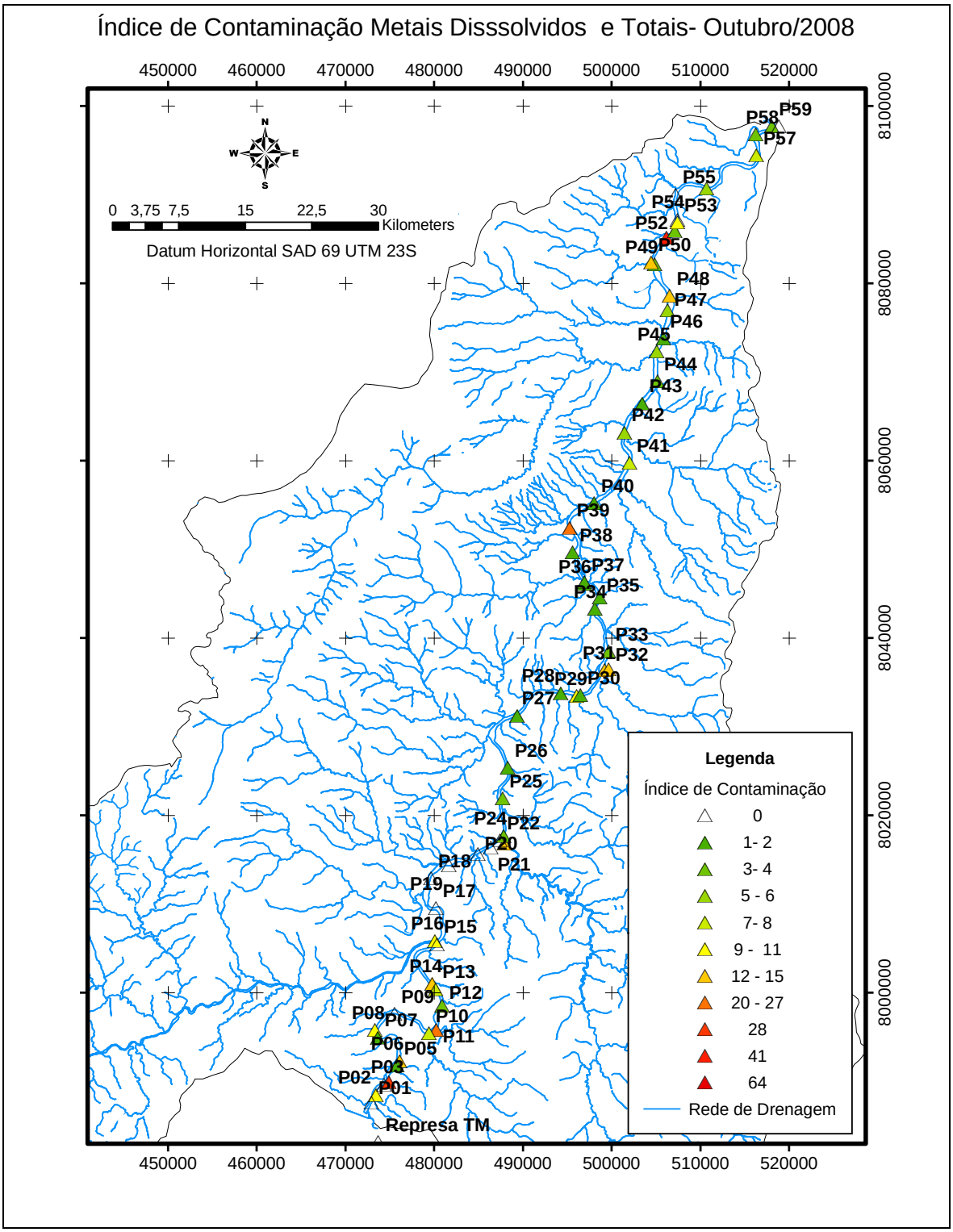


FIGURA 40 - Mapa do Ic por metais em outubro/2008. Ic mais altos associam-se aos metais com maior toxidade.

O Ic em janeiro (FIG. 41) não apresentou valores elevados, obtendo o maior índice no Córrego Consciência (P4) pelas concentrações de Zn e Cd, e no Córrego Barreiro Grande (P2) com o Zn. Os demais valores foram determinados pelas concentrações de Al, Fe e Mn. Para esse último, destaca-se sua presença apenas na área do Projeto de Fruticultura (P58).

O Ic para os metais totais em janeiro (FIG. 42) apresenta-se bastante elevado no Córrego Barreiro Grande (P2), no Consciência e nos Rios Espírito Santo, Abaeté e Rio de Janeiro (FIG.1). Esses altos Ic estão associados, especificamente, à presença dos metais Co, Cr, Cd, Ni e Ba, tendo em comum altas concentrações de Mn e Zn.

Ainda pode-se destacar o Ic a jusante do córrego Marambaia (P46), associado à presença de Co, Cr, Ni e Ba. O Cr influencia também os Ic entre o (P25 e P49). Zn e Mn apresentam níveis de contaminação ao longo de todo o perfil, sendo o fator de contaminação do Mn significativamente maior.

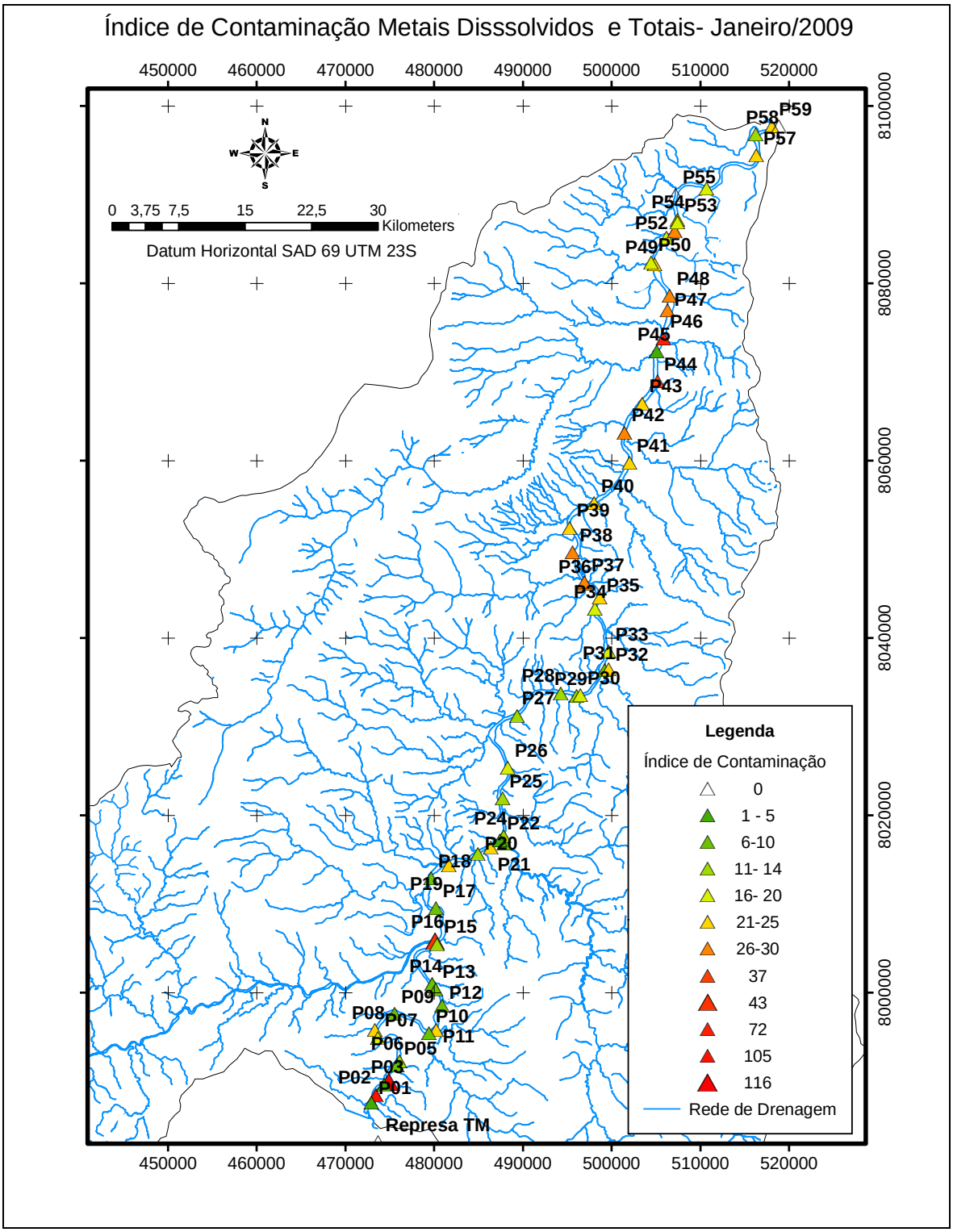


FIGURA 41 - Mapa do Ic por metais dissolvidos em janeiro/2009. Ic associados à indústria (P2, P4 e P52).

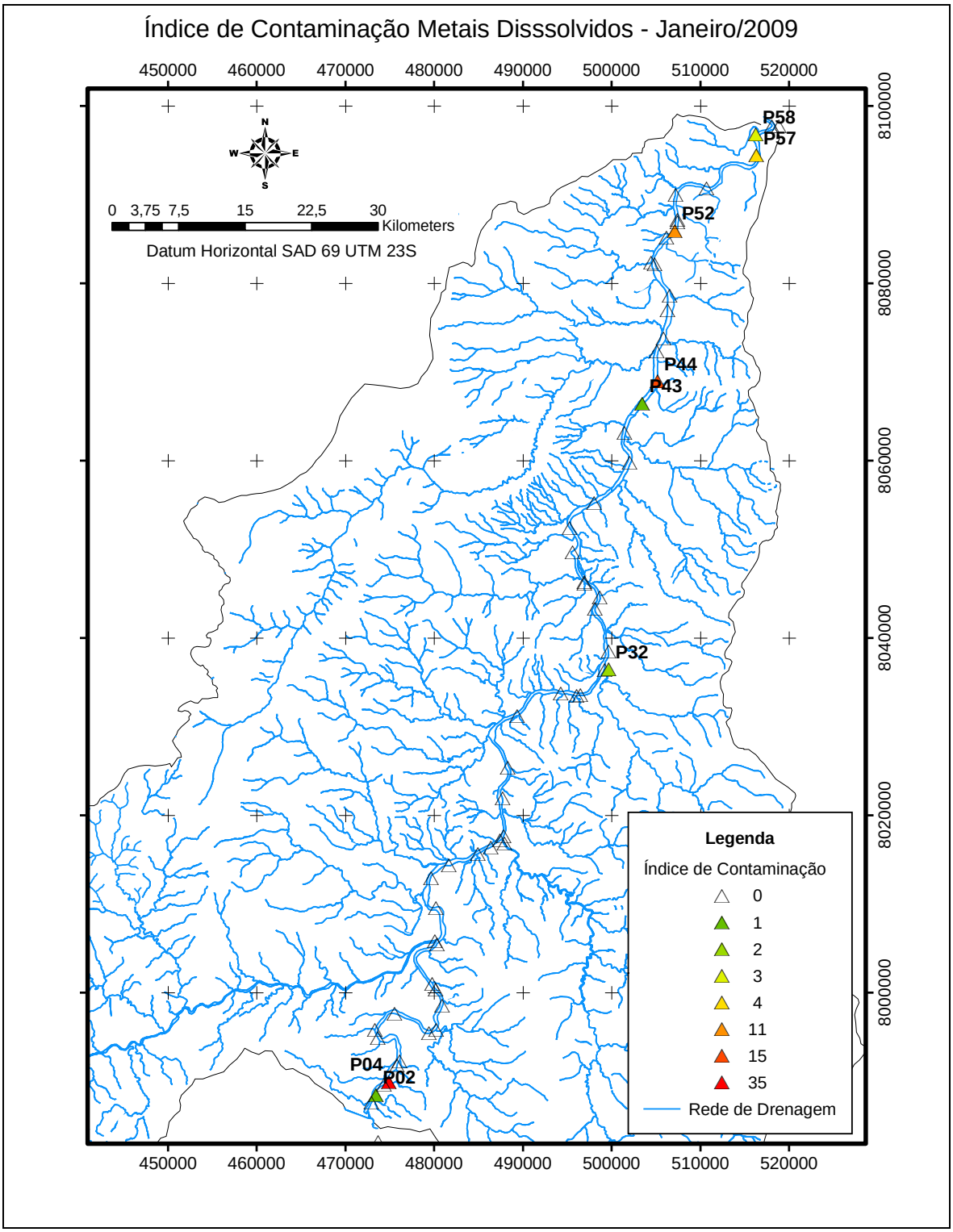


FIGURA 42 - Mapa do Ic por metais em janeiro/2009. Ic mais altos associam-se aos metais com maior toxidade.

O Ic reflete bem a qualidade da água no RSF. Analisando o Ic com a fração dissolvida, percebe-se que os problemas de contaminação estão em pontos específicos nos centros urbano-industriais, o que facilita processos de gestão e intervenção para melhorar a qualidade da água do RSF. Considerando os metais em suspensão, os problemas de contaminação se ampliam. No entanto o Ic em geral está relacionado principalmente ao Mn, o que diminui a preocupação em termos de toxidade, mas chama atenção ainda as concentrações de Zn e Cr, que apresentam concentrações acima do limite legais na fração total.

5.6 – Análise Estatística

5.6.1 - Índice de Contaminação

A análise conjunta de todos os metais foi realizada com a criação de um Índice de Contaminação. Esse índice foi calculado tendo como referência os Limites da Resolução CONAMA/357. O peso de cada elemento foi considerado em função da própria variação dos limites definidos pela legislação uma vez que valores máximos menores estão associados a elementos com toxidade mais elevada e valores máximos maiores são definidos para elementos menos tóxicos, o que caracteriza um peso diferente para cada um desses elementos no que se refere á qualidade ambiental.

Para calcular o índice, primeiramente foi calculado o Fator de Contaminação (Fc) para cada um dos elementos. Laybauer (1995), Eleutério (1997) e Oliveira et al (2005) adotaram o cálculo do Fc na quantificação da contaminação. Para calcular o Fc, esses autores utilizaram um ponto de controle representativo do *background* da área estudada.

Segundo Oliveira et al (2005), na proposta de Tomlison *et al (1980)* o Fc é definido como a razão entre a concentração no ponto amostrado e o *background*[15] da região, ou seja, quantas vezes o metal analisado ultrapassa o nível de base proposto para a

[15] RODRIGUES e NALINI Jr., 2009.

região. Para este trabalho, foi utilizado como *background* os Limites Máximos estabelecidos pela resolução CONAMA 357 de 2005. Assim, o Fc mostra quantas vezes a concentração está acima do permitido pela legislação ambiental.

O Índice de Contaminação (Ic) foi calculado a partir da soma dos Fc para cada ponto, utilizando os parâmetros físico-químicos e os metais pesados. Essa soma mostra a diferenciação dos níveis (acumulado) de contaminação nos pontos.

Para a análise da influência do uso do solo no Ic, foi criada uma tabela de ‘variáveis dicotômicas (ANEXO F), que indica a presença ou ausência das principais classes de uso do solo em relação aos pontos amostrados na área em estudo: Urbano, Indústria, Eucalipto, Soja, Milho, Café, Pecuária Extensiva, Irrigação, Sítios e Fruticultura). Foi incluída também a variável “Afluente”, visando avaliar a interferência dos maiores afluentes presentes na área de estudo no Ic. Esses afluentes foram incluídos nas coletas com um ponto na sua foz no Rio São Francisco.

Um agrupamento (TAB. 5) foi realizado utilizando a Análise de Cluster, a partir do qual foram criados quatro grupos, caracterizados a partir dos dados de uso do solo e do Ic.

No grupo 1, estão 18,7% das amostras das quais 63,6% estão associadas a índices de contaminação. Esse grupo pode ser denominado Urbano-industrial, já que 100% das amostras são urbanas e 54,6% são de área industrial. Um total de 27,3% são afluentes.

Um total de 59,4% das amostras estão no grupo 2. Esse foi denominado Rural-Afluente, caracterizando-se por 67,8% das amostras contaminadas. Desse percentual, 65,7% situam-se em pontos cujas áreas de influência são marcadas por plantações de eucalipto, enquanto 22,8% refletem condições dos Afluentes.

O grupo Rural-Irrigado (Grupo 3) detém 20,3% das amostras, das quais 75% estão contaminadas. Um total de 100% das amostras estão em área irrigada e 41,6% em áreas de cultivo de eucalipto. Destaca-se ainda, nesse grupo, 16,6% das amostras na área de produção de frutas.

O quarto grupo foi denominado Rural-Agropecuária, com 1,6% das amostras, das quais 50% estão contaminadas. Esse grupo restringe as amostras que têm características comuns de uso no cultivo de café, soja, milho, eucalipto, pecuária e irrigação. O grupo concentrou os pontos das áreas rurais com mais intenso e diversificado uso do solo, como foi verificado em campo na sub-bacia do Rio do Formoso.

TABELA 5
Agrupamento das amostras por relação com uso do solo

	Grupo 1 Urbano-Industrial	**Grupo 2 Rural - Afluente**	**Grupo 3 Rural - Irrigação**	**Grupo 4 Rural - Agropecuária**
Amostras (%)	18,7	59,4	20,3	1,6
Contaminação (%)	63,6	67,8	75	50
Urbano (%)	100			
Industrial (%)	54,6			
Afluente (%)	27.3	22,8	8,3	100
Pecuária Extensiva (%)	9	5,8	8,3	100
Eucalipto (%)		65,7	41,6	100
Frutas (%)		2,9	16.6	
Sítios (%)		9,3	10,4	
Irrigação (%)			100	100
Café (%)			25	100
Soja (%)				100
Milho (%)				100

O grupo que apresentou maior percentagem de amostras contaminadas refere-se ao Rural-Irrigado. Esse agrupamento mostra a importância da atividade agrícola no contexto da qualidade ambiental das águas do Rio São Francisco. Os grupos Urbano-Industrial e Rural-Afluente também refletem bem os níveis de contaminação associados ao uso do solo industrial e urbano bem como os Ic associados às sub-bacias e ao uso do solo com eucalipto. O uso do solo menos expressivo nos Ic foi o Sítio, que não apresentou participação marcante em nenhum dos grupos.

5.6.2 Análise de Variância

A Análise de variância, ANOVA, foi utilizada no estudo da relação entre os Grupos de uso do solo e o Ic. Foram realizados dois testes utilizando o Ic, considerando-se o Ic calculado a partir da fração dissolvida dos metais e, em um segundo momento, com os metais dissolvidos e os totais estabelecidos pela Resolução CONAMA 357.

A variação mais significativa foi verificada entre os grupos Urbano-Industrial e Rural-Afluente (TAB. 6) bem como entre os grupos Urbano-Industrial e Rural Irrigado,

respectivamente. O comportamento das médias entre esses grupos apresentou diferenças significativas.

TABELA 6
Média do Ic para Metais Dissolvidos

Grupo	Média	Amostras	Desvio Padrão
Urbano-Industrial	13,16	44	44,54
Rural- Afluente	2,80	140	3,14
Rural – Irrigado	2,88	48	2,42
Rural – Agropecuária	4,05	4	5,18
Total	4,77	236	19,67

***** P< 0.05 (Diferença das médias é significativa até 0.05)

A diferença da média do Ic (TAB. 7) foi mais expressiva entre os grupos Urbano-Indutrial e Rural-Afluente. Esses resultados caracterizam diferentes níveis de contaminação encontrados na área de estudo, evidenciando índices de contaminação mais elevados que estão associados ao grupo urbano-industrial. Os níveis de contaminação mais baixos são refletidos nos grupos associados às atividades rurais, como mostra a tabela acima para os grupos Rural-Afluente e Rural-Irrigado.

TABELA 7
Média do Ic para Metais Dissolvidos e totais

Grupo	Média	Amostras	Desvio Padrão
Urbano-Industrial	17,61	44	44,54
Rural- Afluente	5,89	140	3,14
Rural – Irrigado	7,13	48	2,42
Rural – Agropecuária	8,76	4	5,18
Total	8,37	236	19,67

***** P< 0.05 (Diferença das médias é significativa até 0.05)

Os testes realizados com o Ic, incluindo os metais totais, apresentam comportamento semelhante àquele que inclui os metais dissolvidos, no entanto a diferença no Ic fica mais evidente no grupo Urbano-Industrial e nos grupos Rural-Afluente e Rural Irrigado. Nesse segundo teste, os índices de contaminação aumentam em todos os grupos, mostrando um Ic mais elevado relacionado às concentrações dos metais em suspensão (que entram no cálculo dos metais totais).

A confiabilidade das diferenças dos testes de médias descritos acima é maior para o Ic com o metais totais, pois apresenta melhores resultados de significância bem como no intervalo de confiança entre as médias.

Outro teste de média foi realizado visando avaliar a variação do Ic de acordo com a sazonalidade climática. Os resultados (TAB. 8) mostraram uma média de Ic maior em janeiro e outubro. A variação entre as amostragens mais marcantes foi observada entre janeiro/ julho, janeiro/outubro e janeiro/março.

TABELA 8
Médias do Ic nas diferentes amostragens

Amostragem	**N**	**Média**	**Desvio Padrão**	**95% Confidence Interval for Mean**	
				Lower Bound	Upper Bound
1 Janeiro	59	**7,67**	5,67	6,20	9,15
2 Julho	59	**3,69**	6,75	1,93	5,45
3 Março	58	5,43	2,57	4,75	6,10
4 Outubro	58	10,13	7,40	8,19	12,07
Total	234	6,72	6,34	5,91	7,54

***** P< 0.05 (Diferença das médias é significativa até 0.05)

A melhor significância e os melhores resultados do intervalo de confiança foram observados entre janeiro e julho. O maior índice de contaminação na estação chuvosa (janeiro) corrobora o maior aporte de material em suspensão que influencia no Ic, como mostrado pela diferença observada entre os testes ANOVA com os metais dissolvidos e totais.

Testes de Correlação entre a distância das indústrias e o Ic também foram realizados, mas não apresentaram resultados significativos. Esses resultados podem estar relacionados à pequena quantidade de pontos que localizam-se próximo à área industrial e ainda à dinâmica local dos lançamentos de efluentes quando comparados com a extensão da área estudada.

6.0 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O quadro da qualidade da água no Rio São Francisco pode ser descrito por processos de contaminação que foram evidenciados em fontes pontuais já nos parâmetros físico-químicos. Áreas com fontes difusas foram mapeadas a partir da análise especifica das concentrações dos metais pesados nas frações dissolvida e suspensa, com destaque para a possível influência da agricultura principalmente nas concentrações dissolvidas dos metais com maior nível de toxidade.

Os parâmetros físico-químicos corroboraram as duas fontes de poluição urbano-industrial nos Córregos Barreiro Grande e Consciência em Três Marias e na área do lançamento do efluente industrial em Pirapora. Verificou-se nesses pontos um pH mais ácido, altos valores de condutividade e de STD, baixas concentrações de OD e alteração pontual da temperatura em comparação ao restante segmento.

Na área do efluente industrial a sazonalidade da alteração do pH mostra valores mais básicos na estação seca e mais ácidos no verão. Essa relação reflete a interação do efluente com as águas do RSF uma vez que na estação chuvosa tem-se um volume maior de água que dilui e altera o caráter básico do pH decorrente do efluente industrial.

As contaminações por metais foram evidenciadas em duas áreas de fontes pontuais de poluição associada por influência da indústria principalmente com altos valores dos metais dissolvidos.

Na primeira área, uma grande quantidade de metais apresentou níveis de contaminação nos Córregos Barreiro Grande e Consciência. No Córrego Barreiro Grande além do passivo ambiental da indústria de Zn também ocorrem lançamentos de o esgotos domésticos, resultando em níveis de contaminação para Al, Fe e Mn na fração dissolvida e para Cd e Zn dissolvido e suspenso e ainda para os metais Cr, Pb e Co em suspensão. No Córrego Consciência as contaminações ocorreram para Mn, Cd, Cr e Zn na fração dissolvida e em suspensão para os metais Pb, Ni e Cu em suspensão. Entre esses dois córregos também foram verificadas contaminações por Zn e altas concentrações de Cr dissolvido.

Destacam-se nestes cursos d´água os metais Mn, Cd, Zn e Cr quando apresentam contaminação na fração dissolvida uma vez que estes elementos tem uma maior possibilidade de apresentar efeitos tóxicos. Quanto aos metais que se restringiram à fração em suspensão, como Pb, Ni e Cu, estes são removidos por processo de filtração e

têm menor possibilidade de absorção por organismos uma vez que estão adsorvidos ao MPS.

Em relação ao segmento do Rio São Francisco próximo a Três Marias foram verificadas maiores concentrações de Mg, Mn e Ca dissolvido. As maiores concentrações desses elementos na fração dissolvida estão relacionadas à maior acidez da água na área permitido a dissolução desses metais e a disponibilização na coluna de água.

A amplitude da influência da contaminação da cidade de Três Marias pode ser observada em maiores concentrações no RSF até 3 km a jusante da foz do Córrego Consciência. Fica evidente que a diluição das concentrações ocorre em função do próprio volume de água do RSF não sendo verificados valores que evidenciam o carreamento de metais, como o Zn, que ocasionem níveis de contaminação decorrentes da influência direta dessa área.

A segunda fonte pontual urbano-industrial localizada entre Pirapora e Buritizeiro evidencia principalmente a contaminação associada aos efluentes do distrito industrial.

No Córrego das Pedras observou-se contaminações para Cu, Cd e Ni; todos esses metais apresentaram níveis acima do limite ambiental já na fração dissolvida. Metais como o Cu e Ni são considerados elementos essenciais e podem entrar nos suplementos alimentares dos suínos, principalmente em confinamento, como aqueles que existem nesta sub-bacia. As quantidades de Cd podem estar relacionadas aos particulados atmosféricos do distrito industrial uma vez que alterações para Cd dissolvido foram observadas em outros pontos próximo a área industrial e a montante do Córrego das pedras.

Na área do distrito industrial contaminações para Al, Fe dissolvido, Ba total e Pb e Cr em suspensão estão relacionadas ao efluente industrial liquido. Além destes também pode-se destacar um pico de Zn em suspensão. Próximo às indústrias ressalta-se contaminações por Cu, Cd, Ni e Mn dissolvido e para Pb dissolvido e em suspensão; a presença destes metais alerta para a necessidade de avaliar a influencia dos particulados atmosféricos no meio ambiente uma vez que a emissão de particulados é constante e pode ter efeitos irreversíveis ao longo do tempo devido à capacidade de acumulação dos metais. Alterações para Cr dissolvido também foram observadas na área do distrito industrial. Os valores encontrados apesar de se encontrarem dentro do limite permitido revelam a entrada desse metal no sistema aquático, podendo se constituir em um problema ambiental no futuro.

Variações nas concentrações de Mg também foram verificados neste segmento do RSF em Pirapora, mostrando a interferência das atividades antrópicas nos teores de metais e na qualidade da água.

Não foram verificados níveis de contaminação nesses pontos em todas as amostragens, no entanto observa-se sempre valores mais altos em relação aos demais pontos a montante e a jusante da área industrial. Os níveis de contaminação se restringem aos pontos mais próximos à área industrial e de lançamento do efluente sendo diluídos a jusante. É necessário destacar, no entanto, que estas concentrações de metais não são mais removidos e o seu acumulo constante, mesmo pontual, pode ter efeitos na biota em um futuro próximo em uma dezenas de anos caso a entrada destes elementos não seja controlada.

Na análise da influência da agropecuária foram consideradas mudanças significativas para os metais pesados ao longo do segmento analisado. A diferença nas concentrações dos metais no perfil é bastante diferenciada para as concentrações dissolvidas de Cu, Cd, Cr, Co e Ni que ocorreram somente nestes pontos do segmento estudado.

Para as fontes difusas de poluição, principalmente de origem agrícola, e considerando sobretudo os resultados para a fração dissolvida dos metais verificou-se dois conjuntos de variação espacial nas concentrações de alguns elementos: no segmento a jusante do Rio de Janeiro, à montante da Cidade de Pirapora e na área do Projeto de Fruticultura à jusante da cidade de Pirapora.

As atividades agrícolas se intensificam a jusante da sub-bacia Rio de Janeiro onde o espaço rural começa a diversificar-se sobrepondo ao predomínio do eucalipto a produção de grãos e o sistema irrigado.

Esse segmento com maior concentração de atividades agrícolas irrigadas refere-se ao trecho entre a sub-bacia do Rio de Janeiro e as cidades de Buritizeiro e Pirapora nas margens esquerda e direita respectivamente. À jusante destes centros urbanos tem-se a produção de frutas na margem direita até a montante da foz do Rio das velhas.

Nessa área agrícola verificou-se a presença de Cu e Cd dissolvido que foram observados somente na área com uso agrícola mais intenso, os valores de Cu, Cd encontram-se entre o Limite de Detecção e o Limite de Quantificação e tem sido verificados nesta mesma área na amostragem de março, julho e outubro até a montante de Pirapora. Vale ressaltar que estes foram os únicos pontos onde foram obtidas leituras para esses metais além da área industrial.

Comportamento semelhante é observado para os metais Cr e Co dissolvido, no entanto o Co dissolvido abrange uma área maior até a área do projeto de fruticultura, onde as concentrações de Cr em suspensão também são maiores.

Concentrações de Ni dissolvido também foram encontradas nesta área, mas diferentemente dos demais metais as alterações foram observadas para o Ni nas frações dissolvida e em suspensão nos mesmos pontos. Essas alterações foram observadas entre o Ribeirão do Atoleiro e a montante da Ilha dos Prazeres em outubro e no Ribeirão do Atoleiro e o Córrego Cedro em março.

O Ba também apresentou alterações na área agrícola. Concentrações maiores de Ba dissolvido foram notados a montante de Pirapora principalmente na amostragem de outubro. Esse período coincide com a época de preparação do solo para a agricultura ficando mais propenso à liberação de metais com as primeiras chuvas que antecedem as plantações do denominado plantio de verão (soja sequeiro, milho,café, e algodão). Existe também plantio da soja irrigada e milho safrinha nos meses de fevereiro e março, assim como foi refletido nas alterações para Ba em março. Nesta área destaca-se as alterações na foz do Rio do Formoso, do Ribeirão do Atoleiro e dos Córregos Cedro e Marambaia.

Na área do Projeto de Fruticultura o ponto com maiores concentrações refere-se ao mais próximo da área de plantio, local inclusive onde está instalada a estação de captação de água da CODEVASF . Nesta área chama atenção os níveis de Cd, Cr, Co, Ba e Mn que podem estar relacionados aos produtos agroquímicos utilizados e ao manejo das culturas.

Essas alterações descritas acima não confirmam a contaminação por esses metais, uma vez que na maioria dos pontos os valores estavam abaixo do limite de quantificação. No entanto, fica evidente a diferença no comportamento desses metais neste trecho do RSF, sendo necessária a realização de estudos mais específicos nos solos agrícolas. Apesar dos valores encontrados ainda serem baixos, a chegada de contaminantes de origem agrícola em altas concentrações nos cursos d'água representa alto nível de contaminação tendo em vista o percurso percorrido por estes contaminantes.

Esses resultados fornecem embasamento para o desenvolvimento de estudos mais específicos no sentido de avaliar as influências das atividades agropecuárias na qualidade da água do RSF.

Os níveis de contaminação associados aos metais em suspensão (Mn, Zn e Cr) não são os maiores problemas no que se refere à qualidade da água, pois apesar de apresentarem uma distribuição espacial mais ampla suas concentrações apresentam maior

dificuldade de entrada na cadeia alimentar uma vez que estão associados ao MPS. Para as águas usadas para consumo humano as partículas em suspensão são removidas por processos de tratamento convencional, como é especificado pela legislação ambiental (Resolução CONAMA 357) para a classe do Rio São Francisco no segmento, o que não é viabilizado para os metais dissolvidos.

A qualidade da água pode ser descrita a partir dos parâmetros físico químicos e das concentrações especificas dos metais que não atendem os requisitos de uso e, portanto, os padrões de qualidade. Neste sentido a analise dos Índices de Contaminação encontrados neste segmento mostra que tanto os dados físico -químicos quanto as concentrações dos metais alertam para o comprometimento da qualidade da água na área urbana e industrial. Neste contexto, destacam-se os córregos Consciência e Barreiro Grande, no segmento entre esses dois pontos e a jusante do córrego Consciência na região de Três Marias. Em Pirapora chama atenção a inadequação da qualidade da água no Córrego das Pedras em Buritizeiro e no segmento localizado próximo ao centro urbano até a área do efluente industrial liquido.

Em relação à área entre os dois centros urbanos a qualidade da água fica comprometida quando considerada a fração em suspensão principalmente na estação chuvosa. A influência dos metais dissolvidos fica restrita às concentrações de Fe e Al.

As alterações encontradas para os metais dissolvidos mostram a necessidade de estabelecer um programa de monitoramento da qualidade da água com uma rede mais densa que permita acompanhar melhor as fontes difusas de poluição como as de origem agrícola.

Quanto à comparação entre os limites estabelecidos pela legislação ambiental e a metodologia utilizada, a Resolução CONAMA 357 não estabelece a metodologia para a análise dos metais totais sendo adotado neste trabalho o procedimento de digestão ácida comumente mencionada na literatura. É importante enfatizar a necessidade do estabelecimento da metodologia na legislação visando validar comparações entre os estudos ambientais.

A análise da contaminação por metais mostrou-se eficiente no que se refere ao estudo da qualidade da água, corroborando com a necessidade da integração dos metais mais tóxicos nos Índices de Qualidade da Água.

As condições da qualidade da água observadas neste estudo ainda podem ser consideradas boas em termos de contaminação por metais pesados. Os dados apresentados

nesta pesquisa permitem visualizar a variação da qualidade da água no Rio São Francisco e os principais pontos de intervenção para as ações preventivas e corretivas.

Portanto ressalta-se a necessidade de implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e seus respectivos instrumentos, visando a melhoria dos processos de gestão e, consequentemente, da qualidade da água na bacia do RSF.

7.0 REFERÊNCIAS

AGUDO, Edmundo Garcia. *Guia de coleta e preservação de amostras de água*. São Paulo: CETESB, 1987. 150p.

ALKMIM, Fernando Flecha; MARTINS-NETO, Marcelo Augusto. A Bacia intracratônica do São Francisco: Arcabouço Estrutural e Cenários evolutivos. In: PINTO, Claiton Piva; MARTINS-NETO, Marcelo. (Ed) *Bacia do São Francisco: Geologia e recursos naturais* (ed.). Belo Horizonte: SBG-MG, 2001. Cap. 2, 9-30.

ALKMIM, Fernando Flecha, Chemale Jr.F. & Endo I. A deformação das coberturas proterozóicas do cráton do São Francisco e o seu significado tectônico. Revista da Escola de Minas de Ouro Preto, 49 (1): 22-38. 1996.autores

AMARAL SOBRINHO, Nelson Moura Brasil *et al.* Metais pesados em alguns fertilizantes e corretivos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v. 16, p. 271-276, 1992.

ANJOS, José Ângelo Sebastião Araujo. *Avaliação da eficiência de uma zona alagadiça (wetland) no controle da poluição por metais pesados: o caso de Plubum em Santo Amaro da Purificação/BA.* Orientador: Luiz Enrique Sanchez. 2003. 328 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Departamento de Engenharia de minas e de petróleo, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

BAGGIO, Hernando. *Contribuições naturais e antropogênicas para a concentração e distribuição de metais pesados em água superficial e sedimento de corrente na Bacia do Rio do Formoso, município de Buritizeiro, MG.* Orientador: Adolf Heinrich Horn. 2008. 216 f. Tese (Doutorado em Geologia) - Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

BAGGIO, Hernando. *Alterações na Paisagem Natural e Agrícola do município de Buritizeiro - MG: Implicações do Plantio Generalizado de Pínus e Eucalipto no Meio Físico, Biológico e Sócio-econômico.* 154 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Departamento de Geografia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2002.

BAIRD, Colin. *Química Ambiental.* 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2002.

BARBOSA, Francisco ; BARRETO, Francisco Cesar de Sá. Diferentes Visões da Água. In BARBOSA, Francisco (Org.) *Ângulos da Água: desafios da integração.* Belo Horizonte: Editora UFMG, 2008. Cap. 2 p 11-23.

BARBOSA, Paulina M. Maia; BARBOSA, Francisco. A biodiversidade Aquática: Hotspots ainda desconhecidos. In BARBOSA, Francisco (Org.) *Ângulos da Água: desafios da integração.* Belo Horizonte: Editora UFMG, 2008. Cap. 3 p 25-37.

BARBIERI *et al*. Atividades antrópicas e impactos ambientais, biodiversidade, populações e economia: uma região da Mata Atlântica (Paula J.A). Belo Horizonte, Minas Gerais, p 273 – 343.

BASNYAT, P. *et al*. The use of remote sensing and GIS em warshed level analyses of non point source pollution problems forest ecology and management, 128: 65-73

BAYO, M. A-A. *Indicador de Calidad de las Aguas.* TAU Consultoria Ambiental. 1999.

BENETTI, Antonio; BIDONE, Francisco. O meio ambiente e os recursos hídricos. In: TUCCI, Carlos E M (org.). *Hidrologia: Ciência e aplicação*. Porto Alegre: Editora da UFRS, 2002. Cap. 22. P. 849-876.

BENJAMIM, Mark M. e HONEYMAN, Bruce D. Trace Metal. In BUTCHER, Samuel S. *Global biogeochemical* cycles. London: Academic Press, 1994. 379p. (International Geophysics Series; n.50) 1994. Cap. 15, 317 – 352.

BRAGA, Benedito. *Introdução a Engenharia Ambiental.* São Paulo: Prentice Hall, 2002.

BRAGA, Leidiane Luiza. *Avaliação do Impacto ambiental da usina de beneficiamento de Fe e Si, Várzea da Palma, MG, Brasil*: Distribuição e Transporte de contaminantes. 2007.82 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.

BRANCO, Samuel Murgel. *Energia e Meio Ambiente.* São Paulo: Editora Moderna, 1991.

BRANCO, Samuel Murgel; ROCHA, Aristides Almeida. *Poluição, proteção e usos múltiplos de represas.* São Paulo: Edgard Blucher, CETESB, 1977.

BRASIL. Decreto nº 24.643, de 10 de julho de 1934. Decreta o Código de Águas. *Diário* Oficial [da Republica Federativa do Brasil], Brasília, 1934. Disponível em<http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=693>. Acesso em 22 de outubro de 2008.

BRASIL. Lei 9.433/97 – 17 de Julho de 1997. Estabelece a política nacional de recursos hídricos. *Diário Oficial* [da Republica Federativa do Brasil], Brasília, 1997. Disponível em: http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=327. Acesso em: 22 de Outubro de 2008.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria 518 de 25 de março de 2004. Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências. *Diário Oficial* [da Republica Federativa do Brasil], Brasília, 2004. Disponível em: http://portal.saude.gov.br/portal/arquivos/pdf/portaria_518.pdf. Acesso em: 22 de Outubro de 2008.

BUTCHER, Samuel S. *et al*. (ed.) *Global Biogeochemical Cycles.* London: Academic Press Limited, 1992. 379p. (International Geophysics Series, 50).

CETEC - Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais. *Estudos de metais pesados no estado de Minas Gerais*. Relatório final. Belo Horizonte. 1980. 151p.

CETEC - Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais. *Diagnóstico Ambiental do Estado de Minas Gerais*. Belo Horizonte, CETEC/COPAM, 1983. 1v. (Inclui 08 Mapas Temáticos).

CHIAVEGATTO, José Roberto Seccioso. *Análise estratigráfica das seqüências tempestística da Formação Três Marias (Proterozóico Superior), na porção meridional da Bacia do São Francisco.* 1992. 216 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Departamento de Geologia, Escola de Minas, UFOP, Ouro Preto, 1992.

CIMINELLI, Virginia S. T. e BARBOSA, Francisco. Água, indústria mineral, conservação do meio ambiente e biodiversidade. In BARBOSA, Francisco (Org.) *Ângulos da Água: desafios da integração.* Belo Horizonte: Editora UFMG, 2008. Cap. 4 p 39-64.

CONAMA. Conselho Nacional de Meio Ambiente. *Resolução 357 de Março de 2005*. Dispõe sobre e a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões para o lançamento de efluentes, e dá outras providências. Disponível em: www.mma.gov.br/conama acesso em: 22 de mar. 2008.

COPAM. Conselho de Política Ambiental. Deliberação Normativa COPAM nº 10, de 16 de dezembro de 1986 Estabelece normas e padrões para qualidade das águas, lançamento de efluentes nas coleções de águas, e dá outras providências. *Diário do Executivo - "Minas Gerais"*- Belo Horizonte, 1987. Disponível em:

http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=91. Acesso em: 20 de Outubro de 2008.

COTRIM, Marycel Elena Barboza. *Avaliação da qualidade da água na bacia hidrográfica do Ribeira de Iguapé com vistas ao abastecimento publico*. 2006. Orientadora: Maria Aparecida Faustino Pires. Tese (Doutorado em Ciências na Área da Tecnologia Nuclear) – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

COTTA, Jussara Aparecida de Oliveira. *Diagnostico Ambiental do Solo e Sedimento no parque estadual turístico do alto Ribeira (PETAR).* Dissertação (Mestrado em Ciências) – Instituto de Química de são Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos , 2003.
CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. *Análise de Consistência de dados fluviométricos da bacia do Rio São Francisco – Sub-bacia 40*. Belo Horizonte, CPRM, 2001, v.2.

CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. *Mapa Geológico do Estado de Minas Gerais.* Belo Horizonte, CPRM, 2003.

CUNHA, Fernanda Gonçalves da; FIGUEIREDO, Bernardino Ribeiro de; PAOLIELLO, Monica Maria Bastos; CAPITANI, Eduardo Mello de. Diagnóstico ambiental e de saúde humana: contaminação por chumbo em Adrianópolis, no Estado do Paraná, Brasil. In: SILVA, Cássio Roberto da Silva (Ed). *Geologia Médica no Brasil:* Efeitos dos materiais e fatores geológicos na saúde humana, animal e meio ambiente. Rio de Janeiro: CPRM-Serviço Geológico do Brasil, 2006. Cap.15, p. 97-103.

CUNHA, Fernanda Gonçalves da. *Contaminação Humana e ambiental por chumbo no vale do Ribeira nos Estados de São Paulo e Paraná.* Orientador: Bernardino Ribeiro de Figueiredo. 2003. 111f. Tese (Doutorado em Ciências) - Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2003.

DIEGUES, Antônio Carlos Sant'Ana. *Povos e Águas: inventario das áreas úmidas.* São Paulo: Núcleo de apoio a pesquisa sobre populações humanas e áreas úmidas brasileiras, USP, 2002. 597p.

DORNFELD, Carolina Buso. *Utilização de análises limnológicas, bioensaios de toxicidade e macroinvertebrados bentônicos para o diagnóstico ambiental do reservatório de Salto Grande (Americana, SP).* Orientador: Espindola, Evaldo Luiz Gaeta. 2002. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) - Departamento de Escola de Engenharia de São Carlos (EESC), USP, São Paulo, 2002.

ELEUTÉRIO, Lázaro. *Diagnóstico da situação ambiental da cabeceira do rio Doce, MG, no âmbito das contaminações por metais pesados em sedimentos de fundo*. 1997, 137p. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto. 1997.

EPA-3051. *Microwave Assisted Acid Digestion of Sediments, Sludges, Soils and Oils.* Disponível em: http://www.caslab.com/EPA-Methods/PDF/EPA-Method-3051.pdf. Acesso em 25 mai. 2009.

ESTEVES, Francisco de Assis. *Fundamentos de Limnologia.* 2 ed. Rio de Janeiro: Interciência, 1998.

FADINI, Pedro Sergio; JARDIM, Wilson de Figueiredo. A contaminação por mercúrio na bacia hidrográfica do rio negro, Amazônia Brasileira. In: CONGRESSO DE GEOQUÍMICA DOS PAÍSES DE LÍNGUA PORTUGUESA, 4, 2001, Faro. *Anais do IV Congresso de Geoquímica dos Países de Língua Portuguesa.* Faro, 2001.p

FRANÇA, Júnia Lessa; VASCONCELLOS, Ana Cristina de. *Manual de normalização de publicações científicas*. Belo Horizonte: Ed. UFMG, 2007. 97p.

FELLENBERG, Gunter. *Introdução aos problemas da poluição ambiental.* São Paulo. EPU: Springer. Ed. da Universidade de São Paulo, 1980.

FERGUSSON, J. E. *The heavy elements: chemistry, environmental impact and health effects*. Oxford: Pergamon Press, 1990.

FERREIRA, Andrea Cristina; PÁDUA, Valter Lúcio. Qualidade da água para consumo humano Capítulo. In HELLER, Léo Heller e PÁDUA, Lúcio de Pádua (Org.). *Abastecimento de Água pra Consumo Humano.* Belo Horizonte: Editora UFMG, 2006. Cap, 4, 62 – 84.

FIGUEIREDO, Bernardinho Ribeiro; BORBA, Ricardo Perobelli; ANGELICA, Rômulo Simões. Arsênio no Brasil e Exposição Humana. In: SILVA, Cássio Roberto da Silva (Ed). *Geologia Médica no Brasil:* Efeitos dos materiais e fatores geológicos na saúde humana, animal e meio ambiente. Rio de Janeiro: CPRM- Serviço Geológico do Brasil, 2006. Cap.10, p. 64-70.

FORMOSO et al. *Técnicas analíticas instrumentais aplicadas a geologia*. São Paulo: Edgard Blucher, Prominério, 1984.

FORSTNER, Ulrich; MULLER, German. *Schwermetalle in Flussen und Seen als ausdruck der umweltverschumuzung*. New York: Springer-Verlag, 1974. 225 p.

FOSTER, Ian D.L.; CHARLESWORTH, Susanne M., 1996. Heavy metals in the hydrological cycle: trends and explanations. *Hydrological Processes* **10**, p. 227–261.

GONÇALVES, José Augusto costa; MARGARETE, Aparecida Pereira; PAIVA, José Fernando; LENA, Jorge Carvalho de.. O Arsênio nas águas subterrâneas de Ouro Preto. In: SILVA, Cássio Roberto da Silva (Ed). *Geologia Médica no Brasil:* Efeitos dos materiais e fatores geológicos na saúde humana, animal e meio ambiente. Rio de Janeiro: CPRM- Serviço Geológico do Brasil, 2006. Cap.11, p. 71-77.

HELLER, Léo Heller e PÁDUA, Lúcio de Pádua (Org.). *Abastecimento de Água pra Consumo Humano.* Belo Horizonte: Editora UFMG, 2006.

HERMES, Luiz Carlos. *Avaliação da qualidade das Águas: manual prático.* Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004.

HORN, Adolf Heinrich; BAGGIO, Hernando;TRINDADE, Wallace Magalhães; BRAGA, Leidiane Luiza. Contamination by mineralogical dust emission of Si e Fe-Si industry in the region of Pirapora and Várzea da Palma, MG, Brazil, and its ambiental and Health effects. In: INTERNATIONAL LATEINAMERIKA-KOLLOQUIUM, 2009, Gottingen. *Anais do International Lateinamerika-Kolloquim.* Göttingen: Universitätsdrucke Göttingen, April 7-9, 2009. P. 139-14.

IBGE. Censo Demográfico – 2000. Disponível http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2000.shtm. Acesso em 20 de fevereiro de 2009.

IEF – Instituto Estadual de Florestas. 2005. Mapeamento da Cobertura Vegetal e Uso do Solo do Estado de Minas Gerais. Setor de Geoprocessamento e Análises de Imagens – LEMAC. UFLA. 2005.

LACERDA, Luiz Drude. Trace Metals in sediment sores from remote lakes of the Pantanal, A Central Brazil. Geochimica Brasiliensis (Rio de Janeiro), v. 6, n. 2, p. 103-109, 1992.

LANNA, Antonio Eduardo. Gestão dos Recursos Hídricos. In: TUCCI, Carlos E. M. (Org.). *Hidrologia*: *Ciência e Aplicação*. 3 ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH, 2001. Cap 19, p. 727 -768.

LAYBAUER, Luciano. *Análise das transferências de metais pesados em água e sedimentos fluviais na região das minas do Camaquã, RS.* Dissertação (Mestrado em Geociências) - Instituto de Geociências, UFRGS. Porto Alegre, 1995. 164p.

LIBÂNEO, Marcelo. *Fundamentos de qualidade e tratamento de Água.* 2ed. Campinas, SP: Editora Átomo, 2008.

LICHT, Otavio A. B. Geoquímica multielementar de superfície na delimitação de riscos e impactos ambientais, Estado do Paraná, Brasil. In: SILVA, Cássio Roberto da Silva (Ed). *Geologia Médica no Brasil:* Efeitos dos materiais e fatores geológicos na saúde humana, animal e meio ambiente. Rio de Janeiro: CPRM- Serviço Geológico do Brasil, 2006. Cap.1, p. 21-34.

LOPES, Idio; FIGEURIREDO, Bernardinho Ribeiro; ENZWEILER, Jacinta; VENDEMIATTO, Maria Aparecida. Chumbo e arsênio nos sedimentos do Rio Ribeira de Iguapé, SP/PR. In: SILVA, Cássio Roberto da Silva (Ed). *Geologia Médica no Brasil:* Efeitos dos materiais e fatores geológicos na saúde humana, animal e meio ambiente. Rio de Janeiro: CPRM- Serviço Geológico do Brasil, 2006. Cap.14, p. 88-96.

LUNDHAMER, S. et al. Distribuição dos Metais Pesados nos Sedimentos e na Água do Rio São Francisco a Jusante de Três Marias. In: *ENESMA*, 4, 1993, Cuiabá, *Anais do 4° Encontro Nacional de Estudos Sobre o Meio Ambiente*. Cuiabá, UFMT, 1993.

MACÊDO, Jorge Antônio Barros. *Introdução à Química Ambiental*. 1ª ed. Juiz de Fora: Jorge Macedo, 2002. 487p.

MAGALHÃES Jr., Antônio Pereira. *Indicadores Ambientais e Recursos Hídricos: Realidade e Perspectivas para o Brasil a partir da Experiência Francesa.* Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007. 688p.

MAGALHÃES Jr., Antônio Pereira. O*s indicadores como instrumentos de apoio à consolidação da gestão participativa da água no Brasil: realidade e perspectivas no contexto dos comitês de bacia hidrográfica.* Orientador: Oscar de Moraes Cordeiro Netto 2003. Tese (Doutorado em Desenvolvimento Sustentável). Universidade Federal de Brasília, 2003.

MALAVOLTA, Eurípedes. *Fertilizantes e seu impacto ambiental*: micronutrientes e metais pesados, mitos, mistificação e fatos. São Paulo: Produquímica, 1994.

MARTINS-NETO, Marcelo Augusto;ALKMIM, Fernando Flecha. Estratigrafia e Evolução tectônica das bacias Neoproterozóicas do Paleocontinente São Francisco e suas

Margens: registro da quebra de Rodínia e colagem de Gondwana. In: *Bacia do São Francisco: Geologia e recursos naturais* (ed). Belo Horizonte: SBG-MG, Cap, 3, 31 -54. 2001.

MARTINS-NETO, Marcelo Augusto. e PINTO, Claiton Piva. Bacia do São Francisco: definição e base de dados. In: *Bacia do São Francisco: Geologia e recursos naturais* (ed). Belo Horizonte: SBG-MG, Cap. 1, 1-8. 2001.

MATTOS, Alcione Ribeiro de. *Índice de Qualidade de Águas para a bacia do Rio das Velhas* – Aspectos metodológicos e avaliação quantitativa do ambiente. 1998. 102p. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais. 1998.

MATTIAS, Jorge Luis. *Metais Pesados em solos sob aplicação de dejetos líquidos de suínos em duas microbacias hidrográficas de Santa Catarina.* 2006, 164 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Centro de Ciências Humanas, Universidade Federal de Santa Maria.2006.

MEDEIROS, Paulo Ricardo Petter. *Aporte fluvial, transformação e dispersão da matéria em suspensão e nutrientes no estuário do Rio São Francisco, após a construção da Usina Hidroelétrica do Xingó (AL/SE).* Tese (Doutorado em Geociências), - Universidade Federal Fluminense, Niterói, RJ, 2003.

MOZETO, Antônio Aparecido. *Critérios de qualidade de sedimentos (CQS) para metais pesados: fundamentos teóricos.* São Carlos: UFSC, 2001. 86p. Disponível em: <http://www.dq.ufscar.br/Labs/ biogeoquímica/pdf/relat.pdf >. Acesso em: 20 out. 2008.

NOVOTHY, Vladimir. Diffuse Sources of pollution by Toxic Metal and Impact on receiving Waters. In: SALOMONS, Win. Heavy *Metals: Problems and Solutions.* 4ed. New York: Springer, 1995. Cap. 3, p. 32-52.

NRIAGU, Jerome Okon. A history of global metal pollution. *Science*, 272: 223-224. Abril, 1996.

OLIVEIRA, Mara Regina. *Investigação da contaminação por metais pesados da água e do sedimento de corrente nas margens do rio São Francisco e tributários, a jusante da represa da CEMIG, no município de Três Marias, Minas Gerais*. Orientador: Adolf Heinrich Horn. 2007. 149 f. Tese (Doutorado em Geologia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.

OLIVEIRA, Mara Regina; ROESER, Hubert Mathias Peter e HORN, Adolf Heinrich. Concentração de metais pesados nos sedimentos de corrente no parque estadual do itacolomi e arredores, MG. *Geonomos*, Belo Horizonte 13(1 2): 83-90, 2005.

PATRUS, Maria Letícia Rabelo Alves; FIGUEIREDO, V. L. S. ; MATOS, A. R. ; SANTOS, A. C. S.; MENEZES, I. C. R. Parcela Mineira da Bacia do São Francisco: caracterização hidroclimática e avaliação dos Recursos Hídricos de Superfície. In PINTO, Claiton Piva & MARTINS-NETO, Marcelo. *Bacia do São Francisco: Geologia e recursos naturais* (ed). Belo Horizonte: SBG-MG, Cap. 6, 2001. Cap. 93-138.

PETRONI, Sérgio Luis Graciano. *Estudos de adsorção de zinco e cádmio em turfa. Potencialidade de utilização de um adsorvedor natural em sistemas de tratamento de efluentes.* 1999. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Nuclear). Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

PORTO, Rubem La Laina. (org.). *Hidrologia Ambiental*. São Paulo: ABRH-EDUSP 1991.414 p.

PRIMO, Afrânio Reis Rodrigues. *Avaliação do Reservatório do Funil na qualidade da água do Rio Paraíba do Sul. 2006.* Dissertação (Mestrado em Química) - Instituto de Química, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

RASHED, M. Nageeb. *Biomarkers as indicator for water pollution with heavy metal in rivers, seas and oceans.* 2006. Disponível em: <www.wrrc.dpri.kyoto>. Acesso em: 25 ago. 2008.

RIBEIRO, Elizêne Veloso. *Níveis de Contaminação por metais pesados em águas superficiais do Rio São Francisco em Pirapora e sua relação com as atividades industriais*. 2007, 109 f. Monografia (Graduação em Geografia) - Departamento de Geografia, Universidade Estadual de Montes Claros, Pirapora, 2007.109p.

RIBEIRO, Elizêne Veloso; TRINDADE, Wallace Magalhães ; MAGALHÃES Jr, Antônio Pereira ; HORN, Adolf Heinrich . *Análise têmpo-espacial do uso do solo e sua influência na qualidade da água no segmento do Rio São Francisco entre Três Marias e Pirapora – MG.* In: XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2009, Campo Grande. O Desafio da Prática da Sustentabilidade na Gestão dos Recursos Hídricos: Natureza, Gente e Desenvolvimento. Campo Grande : ABRH, 2009. v. 1. p. 1-17.

RIETZLER, Arnola Cecilia;FONSECA, A. L. ;LOPES, G. P. Heavy metals in tributaries of Pampulha Reservoir, Minas Gerais. *Brazilian Journal of Biology.* [online]. 2001, vol.61, n.3, pp. 363-370. ISSN. Disponível em <http://www.scielo.br/pdf/bjb/v61n3/7330.pdf >. Acesso em 22 de setembro de 2007.

RODRIGUES, Aline Sueli de Lima e NALINI Jr, Hermínio Arias. *Valores de background geoquímico e suas implicações em estudos ambientais.* REM: R. Esc. Minas, Ouro Preto, V. 62(2): 155-165, 2009. (abr. jun).

RODRIGUEZ, Marlon Pelaez. *Avaliação da qualidade da água da bacia do alto Jacaré-Guaçu/SP (Ribeirão do Feijão e Rio do Monjolinho) através de variáveis físicas químicas e biológicas.* Orientadora: Takako Matsumura-Tundisi. 2001. 175 f. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia de São Paulo, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2001.

SANTOS, Nádia Antônia Pinheiro. *Uma Abordagem metodológica para determinar a influência do uso e da cobertura do solo como fonte de poluição difusa na alteração da qualidade da água na bacia do Rio das Velhas. 2005.* Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2005.

SAWYER, Clair N., MCCARTY, Perry L., PARKIN, Gene F. *Chemistry for Environmental Engineering an Science.* 5ª ed. New York: MacGraw-Hill, 2003. 752 p.

SELINUS, Olle. Geologia Médica. In: SILVA, Cássio Roberto da Silva (ed). *Geologia Médica no Brasil:* Efeitos dos materiais e fatores geológicos na saúde humana, animal e meio ambiente. Rio de Janeiro: CPRM- Serviço Geológico do Brasil, 2006. Cap.1, p. 1-5.

SGARBI, Geraldo Norberto Chaves; SGARBI, Patricia Barbosa de Albuquerque ; CAMPOS, J. E. G.; DARDENNE, Marcel Auguste ; PENHA, U. C.. Bacia Sanfranciscana: O registro do Fanerozóico da Bacia do São Francisco. In PINTO, Claiton Piva & MARTINS-NETO, Marcelo. *Bacia do São Francisco: Geologia e recursos naturais* (ed). Belo Horizonte: SBG-MG, 2001. Cap. 6, 93-138.

SGARBI, Geraldo Norberto Chaves. Arenitos Eólicos da Formação Areado (Bacia Cretácea do São Francisco): Ca;racterização diagênese e aspectos. *Revista Brasileira de Geociências.* 21(4): 342-354.1991.

SILVA, Cássio Roberto da; FIGUEIREDO, Bernardinho Ribeiro; CAPITANI, Eduardo Mello de. Geologia Médica no Brasil. In: SILVA, Cássio Roberto da Silva (Ed). *Geologia Médica no Brasil:* Efeitos dos materiais e fatores geológicos na saúde humana, animal e meio ambiente. Rio de Janeiro: CPRM- Serviço Geológico do Brasil, 2006. Cap. 2, p. 6-14.

SILVA, Wilson Francisco da. Determinação da carga de material em suspensão no Rio São Francisco: Ano Hidrológico 2007. 38 f. 2009. Monografia (Graduação em Geografia) – Instituto de Geografia, Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal de Alagoas, 2009.

SOARES, Paulo Sergio Moreira; YOKOYAMA, Lidia; FREIRE, Denize Dias de Carvalho. *Transporte de Metais Pesados no solo no contexto da disposição de resíduos sólidos.* Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2005. 42p. (Série Tecnologia Mineral, 1).

SPECTRO ANALYTICAL INSTRUMENTS. Conceitos da ISO para Limites de Detecção e Quantificação. De acordo com o documento ISSO draft ISO/CD 12235, itens 12.2.11.1. Fevereiro de 2010.

TOMAZELLI, Andréa Cristina. *Estudo Comparativo das concentrações de cádmio, chumbo e mercúrio em seis bacias hidrográficas do Estado de São Paulo*. Orientador: Luiz Antônio Martinelli. 2003. 124p. Tese (Doutorado em Ciências) – Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2003.

TONANI, Karina Aparecida de Abreu. *Identificação e quantificação de metais pesados, parasitas e bactérias em esgoto bruto e tratado da Estação de Tratamento de Esgoto de Ribeirão Preto – SP*. 2008 . 179 f. Dissertação (Mestrado em Enfermagem e Saúde Pública) - Escola de Enfermagem de Ribeirão Preto , Universidade de São Paulo. S. Ribeirão Preto, 2008.

TOREM, Maurício Leonardo. *Flotação aplicada à remoção de metais pesados.* Rio de Janeiro: CETEM/MCT , 2003.75p. (Série Tecnologia Mineral, 28).

TRINDADE, Wallace Magalhães. *Condicionantes Litoestruturais da origem e desenvolvimento de processos erosivos e arenização na bacia do Rio do Formoso – Buritizeiro /MG*. 2007. 84 f. Monografia (Graduação em Geografia) - Departamento de Geografia, Universidade Estadual de Montes Claros, 2007.

TRINDADE, Wallace Magalhães; RIBEIRO, Elizêne Veloso; BAGGIO, Hernando; HORN, Adolf Heinrich. O Grupo Mata da Corda na Bacia Hidrográfica do Rio do Formoso e suas Feições Morfológicas Correlata. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA/REGIONAL CONFERENCE ON GEOMORPHOLOGY, 4. 2006. Goiânia. *Anais Simpósio Nacional de Geomorfologia.* Goiânia: Universidade Federal de Goiânia, 2006, p. 01 – 07.

TUCCI, Carlos Eduardo Morelli. *Gestão da Água no Brasil*. 2ed. Brasília: UNESCO, 2002.156p disponível em http://unesdoc.unesco.org/images/0012/001298/129870POR.pdf. Acesso em: 29 de Set. de 2009.

TUNDISI, José Galiza; MATSUMURA-TUNDISI, Takako; MATSUMURA-TUNDISI, José Eduardo. Conservação e uso sustentável de recursos hídricos. In BARBOSA, Francisco (Org.) *Ângulos da Água: desafios da integração*. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2008. Cap. 7 p 158-183.

UFLA – Universidade Federal de Lavras. 2005. Inventário Florestal de Minas Gerais. Setor de Geoprocessamento e Análises de Imagens – LEMAC. UFLA. 2005.

VALADÃO, Roberto Célio. *Evolução de Longo-Termo do Relevo do Brasil Oriental (Denudação, Superfícies de Aplanamento e Soerguimento Crustais).* Orientador: José Maria Landim Domingue1998. 242 p. Tese (Doutorado em Geologia Sedimentar) - instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia – UFB. Salvador.

VIANA, Veridiana Mendes Figueiredo Cristofolo. *Estudo Geológico Ambiental das Veredas do Rio do Formoso no Município de Buritizeiro - MG*. 2006, 71 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Instituto de Geociências – Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG, Belo Horizonte, 2006.

VIEIRA, Luiz Marques et al. Contaminação por mercúrio em sedimento e em moluscos do Pantanal, Mato Grosso, Brasil.. Revista Brasileira de Zoologia, São Paulo/SP, v. 12, n. 3, p. 663-670, 1995.

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

VON SPERLING, Marcos. *Estudos de Modelagem da qualidade da água de rios.* Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Minas Gerais, 2007.588p. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias, 7).

WORLD HEALTH ORGANIZATION. *Environmental health criteria* 165 – Inorganic Lead. Geneva, 1995, p. 25-35.

ANEXO A – A Técnica Delphi

Em seu livro "Indicadores Ambientais e Recursos Hídricos: Realidade e Perspectivas para o Brasil a partir da Experiência Francesa" Magalhaes Jr (2008) descreve pontos importante sobre esse tema:

- A técnica Delphi é um método *ad hoc* baseado em painéis, reuniões ou grupos de especialistas ou profissionais de diferentes disciplinas. Dos métodos *ad hoc*, o Delphi é o mais conhecido, tendo sido inspirado nas consultas dos gregos aos oráculos2. Foi criado na década de 50 por Olaf Helmer & Norman Dalkey, ambos cientistas da *Rand Corporation* (USA), a partir do "*Projeto Delphi*", um estudo da *Rand Corporation* relacionado ao uso de opiniões de especialistas para fins militares estratégicos. A Empresa acreditou que o Delphi marcaria o início de um novo campo de pesquisas, denominado "*tecnologia de opinião*".

- O Delphi foi proposto como um método rápido e de custos reduzidos para se obter um certo consenso de especialistas em dado tema, a partir de troca de informações e discussões interativas. Acabou sendo muito utilizado em situações de busca de soluções de problemas complexos ou no levantamento de cenários, (Turoff & Hiltz, 2000). Segundo a essência do Delphi, um grupo possui habilidade para gerar decisões e resultados mais confiáveis do que indivíduos isolados, qualidade que Hiltz & Turoff (1978) denominaram de *inteligência coletiva*. Em casos de incerteza sobre técnica ou científica (informações incompletas ou teorias inadequadas), o julgamento dos especialistas ser usado como etapa intermediária até que uma maior certeza científica seja obtida. Neste casos de incerteza, "*várias cabeças pensam melhor do que uma*" (Dalkey, 1975).

- A compreensão da técnica Delphi passa pela psicologia. Merleau-Ponty, dentre outros, nos alertam que a realidade é o produto de nossas experiências e não externa a elas (Scheele, 1975). A realidade seria, então, uma coleção de observações e fatos animada por uma sociedade de indivíduos. Nossas realidades diárias são criadas por nós mesmos a partir do significado que damos às coisas e aos eventos. Um dos significados destas assertivas para a técnica Delphi, é que, como os resultados são produzidos pela interação coletiva de um grupo, constituem-se, então, na realidade construída pelo grupo e não na realidade de indivíduos. Além disto, a realidade que construímos modifica-se com a evolução da tecnologia e da própria sociedade.

- Para Linstone & Turoff (1975) a técnica visaria "estruturar um processo de comunicação de grupo, com o objetivo de solucionar ou tratar problemas complexos". A essência da técnica Delphi, é portanto, *estruturar um processo de comunicação de grupo*. Com a qualidade da comunicação à distância, o Delphi é adequado, e comumente aplicado, a indivíduos ou grupos cujas características pessoais ou cuja quantidade não são eficientes *face-a-face* (o Delphi é indicado para grupos de 30 a 100 indivíduos). O tamanho dos grupos não é considerada uma variável decisiva para Brockhoff (1975), mas sim o número de participantes que efetivamente tomam parte nas discussões. O autor salienta que alguns participantes podem ter um papel pouco ativo.

- Deve estar claro, que no Delphi, os indivíduos não são obrigados a responder a todas as questões. Os julgamentos também podem ser confidenciais, ou seja, uma pessoa pode não participar se não se sente bem ou apto a contribuir com um aspecto específico do problema.

- O Delphi é uma *estrutura de comunicação*, cujas análises, críticas e discussões não são, obrigatoriamente, voltadas à busca de um rápido consenso final, como é o caso do Delphi

Lockeano. Muitas vezes, ao invés do consenso, é melhor medir a estabilidade de um grupo, ou seja, o momento a partir do qual as respostas ou opiniões adquirem certa estabilidade (Shceibe, Skutsch & Schofer, 1975). Análises empíricas das respostas do Delphi demonstram, entretanto, que em qualquer momento do processo, um certo movimento oscilatório das opiniões é inevitável, fato compreendido como um "*ruído interno*" no sistema. É necessário distinguir este fenômeno oscilatório de um movimento consolidado de reais mudanças de opinião. Isto pode ser feito calculando-se a proporção de respostas em cada intervalo de classe, e suas variações em relação à moda de cada "*round*" (geralmente ocorrem três *rounds*).

- Talvez a propriedade que mais caracteriza a técnica Delphi seja o uso do anonimato. Este é justificado por algumas razões (Turoff & Hiltz, 2000): os indivíduos não devem se vincular a idéias iniciais que podem se mostrar inadequadas; quando uma idéia se mostrar inadequadas o indivíduo não se sentirá constrangido; pessoas reconhecidas profissionalmente são relutantes em propor idéias duvidosas; a imediata relação de um indivíduo com uma idéia torna-o, de certa forma, mais relutante em mudar esta idéia. As pessoas mudam mais facilmente de opinião sob o anonimato; O elevado ou o baixo reconhecimento profissional de alguém do grupo pode influenciar os demais a aceitar ou rejeitar alguma idéia; É importante que os participantes acreditem que estão se comunicando com um grupo relativamente homogêneo, no qual todos podem contribuir com o problema. Porém, nada impede que, mesmo sob o anonimato, o animador informe todo o grupo de sua constituição.

- O animador deve receber as contribuições, elaborar relatórios parciais e reenviá-los novamente aos participantes para nova avaliação. A etapa de análise das respostas em cada rodada deve permitir, aos moderadores, detectar desacordos e conflitos, casos de ambigüidade na interpretação, e padrões de idéias de subgrupos (Turoff & Hiltz, 2000).

- Geralmente os questionários solicitam o fornecimento de valores ou níveis de importância aos fatores em análise. As respostas podem ser, então, ponderadas por meio de técnicas e modelos escolhidos.

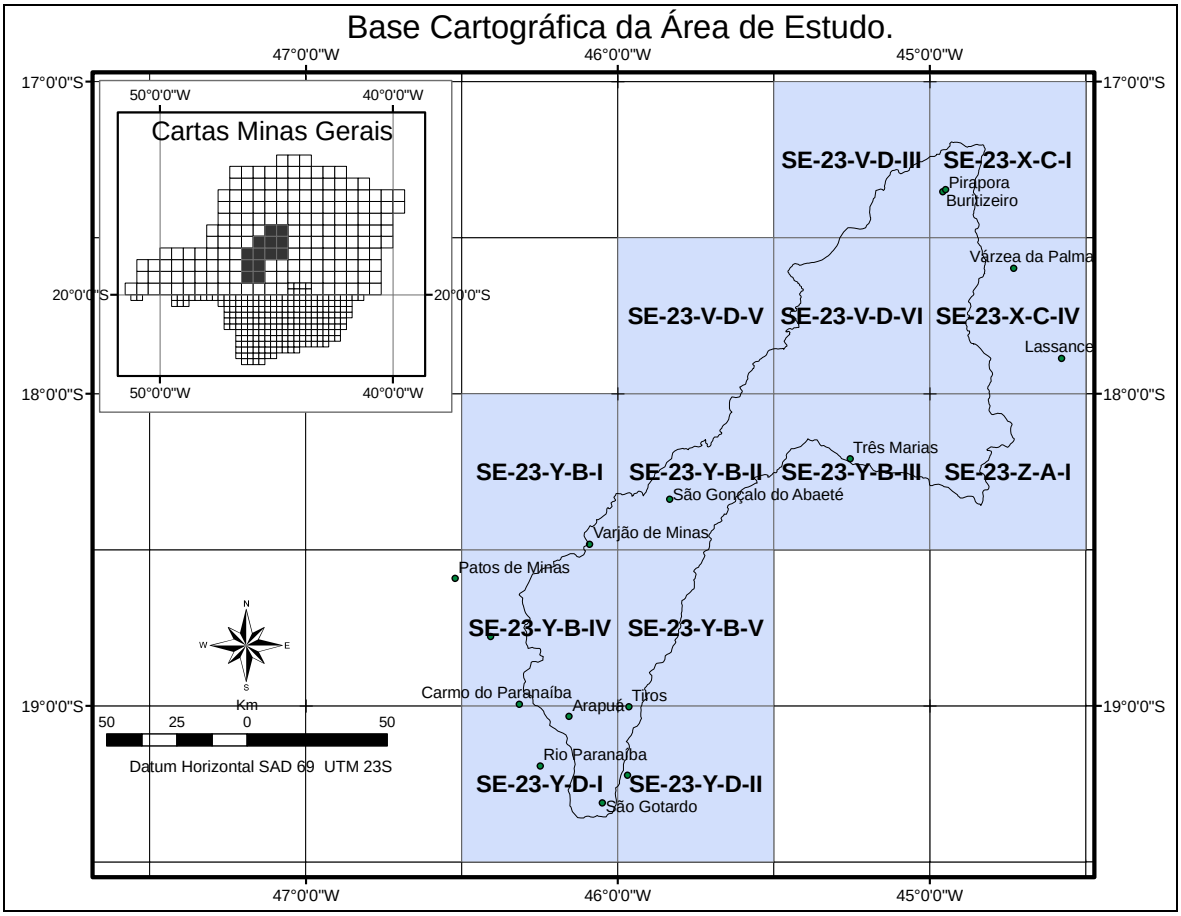
- Na área ambiental a aplicação do Delphi nunca foi tão sistemática como na área econômica. Somente a partir da década de 80, é que o número de trabalhos, principalmente nos EUA, começou a crescer. Mas em 1970 um trabalho ganhou destaque nos EUA e no mundo, quando. Brown et al., funcionários da National Sanitation Foundation, apresentaram um novo Índice de Qualidade de Águas obtido com base na técnica Delphi.Os parâmetros de qualidade da água foram submetidos à avaliação de 142 especialistas, cujas opiniões permitiram a escolha de 9 parâmetros de qualidade da água prioritários. Estes 9 parâmetros constituíram o IQA mais conhecido do globo.

Os IQAs são, na atualidade, um importante instrumento de monitoramento da qualidade da água, no Brasil monitoramentos sistemáticos são realizados utilizando IQA na caracterização das águas superficiais. Devido à dificuldade de definição dos parâmetros a serem analisados, os índices criados a partir do Delphi eliminam uma etapa critica dos programas de avaliação da qualidade da água.

REFERÈNCIA

MAGALHÃES Jr., Antônio Pereira. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007. 688p.

ANEXO B - Mapa índice das cartas topográficas da área de trabalho



ANEXO C – Parâmetros físico-químicos

UFMG CPMTC	FOLHA DE TRABALHO PARA PARÂMENTROS FÍSICO-QUÍMICOS	MARÇO/2008

PARÂMETROS ANALISADOS: pH, T°C, σ, OD, STD, Turbidez e MPS

APARELHO UTILIZADO: Combo pH/EC/TDS/Temp Waterproof Family/HI198129 da HANNA instruments, Oxigen Meter da HANNA instruments modelo: DO-5510 e Balança de Precisão

Ponto	pH	Temperatura	Condutividade	OD	Temperatura	STD	Turbidez	MPS
P01								
P02	7	25,1	38	2,1	25,7	21	60	26,25
P03	6,7	25,2	110	2,3	27,8	66	57	31,28
P04	6,4	26,1	320	4,7	26,9	213	53	21,95
P05								
P06	6,8	25,5	39	2,4	26,1	19	58	26,63
P07	6,9	26,4	40	3,5	27	21	56	29,80
P08	7	28,4	35	5	29,1	19	51	22,00
P09								
P10	6,8	26,2	45	4	26,9	24	63	26,85
P11	6,6	28,8	12	5,2	29,8	6	82	94,15
P12	7,3	25,4	35	4,3	25,9	22	50	30,55
P13	6,9	26,3	43	3,9	26,9	23	53	25,05
P14	6,9	26	36	4,3	26,8	21	53	22,48
P15	7,1	26,1	42	4,1	6,8	22	49,03	24,50
P16	7,3	25,1	35	6,6	25,4	19	942	760,23
P17	7	26	42	4,4	26,6	22	48,96	25,20
P18	7	25,7	39	5	26	21	93	113,10
P19	7,1	25,8	39	5,1	25,8	21	228	237,23
P20	7	26	33	5,1	26	18	241	180,70
P21	7,2	25,3	37	4,9	25,8	19	308	225,75
P22	7,1	25,1	37	5,1	25,6	19	326	267,15
P23	7,3	24,7	6	6,5	25,4	3	76	43,98
P24	7,3	25,1	43	5,6	25,6	23	167	139,88
P25	7,3	25,2	43	5,5	25,8	23	171	127,25
P26	7,4	25,3	43	5,6	25,7	23	265	234,85
P27	7,4	25,3	41	5,7	26,1	22	157	148,58
P28	7,4	25,7	42	6	26,4	22	268	172,80
P29	7,2	26,9	36	4,7	27,1	19	69	47,65
P30	7,2	25,9	40	5,7	26,7	21	202	152,73
P31	7,3	26	40	6	26,6	21	205	154,80
P32	7,2	29	18	5,7	31,2	9	18,17	11,00
P33	7,2	26,4	40	5,9	26,9	21	158	156,25
P34	7,2	26,2	40	5,7	26,9	21	202	159,65
P35	7,2	26,2	40	6	27	21	169	166,23
P36	7,1	26,3	37	5	27,8	19	99	71,75
P37	7,2	26,3	37	5,7	27	22	241	181,53
P38	7,3	26,3	40	6,1	27	21	228	191,65
P39	6,3	26,5	40	5,8	27	21	333	186,58
P40	6,4	26,5	40	7,5	27,5	22	106	190,90
P41	6,6	26,6	40	5,3	27,4	21	220	174,90

Ponto	pH	Temperatura	Condutividade	OD	Temperatura	STD	Turbidez	MPS
P42	6,9	26,7	40	5,5	27,5	21	173	178,35
P43	7	26,7	38	5,5	27,5	20	284	190,95
P44	7	26,7	38	5,5	27,3	20	284	219,28
P45	7	25,3	2	6	24,8	1	184	127,80
P46	6,9	26,3	40	5,4	27,2	21	260	177,65
P47	7	26,1	38	5,7	26,9	20	273	188,28
P48	7,1	26,2	38	5,7	27	20	94	63,35
P49								
P50	7,3	25,2	39	7,1	27	21	134	112,75
P51	7,4	25,9	39	6	26,7	21	140	115,00
P52	7,5	25,9	39	5,9	26,6	21	143	103,35
P53	7,5	26	40	5,9	26,7	21	155	171,80
P54							221	340,05
P55	7,5	26,5	36	6,2	27,1	19	172	124,80
P56	7,5	26,3	38	6,1	27,2	19	140	118,65
P57	7,5	26,5	40	6,3	27,2	21	161	127,90
P58	7,5	26,1	38	5,9	27,2	20	170	164,43
P59	7,4	26,6	40	6	27,6	21	155	126,10

Média	**7,104**	**26,109**	**43,444**	**5,309**	**26,472**	**24,037**	**170,348**	137,35
Desvio Padrão	**0,293**	**0,832**	**40,479**	**1,068**	**2,925**	**27,323**	**135,454**	114,23
Mínimo	**6,3**	**24,7**	**2**	**2,1**	**6,8**	**1**	**18,17**	11,00
Máximo	**7,5**	**29**	**320**	**7,5**	**31,2**	**213**	**942**	760,23

UFMG **CPMTC**	**FOLHA DE TRABALHO PARA PARÂMENTROS FÍSICO-QUÍMICOS**	**JULHO/2008**

PARAMETROS ANALISADOS: pH, T°C, σ, OD, STD, Turbidez e MPS

APARELHO UTILIZADO: Combo pH/EC/TDS/Temp Waterproof Family/HI198129 da HANNA instruments, Oxigen Meter da HANNA instruments modelo: DO-5510 e Balança de Precisão

Ponto	pH	Temperatura	Condutividade	OD	Temperatura	STD	Turbidez	MPS
P01								
P02								
P03	7,46	22,3	50	5,4	22,7	26	3,98	0,05
P04	7,25	22,6	191	5	23,3	103	2,09	0,1
P05								
P06	7,60	22,4	48	6,3	22,6	25	4,99	0,3
P07	7,54	23	66	6,2	23,6	35	3,02	2,0
P08	7,54	23,1	52	6	23,7	28	2,08	0,1
P09	7,57	23,4	60	6,2	24	33	2,08	0,05
P10	7,54	23,3	62	7,2	23,9	33	8	0,05
P11	7,60	22,2	51	6,3	22,5	26	3,55	0,1
P12	7,50	23,3	60	6,3	24	32	2,93	0,9
P13	7,60	23,4	59	6,2	23,9	32	8,91	0,05
P14	7,60	23,2	59	6,5	23,9	31	8,17	0,05
P15	7,60	23	57	6,6	23,4	30	1,56	1,0

Ponto	pH	Temperatura	Condutividade	OD	Temperatura	STD	Turbidez	MPS
P16	7,70	20,1	65	7	20,6	34	4,36	1,2
P17	7,50	23	57	7	23,4	30	6,34	1,4
P18	7,50	22,7	59	6,6	23,3	31	2,47	1,6
P19	7,50	22,6	59	7,3	23,1	31	2,38	0,9
P20	7,50	22,4	52	7,5	22,6	28	5,1	0,8
P21	7,60	22,7	60	7,3	23,1	31	2,36	0,4
P22	7,50	22,4	60	6,9	22,9	32	3,35	0,3
P23	8,30	21,7	11	8,3	21,3	5	3,6	1,6
P24	7,75	22	53	6,8	22,7	28	3,79	0,2
P25	7,66	22	58	6,66	22,6	30	3,92	2,1
P26	7,65	22,2	53	7,2	22,6	27	2,87	3,1
P27	7,76	22,8	58	6,7	24	31	6,5	2,7
P28	7,74	23	57	7,8	23,9	30	4,01	1,8
P29	7,74	22,4	56	7,1	22,7	30	3,93	0,25
P30	7,71	22,7	58	6,4	23,4	30	2,9	0,15
P31	7,72	23,1	57	7,2	23,6	30	2,71	0,25
P32	7,72	23,1	57	6,8	23,4	30	3,05	0,40
P33	7,69	23	57	6,8	23,3	31	3,39	3,7
P34	7,72	23	57	8	23,3	31	3,15	1,9
P35	7,73	23	58	7	23,1	31	3,29	4,1
P36	7,73	23,7	56	6,6	23,6	30	4,19	2,6
P37	7,69	22,7	58	7,3	23,2	31	6,13	2,8
P38	7,71	22,9	59	6,3	23,3	31	3,51	3,4
P39	7,74	23	57	6,7	23,5	30	3,97	3,0
P40	7,72	23,3	59	6,4	23,9	31	2,31	2,8
P41	7,75	23	57	6,8	23,3	30	3,58	3,2
P42	7,78	22,8	58	6,8	23,3	31	5,37	4,3
P43	7,73	23,1	57	7,2	23,1	30	4,78	4,6
P44	7,70	22,5	56	6,6	23	31	3,61	2,1
P45	8,13	17,9	1	8	18	0	3,97	0,3
P46	7,47	22,2	54	6,6	22,7	29	3,75	3,9
P47	7,58	22,2	54	7	22,8	29	4,4	4,3
P48	7,63	22,3	54	6,6	22,8	29	6,79	5,1
P49	7,90	22,2	54	7,3	22,4	29	4,89	3,3
P50	7,82	21,9	57	7,8	22,2	29	3,2	3,8
P51								
P52	7,80	23	55	7,3	23,2	29	6,47	4,3
P53	7,83	23,5	60	7,7	24,1	31	13,22	5,2
P54	8,72	27,3	2962	5,8	28,3	1.522	123	197,5
P55	7,84	23,6	60	7,6	23,9	31	39	
P56	7,93	23,1	59	7,1	23,8	31	8,72	7,8
P57	7,59	23,1	57	7,2	23,5	31	9,71	16,5
P58	8,24	23	57	7,7	23	30	3,85	4,3
P59	8,84	23	55	8,3	23,3	30	4,75	6,0
Média	**7,727**	**22,735**	**110,418**	**6,896**	**23,175**	**57,636**	**7,236**	6,0
Desvio Padrão	**0,274**	**1,075**	**392,189**	**0,662**	**1,184**	**201,434**	**16,712**	26,7
Mínimo	**7,25**	**17,90**	**1,00**	**5,00**	**18,00**	**0,00**	**1,56**	0,05
Máximo	**8,84**	**27,30**	**2962,00**	**8,30**	**28,30**	**1522,00**	**123,00**	197,5

UFMG CPMTC	FOLHA DE TRABALHO PARA PARÂMENTROS FÍSICO-QUÍMICOS	OUTUBRO/2008

PARAMETROS ANALISADOS: pH, T°C, σ, OD, STD, Turbidez e MPS

APARELHO UTILIZADO: Combo pH/EC/TDS/Temp Waterproof Family/HI198129 da HANNA instruments, Oxigen Meter da HANNA instruments modelo: DO-5510 e Balança de Precisão

Ponto	pH	Temperatura	Condutividade	OD	Temperatura	STD	Turbidez	MPS
P01	7,55	23	48	3,8	23,1	25	1,41	0,05
P02	7,22	25,1	202	6,1	25,8	109	8,76	13,03
P03	7,22	24,1	52	3,7	24,6	28	-	-
P04	6,7	25,6	151	4,5	26,1	81	2,14	0,08
P05	7,09	24,7	50	4,6	24,8	27	1,41	0,1
P06	6,81	26,7	63	3,3	26,8	32	3,17	14,13
P07	7,12	23,7	50	4,8	25,5	27	1,55	0,08
P08	6,91	27,4	52	3,8	27,8	28	3,62	0,12
P09	7,13	24,6	54	5,2	25	28	1,38	0,08
P10	7,09	24,7	52	4,9	24,8	28	2,11	0,20
P11	6,62	28,7	52	3	29	28	27,58	20,88
P12	7,19	24,7	53	4,5	25,2	28	4,37	0,60
P13	7,09	24,3	53	5,2	24,6	29	8,03	7,28
P14	6,72	25,7	56	3,2	26,7	30	3,47	3,77
P15	8,3	25,6	51	5,5	25,8	28	3,72	0,05
P16	7,45	29,7	60	5,4	30,7	32	23,48	31,55
P17	7,27	24,5	52	5,6	24,8	28	1,64	0,05
P18	7,22	24,1	54	5,5	24,1	29	1,85	0,60
P19	7,13	24	53	5,8	24,3	28	1,61	0,47
P20	7,16	23,7	53	6,8	24,6	28	2,58	0,65
P21	7,22	24,4	52	5,4	24,6	28	5,07	2,02
P22	7,54	23,8	53	6,2	23,8	28	2,14	0,02
P23	7,56	28,7	25	4,5	29,9	14		29,48
P24	7,45	23,8	50	6	24,1	28	4,61	0,03
P25	7,37	26,8	51	5,7	24	27	2,22	0,02
P26	7,32	24,2	50	5,8	24,3	27	2,21	0,08
P27	7,41	24,6	50	5,6	24,9	27	2	0,08
P28	7,43	25,2	51	6,5	25,5	27	5,68	0,1
P29	6,98	25,3	53	3,8	25,6	28	13,38	7,10
P30	7,31	24,9	52	5,6	25,7	28	2,99	0,02
P31	7,36	25,7	53	7	26	28	2,96	0,02
P32	7,02	30,1	41	4,6	29,5	22	29,86	12,45
P33	7,,36	25,2	51	5,8	29,9	28	3,64	1,18
P34	7,34	25,5	53	5,8	26,1	28	2,8	0,05
P35	7,35	25,6	53	5,5	26,1	28	4,72	0,05
P36	7,34	26,2	54	5,4	26,2	29	5,4	0,05
P37	7,33	26	53	5,7	26	28	5,7	1,25
P38	7,21	25,9	52	5,4	28,4	28	4,34	0,05
P39	7,4	26,1	52	5,3	26,6	29	6,56	0,07
P40	7,42	26,5	54	4,7	28,6	29	5,41	0,08
P41	7,43	26,4	52	5,5	26,8	28	7,03	4,48
P42	7,15	26,4	54	5,4	27,3	29	6,14	6,90

Ponto	pH	Temperatura	Condutividade	OD	Temperatura	STD	Turbidez	MPS
P43	7,29	26,3	54	5,5	26,9	29	6,61	4,48
P44	7,31	26,4	54	5,4	26,9	28	7,34	6,33
P45	6,83	30,2	3	4,5	31,1	1	5,41	0,27
P46	7,24	26,1	52	4,8	27,1	29	11,1	3,45
P47	7,23	26,1	49	5,2	26,6	27	40,82	10,75
P48	7,26	26,1	54	4,7	26,1	29	15,12	8,97
P49	7,64	25,3	53	6,7	25,7	27	3,15	3,13
P50	7,2	27,9	34	3,7	28,9	18	6,38	0,02
P51	7,4	25,8	54	6	26,1	29	3,72	2,63
P52								
P53	7,46	25,8	54	6	26,1	28	3,07	0,02
P54	8,05	27,2	650	5,3	26,6	330	19,58	0,05
P55	7,61	26,7	54	6	26,4	29	6,27	0,72
P56	7,55	26,3	54	5,7	26,3	29	3,26	0,05
P57	7,66	27	52	6	26,6	27	4,82	2,23
P58	7,6	26,8	54	6,2	26,7	29	3,21	0,18
P59	7,55	26,4	55	5,9	26,7	29	8,3	4,20

Média	**10,420**	**25,833**	**65,517**	**5,241**	**26,290**	**34,741**	**6,730**	3,24
Desvio Padrão	**0,291**	**1,557**	**81,993**	**0,898**	**1,749**	**41,690**	**7,677**	6,40
Mínimo	**6,62**	**23**	**3**	**3**	**23,1**	**1**	**1,38**	0,02
Máximo	**8,3**	**30,2**	**650**	**7**	**31,1**	**330**	**40,82**	31,55

UFMG **CPMTC**	**FOLHA DE TRABALHO PARA PARÂMENTROS FÍSICO-QUÍMICOS**	**JANEIRO/2009**

PARAMETROS ANALISADOS: pH, T°C, σ, OD, STD, Turbidez e MPS

APARELHO UTILIZADO: Combo pH/EC/TDS/Temp Waterproof Family/HI198129 da HANNA instruments, Oxigen Meter da HANNA instruments modelo: DO-5510 e Balança de Precisão

Ponto	pH	Temperatura	Condutividade	OD	Temperatura	STD	Turbidez	MPS
P01	7,57	26,8	48	7,8	27,5	25	7,4	1,16
P02	6,86	28,9	229	1,8	30	122	15,27	12,20
P03	7,01	26,5	99	6,6	27,7	54	3,02	0,04
P04	6,62	27,7	131	4,5	28,9	70	7,32	6,08
P05	7,01	26,1	56	6,1	27	30	7,05	0,40
P06	6,78	26,2	54	5,4	27,1	29	9,92	3,72
P07	6,76	24,9	50	7,6	25,7	27	17,37	10,64
P08	6,59	27,7	39	7,5	28,4	21	19,59	20,16
P09	6,96	26,1	50	6,3	26,9	27	8,74	4,28
P10	6,79	26	51	8,4	26,8	27	11,57	3,56
P11	6,31	25,9	11	5,5	26,4	5	197	119,24
P12	7,07	26,2	51	6,5	26,8	28	13,78	4,00
P13	7,15	26	51	6,4	26,6	27	15,96	5,80
P14	7,08	26,2	49	5,7	26,8	27	11,83	3,08
P15	7,12	25,8	49	7,3	26,3	27	15,06	7,12
P16	7,39	27,3	51	6,7	28,3	28	186	214,04
P17	7,3	25,6	51	6,3	26,2	27	8,19	4,40

Ponto	pH	Temperatura	Condutividade	OD	Temperatura	STD	Turbidez	MPS
P18	7,21	25,5	49	7,4	26,2	27	8,92	7,72
P19	7,13	25,4	51	7,2	26,1	27	16,12	47,08
P20	7,17	25,5	50	8,2	26,1	27	10,44	10,28
P21	7,5	25,4	51	8,3	26,1	27	43,73	49,72
P22	6,83	25,4	51	10,2	26,1	27	8,17	0,40
P23	6,9	26,5	2	9	27,1	1	103	84,64
P24	7,23	25	50			27	25,93	17,48
P25	7,3	24,9	50			27	33,52	23,48
P26	7,26	25	50			27	52	33,80
P27	7,15	25,1	48			25	25,06	20,76
P28	7,16	25,2	48			25	35,74	19,88
P29	7,23	25,2	50			25	43,76	18,64
P30	7,05	25,1	48			25	37,76	40,52
P31	7,22	25,3	50			25	37,17	20,72
P32	6,9	26,9	7			4	122	74,20
P33	7,03	25,3	47			25	41,01	35,80
P34	7,08	25,4	42			20	49,76	40,12
P35	7,15	25,4	42			22	51	46,28
P36	7,17	25,4	48			26	61	65,80
P37	7,19	25,5	48			25	61	63,56
P38	7,26	25,5	48			26	43,31	63,60
P39	7,14	25,6	42			23	29,26	50,04
P40	7,14	25,7	39			22	39,76	50,04
P41	7,23	26,1	45			24	32,46	53,08
P42	7,33	26	44			25	41,68	69,68
P43	7,16	26	45			24	55	62,64
P44	7,31	26,2	47			25	44,95	53,12
P45	7,19	26	2			1	23,67	15,92
P46	6,89	6,2	42			22	133	235,92
P47	7,13	26,3	45			25	68	68,40
P48	7,17	26,2	47			25	49,52	66,04
P49	7,42	26,2	49	7,8	26,8	25	34,02	56,80
P50	6,99	26,6	26	8,1	27,4	14	17,21	24,88
P51	7,2	26	49	6,7	26,7	26	34,16	36,68
P52	7,17	26,8	55	7,3	26,8	28	41,75	33,28
P53	7,35	26,5	52	6,4	27,1	28	44,78	37,24
P54	7,02	27,1	677	7,1	27,4	366	39,44	56,28
P55	7,3	26,8	48	6,4	26,8	25	26,01	41,28
P56	7,28	23,2	43	7	26,6	25	32,42	38,88
P57	7,32	26	51	6,6	26,7	27	29,12	45,16
P58	7,4	26,1	50	6,2	26,9	27	25,22	21,56
P59	7,3	26	49	6,8	26,8	27	32,35	51,44
Média	**7,117**	**25,617**	**60,966**	**6,856**	**26,974**	**32,627**	**39,648**	39,73
Desvio Padrão	**0,227**	**2,705**	**86,742**	**1,416**	**0,874**	**46,879**	**38,470**	43,98
Mínimo	**6,31**	**6,2**	**2**	**1,8**	**25,7**	**1**	**3,02**	0,04
Máximo	**7,57**	**28,9**	**677**	**10,2**	**30**	**366**	**197**	235,92

ANEXO D - Concentrações de metais dissolvidos (ppm)

UFMG		LABORATÓRIO DE ICP (CPMT/UFMG) – METAIS DISSOLVIDOS											MARÇO/2008	
Março/2008	**Mg**	**Al**	**Ca**	**Cr**	**Fe**	**Co**	**Cu**	**Cd**	**Ti**	**Mn**	**Ni**	**Zn**	**Ba**	**Pb**
P02	1,1470	0,1067	4,4400	0,0015	0,0546	0,0029	0,0011	0,0013	0,0003	0,0016	0,0053	0,0212	0,0163	0,0150
P03	7,4150	0,0264	6,6150	0,0015	0,0115	0,0029	0,0011	0,0013	0,0003	0,0101	0,0053	0,3141	0,0142	0,0150
P04	42,926	0,0128	33,820	0,0015	0,0082	0,0029	0,0011	0,1221	0,0003	2,6187	0,0053	29,143	0,0320	0,0461
P06	0,9540	0,0976	4,2480	0,0015	0,0642	0,0029	0,0011	0,0013	0,0003	0,0016	0,0053	0,0123	0,0169	0,0421
P07	0,9945	0,1750	4,1695	0,0015	0,1019	0,0029	0,0011	0,0013	0,0003	0,0016	0,0053	0,0135	0,0178	0,0350
P08	1,1790	0,1317	4,0135	0,0015	0,1080	0,0029	0,0011	0,0013	0,0003	0,0016	0,0053	0,0189	0,0154	0,0248
P10	1,5980	0,2151	4,8395	0,0015	0,1353	0,0029	0,0011	0,0013	0,0003	0,0016	0,0053	0,0375	0,0108	0,0166
P11	0,5395	0,0037	1,5150	0,0015	0,0397	0,0029	0,0011	0,0013	0,0003	0,0016	0,0053	0,0079	0,0103	0,0228
P12	1,2620	0,1924	4,3210	0,0015	0,1334	0,0029	0,0011	0,0013	0,0003	0,0016	0,0053	0,0287	0,0074	0,0153
P13	1,3110	0,1973	4,3075	0,0015	0,1354	0,0029	0,0011	0,0013	0,0003	0,0016	0,0053	0,0309	0,0168	0,0259
P14	1,2385	0,1039	4,1035	0,0015	0,0869	0,0029	0,0011	0,0013	0,0003	0,0016	0,0053	0,0353	0,0122	0,0206
P15	1,3425	0,2510	4,7495	0,0015	0,1583	0,0029	0,0011	0,0013	0,0003	0,0016	0,0053	0,0316	0,0130	0,0197
P16	1,3415	0,0319	4,6455	0,0015	0,0118	0,0029	0,0011	0,0013	0,0003	0,0016	0,0053	0,0356	0,0147	0,0158
P17	1,3475	0,2260	4,7240	0,0015	0,1430	0,0029	0,0011	0,0013	0,0003	0,0016	0,0053	0,0426	0,0090	0,0150
P18	1,1025	0,1440	4,3300	0,0015	0,1006	0,0029	0,0011	0,0013	0,0003	0,0016	0,0053	0,0108	0,0128	0,0150
P19	1,0515	0,0804	4,1280	0,0015	0,0433	0,0029	0,0011	0,0013	0,0003	0,0016	0,0053	0,0133	0,0155	0,0150
P20	0,9530	0,0059	3,5045	0,0015	0,0069	0,0029	0,0011	0,0013	0,0003	0,0016	0,0053	0,0083	0,0074	0,0150
P21	1,0935	0,0272	4,1285	0,0015	0,0152	0,0029	0,0011	0,0013	0,0003	0,0016	0,0053	0,0098	0,0087	0,0238
P22	1,2837	0,0551	4,1947	0,0015	0,0509	0,0029	0,0011	0,0013	0,0003	0,0016	0,0053	0,0076	0,0092	0,0150
P23	0,4949	0,0170	1,1170	0,0015	0,0265	0,0029	0,0011	0,0013	0,0003	0,0016	0,0053	0,0144	0,0103	0,0261
P24	1,6260	0,0692	4,7325	0,0015	0,0361	0,0029	0,0011	0,0013	0,0003	0,0016	0,0053	0,0217	0,0267	0,0234
P25	1,5470	0,2766	4,3825	0,0015	0,1977	0,0029	0,0011	0,0013	0,0003	0,0016	0,0053	0,0245	0,0305	0,0326
P26	1,5345	0,0388	4,7280	0,0015	0,0197	0,0029	0,0011	0,0013	0,0003	0,0016	0,0053	0,0149	0,0306	0,0328
P27	1,5367	0,0745	4,6130	0,0015	0,0524	0,0029	0,0011	0,0013	0,0003	0,0016	0,0053	0,0151	0,0195	0,0267
P28	1,5510	0,0566	4,7770	0,0015	0,0301	0,0029	0,0011	0,0013	0,0003	0,0016	0,0053	0,0180	0,0389	0,0430
P29	1,4780	0,0236	3,3650	0,0015	0,1601	0,0029	0,0011	0,0013	0,0003	0,0016	0,0053	0,0170	0,0318	0,0408

Março/2008	Mg	Al	Ca	Cr	Fe	Co	Cu	Cd	Ti	Mn	Ni	Zn	Ba	Pb
P30	1,6310	0,0748	4,9605	0,0015	0,0488	0,0029	0,0011	0,0013	0,0003	0,0016	0,0053	0,0207	0,0359	0,0454
P31	1,6280	0,0740	4,8620	0,0015	0,0817	0,0029	0,0011	0,0013	0,0003	0,0016	0,0053	0,0178	0,0396	0,0468
P32	1,0455	0,0267	2,2985	0,0015	0,1959	0,0029	0,0011	0,0013	0,0003	0,0016	0,0128	0,0143	0,0281	0,0520
P33	1,4990	0,0447	4,7375	0,0015	0,0269	0,0029	0,0011	0,0013	0,0003	0,0016	0,0053	0,0138	0,0276	0,0442
P34	1,5135	0,0869	4,7885	0,0015	0,0536	0,0029	0,0011	0,0013	0,0003	0,0016	0,0053	0,0145	0,0316	0,0499
P35	1,5690	0,1126	4,8295	0,0015	0,0772	0,0029	0,0011	0,0013	0,0003	0,0016	0,0053	0,0164	0,0319	0,0522
P36	1,4340	0,1377	4,1145	0,0015	0,1996	0,0029	0,0011	0,0013	0,0003	0,0016	0,0053	0,0132	0,0269	0,0414
P37	1,4275	0,0303	4,1620	0,0015	0,0297	0,0029	0,0011	0,0013	0,0003	0,0016	0,0053	0,0031	0,0170	0,0146
P38	1,4580	0,0942	4,2240	0,0015	0,0755	0,0029	0,0011	0,0013	0,0003	0,0016	0,0053	0,0206	0,0143	0,0288
P39	1,3730	0,0713	4,2675	0,0015	0,0583	0,0029	0,0011	0,0013	0,0003	0,0016	0,0053	0,0091	0,0074	0,0171
P40	1,3365	0,0753	4,2195	0,0015	0,0897	0,0029	0,0014	0,0026	0,0003	0,0016	0,0053	0,0187	0,0074	0,0329
P41	1,3385	0,0393	4,2420	0,0015	0,0295	0,0029	0,0011	0,0025	0,0003	0,0016	0,0053	0,0151	0,0074	0,0379
P42	1,3275	0,0433	4,5470	0,0015	0,0373	0,0029	0,0019	0,0022	0,0003	0,0016	0,0053	0,0151	0,0074	0,0261
P43	1,3070	0,0153	4,3015	0,0015	0,5167	0,0029	0,0011	0,0024	0,0003	0,0016	0,0053	0,0148	0,0074	0,0255
P44	1,2755	0,0203	4,2030	0,0015	0,0156	0,0029	0,0019	0,0024	0,0003	0,0016	0,0053	0,0142	0,0074	0,0315
P45	0,0626	0,0037	0,5445	0,0015	0,0032	0,0029	0,0014	0,0035	0,0003	0,0016	0,0053	0,0191	0,0074	0,0426
P46	1,2115	0,0887	4,0050	0,0015	0,0543	0,0029	0,0016	0,0032	0,0003	0,0016	0,0053	0,0131	0,0074	0,0372
P47	1,2195	0,0521	4,0590	0,0015	0,0851	0,0029	0,0013	0,0026	0,0003	0,0016	0,0053	0,0155	0,0074	0,0361
P48	1,4975	0,0037	4,6435	0,0015	0,0541	0,0029	0,0011	0,0013	0,0003	0,0016	0,0053	0,0170	0,0074	0,0287
P50	1,2775	0,0489	4,3325	0,0015	0,0897	0,0029	0,0011	0,0013	0,0003	0,0016	0,0053	0,0188	0,0074	0,0363
P51	1,2855	0,0037	4,4110	0,0015	0,0292	0,0029	0,0011	0,0013	0,0003	0,0016	0,0053	0,0214	0,0074	0,0445
P52	1,2230	0,1071	4,3820	0,0015	0,1335	0,0029	0,0011	0,0013	0,0003	0,0016	0,0053	0,0214	0,0074	0,0308
P53	1,2965	0,0037	4,3460	0,0015	0,1238	0,0029	0,0011	0,0013	0,0003	0,0016	0,0053	0,0270	0,0074	0,0460
P54	2,6890	0,1336	5,8950	0,0063	0,3609	0,0029	0,0011	0,0013	0,0003	0,0134	0,0053	0,0242	0,0130	0,0520
P55	1,2115	0,0037	4,2775	0,0015	0,0451	0,0029	0,0011	0,0013	0,0003	0,0016	0,0053	0,0158	0,0074	0,0583
P56	1,2610	0,0268	4,6195	0,0015	0,0829	0,0029	0,0011	0,0013	0,0003	0,0016	0,0053	0,0234	0,0074	0,0555
P57	1,2670	0,0037	4,3465	0,0064	0,0578	0,0029	0,0011	0,0013	0,0003	0,0016	0,0053	0,0316	0,0074	0,0566
P58	1,3035	0,0319	4,3350	0,0015	0,0707	0,0029	0,0011	0,0013	0,0003	0,0016	0,0053	0,0181	0,0074	0,0459
P59	1,3025	0,0149	4,3275	0,0015	0,0487	0,0029	0,0011	0,0013	0,0003	0,0016	0,0053	0,0217	0,0074	0,0495

UFMG		LABORATÓRIO DE ICP (CPMT/UFMG) – METAIS DISSOLVIDOS											JULHO/2008	
Julho/2008	**Mg**	**Al**	**Ca**	**Cr**	**Fe**	**Co**	**Cu**	**Cd**	**Ti**	**Mn**	**Ni**	**Zn**	**Ba**	**Pb**
P03	1,3660	0,0037	5,8700	0,0089	0,0121	0,0029	0,0011	0,0013	0,0003	0,0016	0,0053	0,0694	0,0074	0,0150
P04	14,0675	0,0037	10,0400	0,0049	0,0052	0,0029	0,0011	0,0013	0,0003	0,0016	0,0053	0,3779	0,0074	0,0150
P06	1,2755	0,0037	5,5050	0,0080	0,0099	0,0029	0,0011	0,0013	0,0003	0,0016	0,0053	0,0053	0,0074	0,0150
P07	2,6840	0,0060	6,5800	0,0100	0,0151	0,0029	0,0011	0,0013	0,0003	0,0016	0,0053	0,0392	0,0074	0,0150
P08	1,4560	0,0037	5,5650	0,0075	0,0019	0,0029	0,0011	0,0013	0,0003	0,0016	0,0053	0,0118	0,0074	0,0150
P09	2,2480	0,0037	5,9750	0,0082	0,0048	0,0029	0,0011	0,0013	0,0003	0,0016	0,0053	0,0233	0,0074	0,0150
P10	2,2735	0,0037	6,0250	0,0039	0,0016	0,0029	0,0011	0,0013	0,0003	0,0016	0,0053	0,0240	0,0074	0,0150
P11	1,9210	0,0037	4,8845	0,0043	0,0384	0,0029	0,0011	0,0013	0,0003	0,0016	0,0053	0,0186	0,0074	0,0150
P12	2,2315	0,0037	6,0650	0,0015	0,0016	0,0029	0,0011	0,0013	0,0003	0,0016	0,0053	0,0152	0,0074	0,0334
P13	2,2885	0,0037	6,1400	0,0015	0,0016	0,0029	0,0011	0,0013	0,0003	0,0016	0,0053	0,0338	0,0074	0,0150
P14	2,2335	0,0037	5,9950	0,0015	0,0259	0,0029	0,0011	0,0013	0,0003	0,0016	0,0053	0,0383	0,0074	0,0150
P15	2,0140	0,0037	6,0500	0,0015	0,0028	0,0029	0,0011	0,0013	0,0003	0,0016	0,0053	0,0193	0,0074	0,0150
P16	2,5825	0,0037	7,6550	0,0015	0,0376	0,0029	0,0011	0,0013	0,0003	0,0016	0,0053	0,0115	0,0074	0,0150
P17	2,0590	0,0037	6,0850	0,0015	0,0016	0,0029	0,0011	0,0013	0,0003	0,0016	0,0053	0,0178	0,0074	0,0150
P18	2,1710	0,0037	6,1350	0,0015	0,0016	0,0029	0,0011	0,0013	0,0003	0,0016	0,0053	0,0205	0,0074	0,0150
P19	2,1970	0,0037	6,2250	0,0015	0,0016	0,0029	0,0011	0,0013	0,0003	0,0016	0,0053	0,0191	0,0074	0,0150
P20	2,0595	0,0037	5,6700	0,0015	0,0050	0,0029	0,0011	0,0013	0,0003	0,0016	0,0053	0,0171	0,0074	0,0150
P21	2,2290	0,0248	6,6150	0,0015	0,0315	0,0029	0,0011	0,0013	0,0003	0,0016	0,0053	0,0208	0,0074	0,0150
P22	2,1705	0,0037	6,1750	0,0015	0,0023	0,0029	0,0011	0,0013	0,0003	0,0016	0,0053	0,0149	0,0074	0,0150
P23	0,7000	0,0037	1,7465	0,0015	0,1245	0,0029	0,0011	0,0013	0,0003	0,0016	0,0053	0,0109	0,0074	0,0215
P 24	2,0355	0,0037	5,9250	0,0061	0,0016	0,0029	0,0011	0,0013	0,0003	0,0016	0,0053	0,0252	0,0074	0,0150
P 25	1,9805	0,0037	5,7300	0,0083	0,0201	0,0029	0,0011	0,0013	0,0003	0,0016	0,0053	0,0195	0,0074	0,0150
P 26	2,0110	0,0037	5,8200	0,0143	0,0016	0,0029	0,0011	0,0013	0,0003	0,0016	0,0053	0,0212	0,0088	0,0150
P 27	2,0930	0,0037	5,6000	0,0139	0,0016	0,0029	0,0011	0,0013	0,0003	0,0016	0,0053	0,0223	0,0074	0,0150
P 28	1,9950	0,0037	5,7400	0,0015	0,0016	0,0029	0,0011	0,0013	0,0003	0,0016	0,0053	0,0129	0,0074	0,0150
P 29	1,9350	0,0037	5,4000	0,0015	0,0168	0,0029	0,0011	0,0013	0,0003	0,0016	0,0053	0,0100	0,0074	0,0150
P 30	1,9860	0,0037	5,5900	0,0015	0,0016	0,0029	0,0011	0,0013	0,0003	0,0016	0,0053	0,0056	0,0074	0,0150
P 31	2,0070	0,0037	5,6400	0,0015	0,0016	0,0029	0,0011	0,0013	0,0003	0,0016	0,0053	0,0071	0,0074	0,0150
P 32	1,9890	0,0037	5,6100	0,0015	0,0016	0,0029	0,0011	0,0013	0,0003	0,0016	0,0053	0,0105	0,0074	0,0150
P 33	2,1240	0,0037	6,0300	0,0015	0,0606	0,0029	0,0011	0,0013	0,0003	0,0016	0,0053	0,0250	0,0074	0,0150

Julho/2008	Mg	Al	Ca	Cr	Fe	Co	Cu	Cd	Ti	Mn	Ni	Zn	Ba	Pb
P 34	2,0000	0,0632	6,0400	0,0015	0,0956	0,0029	0,0011	0,0013	0,0003	0,0039	0,0053	0,0079	0,0074	0,0150
P 35	2,1120	0,0037	5,8200	0,0015	0,0031	0,0029	0,0011	0,0013	0,0003	0,0016	0,0053	0,0187	0,0074	0,0150
P 36	2,1430	0,0037	6,5200	0,0015	0,0036	0,0029	0,0011	0,0013	0,0003	0,0016	0,0053	0,0081	0,0074	0,0150
P 37	2,0410	0,0037	6,2300	0,0015	0,0016	0,0029	0,0011	0,0013	0,0003	0,0016	0,0053	0,0037	0,0074	0,0707
P 38	2,1620	0,0037	6,5700	0,0015	0,0181	0,0029	0,0011	0,0013	0,0003	0,0016	0,0053	0,0058	0,0074	0,0473
P 39	2,0500	0,0037	6,2500	0,0015	0,0016	0,0029	0,0011	0,0013	0,0003	0,0016	0,0053	0,0075	0,0074	0,0169
P 40	2,0650	0,0037	6,2800	0,0015	0,0016	0,0029	0,0011	0,0013	0,0003	0,0016	0,0053	0,0036	0,0074	0,0483
P 41	2,0380	0,0037	6,1500	0,0015	0,0016	0,0057	0,0011	0,0013	0,0003	0,0016	0,0053	0,0058	0,0074	0,0832
P 42	2,0230	0,0037	6,2100	0,0015	0,0103	0,0029	0,0011	0,0013	0,0003	0,0016	0,0053	0,0111	0,0074	0,0775
P 43	2,0790	0,0037	6,3400	0,0015	0,0016	0,0029	0,0011	0,0025	0,0003	0,0016	0,0053	0,0182	0,0074	0,0662
P 44	2,0310	0,0037	6,1600	0,0015	0,0016	0,0403	0,0020	0,0013	0,0003	0,0016	0,0053	0,0031	0,0074	0,0772
P 45	0,1515	0,0037	0,6670	0,0015	0,0505	0,0029	0,0011	0,0013	0,0003	0,0132	0,0053	0,0061	0,0074	0,0753
P 46	1,9340	0,0037	5,8400	0,0015	0,0026	0,0029	0,0011	0,0013	0,0003	0,0016	0,0053	0,0019	0,0074	0,1067
P 47	1,9490	0,0037	6,0900	0,0015	0,0016	0,0029	0,0011	0,0013	0,0003	0,0016	0,0053	0,0052	0,0074	0,0940
P 48	1,9020	0,0037	5,8100	0,0015	0,0053	0,0029	0,0011	0,0013	0,0003	0,0016	0,0053	0,0088	0,0074	0,0851
P 49	1,9510	0,0037	5,9100	0,0015	0,0461	0,0071	0,0011	0,0039	0,0003	0,0016	0,0053	0,0031	0,0074	0,0727
P50	2,0250	0,0037	6,1100	0,0015	0,0016	0,0080	0,0011	0,0013	0,0003	0,0016	0,0053	0,0034	0,0074	0,0843
P52	1,9170	0,0037	5,9100	0,0015	0,0066	0,0063	0,0011	0,0013	0,0003	0,0016	0,0053	0,0016	0,0074	0,1073
P53	2,0170	0,0037	6,0700	0,0015	0,0016	0,0069	0,0011	0,0027	0,0003	0,0016	0,0053	0,0022	0,0074	0,1241
P54	4,0325	0,0823	7,8500	0,0023	0,2309	0,0060	0,0011	0,0026	0,0003	0,0016	0,0053	0,0157	0,0074	0,0732
P56	2,0480	0,0037	6,1500	0,0015	0,0081	0,0029	0,0011	0,0025	0,0003	0,0016	0,0053	0,0052	0,0074	0,0675
P57	2,0790	0,0037	6,2600	0,0015	0,0016	0,0029	0,0011	0,0013	0,0003	0,0016	0,0053	0,0047	0,0074	0,0639
P58	2,0190	0,0037	6,1100	0,0015	0,0177	0,0029	0,0011	0,0013	0,0003	0,0016	0,0053	0,0049	0,0074	0,0863
P59	2,0570	0,0037	6,2100	0,0015	0,0016	0,0029	0,0011	0,0013	0,0003	0,0016	0,0053	0,0060	0,0074	0,0728

UFMG		LABORATÓRIO DE ICP (CPMT/UFMG) - METAIS											OUTUBRO/2008	
Outubro/2008	**Mg**	**Al**	**Ca**	**Cr**	**Fe**	**Co**	**Cu**	**Cd**	**Ti**	**Mn**	**Ni**	**Zn**	**Ba**	**Pb**
P 01	1,3000	0,0037	5,6500	0,0015	0,0016	0,0029	0,0011	0,0013	0,0172	0,0158	0,0053	0,0012	0,0408	0,0585
P 02	2,8400	0,0604	10,4900	0,0015	0,7660	0,0029	0,0059	0,0013	0,0180	0,1643	0,0053	0,0242	0,0465	0,0538
P 04	7,8800	0,0037	9,5000	0,0015	0,0016	0,0029	0,0011	0,0013	0,0003	0,2303	0,0053	3,8520	0,0074	0,0150
P 05	1,4180	0,0037	5,7100	0,0015	0,0016	0,0029	0,0011	0,0013	0,0003	0,0016	0,0053	0,1309	0,0074	0,0150
P 06	2,3170	0,0319	6,4200	0,0015	0,0037	0,0029	0,0011	0,0059	0,0170	0,0191	0,0053	0,0319	0,0505	0,0799
P 07	1,4120	0,2274	5,9100	0,0015	0,0581	0,0029	0,0011	0,0013	0,0003	0,0016	0,0053	0,0112	0,0074	0,0150
P 08	1,4930	0,5740	6,4600	0,0015	0,1928	0,0029	0,0011	0,0013	0,0003	0,0016	0,0053	0,0060	0,0074	0,0150
P 09	1,7140	0,0171	6,0800	0,0015	0,0016	0,0029	0,0011	0,0058	0,0166	0,0133	0,0053	0,0012	0,0399	0,0784
P 10	1,6670	0,5650	5,7800	0,0015	0,0016	0,0029	0,0011	0,0013	0,0003	0,0016	0,0053	0,0077	0,0074	0,0150
P 11	1,6010	0,0630	3,5710	0,0015	0,9040	0,0029	0,0011	0,0013	0,0003	0,5500	0,0053	0,0064	0,0074	0,0150
P 12	1,6825	0,0321	5,5050	0,0015	0,0989	0,0029	0,0011	0,0032	0,0068	0,0016	0,0053	0,0108	0,0192	0,0386
P 13	1,8150	0,0037	5,7800	0,0015	0,0189	0,0029	0,0236	0,0013	0,0020	0,0016	0,0053	0,0176	0,0134	0,0251
P 14	1,9360	0,5011	6,7900	0,0015	0,3236	0,0029	0,0025	0,0013	0,0024	0,0016	0,0053	0,0256	0,0093	0,0281
P15	1,6175	0,0037	5,8450	0,0015	0,0122	0,0029	0,0011	0,0013	0,0013	0,0016	0,0053	0,0068	0,0099	0,0338
P 16	2,7180	0,0037	5,9867	0,0015	0,0268	0,0029	0,0011	0,0013	0,0012	0,0016	0,0053	0,0163	0,0160	0,0278
P 17	1,6570	0,0037	5,4600	0,0015	0,0016	0,0029	0,0011	0,0013	0,0003	0,0016	0,0053	0,0035	0,0074	0,0312
P 18	1,7290	0,0199	5,5800	0,0015	0,0016	0,0029	0,0011	0,0013	0,0003	0,0016	0,0053	0,0012	0,0074	0,0150
P 19	1,6770	0,0037	5,6900	0,0015	0,0016	0,0029	0,0011	0,0013	0,0003	0,0016	0,0053	0,0012	0,0074	0,0150
P 20	1,8370	0,0037	6,1200	0,0015	0,0160	0,0029	0,0011	0,0013	0,0016	0,0016	0,0053	0,0153	0,0105	0,0150
P 21	1,6010	0,0037	5,5100	0,0015	0,0016	0,0029	0,0011	0,0013	0,0003	0,0016	0,0053	0,0012	0,0074	0,0150
P22	1,6807	0,0037	5,9400	0,0015	0,0082	0,0029	0,0011	0,0013	0,0015	0,0016	0,0053	0,0091	0,0144	0,0266
P 23	1,1320	0,4594	3,3785	0,0015	0,3104	0,0029	0,0011	0,0013	0,0041	0,0016	0,0053	0,0254	0,0116	0,0266
P 24	1,6335	0,2903	6,3700	0,0015	0,2611	0,0029	0,0011	0,0013	0,0050	0,0016	0,0053	0,0178	0,0140	0,0231
P25	1,5590	0,2001	6,2250	0,0015	0,1294	0,0029	0,0011	0,0013	0,0022	0,0016	0,0053	0,0108	0,0161	0,0282
P 26	1,548	0,0037	5,8397	0,0015	0,0075	0,0029	0,0011	0,0013	0,0017	0,0016	0,0053	0,00555	0,0142	0,0290
P 27	1,4370	0,0037	5,6000	0,0015	0,0002	0,0029	0,0011	0,0068	0,0164	0,0145	0,0053	0,0012	0,0385	0,0695
P 28	1,5400	0,0037	5,8800	0,0015	0,0196	0,0029	0,0011	0,0013	0,0018	0,0016	0,0053	0,0105	0,0155	0,0228
P 29	1,7380	0,0220	5,6400	0,0015	0,0752	0,0029	0,0011	0,0064	0,0166	0,0133	0,0053	0,0012	0,0399	0,0624

Outubro/2008	Mg	Al	Ca	Cr	Fe	Co	Cu	Cd	Ti	Mn	Ni	Zn	Ba	Pb
P 30	1,6300	0,0396	6,2500	0,0015	0,0467	0,0029	0,0011	0,0013	0,0006	0,0016	0,0053	0,0119	0,0099	0,0413
P 31	1,5660	0,4024	6,0100	0,0015	0,2377	0,0029	0,0011	0,0071	0,0191	0,0121	0,0053	0,0012	0,0377	0,0886
P 32	1,4770	0,3619	4,7740	0,0015	0,2894	0,0029	0,0011	0,0064	0,0255	0,0188	0,0140	0,0012	0,0678	0,0697
P 33	1,5920	0,0037	5,6600	0,0015	0,0289	0,0029	0,0011	0,0068	0,0164	0,0120	0,0053	0,0080	0,0428	0,0716
P 34	1,6665	0,2259	6,5500	0,0015	0,0777	0,0029	0,0052	0,0069	0,0195	0,0224	0,0268	0,0134	0,0740	0,0520
P 35	1,7050	0,0311	6,2600	0,0015	0,0571	0,0058	0,0011	0,0023	0,0006	0,0016	0,0053	0,0028	0,0074	0,0405
P 36	1,7140	0,1851	6,3600	0,0015	0,0680	0,0029	0,0021	0,0060	0,0181	0,0199	0,0187	0,0113	0,0705	0,0531
P 37	1,6720	0,0159	6,0100	0,0015	0,1738	0,0067	0,0011	0,0013	0,0006	0,0016	0,0053	0,0595	0,0074	0,0475
P 38	1,6860	0,0082	6,2900	0,0015	0,0013	0,0029	0,0013	0,0060	0,0170	0,0198	0,0194	0,0109	0,0767	0,0615
P 39	1,8620	1,0390	7,3900	0,0015	0,4224	0,0029	0,0077	0,0071	0,0223	0,0246	0,0255	0,0150	0,0647	0,0657
P 40	1,6880	0,0240	6,0700	0,0015	0,0187	0,0029	0,0011	0,0064	0,0174	0,0201	0,0267	0,0012	0,0714	0,0706
P 41	1,7880	0,5540	7,0200	0,0015	0,2452	0,0061	0,0011	0,0025	0,0006	0,0016	0,0053	0,0347	0,0074	0,0607
P 42	1,7120	0,3180	6,8700	0,0015	0,1498	0,0029	0,0011	0,0063	0,0194	0,0193	0,0207	0,0070	0,0602	0,0628
P 43	1,7430	0,0037	6,0900	0,0015	0,0396	0,0063	0,0011	0,0029	0,0006	0,0016	0,0053	0,0061	0,0074	0,0433
P 44	1,7140	0,0209	6,5000	0,0015	0,0016	0,0029	0,0011	0,0058	0,0169	0,0236	0,0166	0,0012	0,0646	0,0710
P 45	0,2242	0,3621	1,4370	0,0015	0,2762	0,0029	0,0011	0,0062	0,0192	0,0194	0,0188	0,0094	0,0659	0,0706
P 46	1,6640	0,0074	5,9500	0,0015	0,0697	0,0087	0,0011	0,0030	0,0006	0,0016	0,0053	0,0062	0,0074	0,0500
P 47	1,5770	0,0037	6,0700	0,0015	0,0016	0,0029	0,0011	0,0070	0,0183	0,0183	0,0122	0,0012	0,0628	0,0803
P 48	1,6670	0,1899	6,7400	0,0015	0,1052	0,0029	0,0011	0,0072	0,0182	0,0175	0,0115	0,0081	0,0600	0,0698
P 49	1,6920	0,0037	6,5500	0,0015	0,0016	0,0029	0,0011	0,0078	0,0168	0,0195	0,0129	0,0012	0,0560	0,0799
P50	0,7430	0,0037	3,8100	0,0015	0,2580	0,0272	0,0103	0,0248	0,0172	0,0257	0,1253	0,0012	0,0788	0,0869
P51	1,6920	0,0037	6,4600	0,0015	0,0016	0,0029	0,0011	0,0069	0,0173	0,0212	0,0169	0,0105	0,0680	0,0828
P53	0,1771	0,2005	1,1160	0,0194	0,0174	0,0589	0,0194	0,0399	0,0316	0,1535	0,3280	0,0012	0,3326	0,4970
P54	2,2800	0,0358	6,2700	0,0015	0,0748	0,0077	0,0011	0,0030	0,0006	0,0016	0,0053	0,0329	0,0074	0,0483
P55	1,7490	0,5160	6,1800	0,0015	0,2735	0,0093	0,0011	0,0013	0,0006	0,0016	0,0053	0,0367	0,0074	0,0662
P56	1,7540	0,1504	6,0700	0,0015	0,1219	0,0099	0,0011	0,0032	0,0006	0,0016	0,0053	0,0193	0,0074	0,0567
P57	1,6980	0,0037	5,6100	0,0015	0,0320	0,0104	0,0011	0,0044	0,0006	0,0016	0,0053	0,0125	0,0074	0,0425
P58	1,6770	0,0037	5,4500	0,0015	0,0247	0,0085	0,0011	0,0030	0,0006	0,0016	0,0053	0,0154	0,0074	0,0531
P59	1,7010	0,5350	6,0800	0,0015	0,2454	0,0088	0,0011	0,0026	0,0006	0,0016	0,0053	0,0166	0,0074	0,0516

UFMG	LABORATÓRIO DE ICP (CPMT/UFMG) - METAIS												JANEIRO/2008	
Janeiro/2009	**Mg**	**Al**	**Ca**	**Cr**	**Fe**	**Co**	**Cu**	**Cd**	**Ti**	**Mn**	**Ni**	**Zn**	**Ba**	**Pb**
P01	1,3330	0,0037	5,5200	0,0015	0,0264	0,0029	0,0011	0,0017	0,0003	0,0016	0,0053	0,0079	0,0074	0,0471
P02	4,7140	0,0037	17,5900	0,0015	0,0208	0,0029	0,0011	0,0020	0,0003	0,0016	0,0053	0,1997	0,0212	0,0379
P03	4,3870	0,0037	8,4100	0,0015	0,0298	0,0029	0,0011	0,0030	0,0003	0,0016	0,0053	0,1127	0,0074	0,0476
P04	5,6000	0,0037	9,0200	0,0015	0,0318	0,0029	0,0011	0,0274	0,0003	0,0016	0,0053	1,3190	0,0074	0,0150
P05	1,7310	0,0037	6,3300	0,0015	0,0247	0,0029	0,0011	0,0029	0,0003	0,0016	0,0053	0,1467	0,0074	0,0150
P06	1,7900	0,0037	5,5900	0,0015	0,0490	0,0029	0,0011	0,0029	0,0003	0,0016	0,0053	0,0432	0,0074	0,0440
P07	1,4210	0,0037	5,9200	0,0015	0,0294	0,0029	0,0011	0,0026	0,0003	0,0016	0,0053	0,0167	0,0148	0,0356
P08	1,5890	0,0037	2,7230	0,0015	0,0837	0,0029	0,0011	0,0034	0,0003	0,0016	0,0053	0,0108	0,0074	0,0370
P09	1,5070	0,0037	5,6800	0,0015	0,0143	0,0029	0,0011	0,0025	0,0003	0,0016	0,0053	0,0173	0,0074	0,0445
P10	1,1590	0,0037	4,7170	0,0015	0,0148	0,0029	0,0011	0,0032	0,0003	0,0016	0,0053	0,0065	0,0074	0,0434
P11	0,6330	0,0037	0,9810	0,0015	0,0208	0,0029	0,0011	0,0034	0,0003	0,0016	0,0053	0,0179	0,0074	0,0480
P12	1,5070	0,0037	5,4900	0,0015	0,0201	0,0029	0,0011	0,0028	0,0003	0,0016	0,0053	0,0115	0,0074	0,0479
P13	1,5110	0,0037	5,7000	0,0015	0,0409	0,0029	0,0011	0,0037	0,0003	0,0016	0,0053	0,0110	0,0074	0,0421
P14	1,4560	0,0037	5,4200	0,0015	0,0186	0,0029	0,0011	0,0030	0,0003	0,0016	0,0053	0,0129	0,0074	0,0411
P15	1,4690	0,0037	5,5800	0,0015	0,0188	0,0029	0,0011	0,0030	0,0003	0,0016	0,0053	0,0105	0,0074	0,0478
P16	1,9240	0,0037	5,7500	0,0015	0,0217	0,0029	0,0011	0,0034	0,0003	0,0016	0,0053	0,0078	0,0074	0,0634
P17	1,4590	0,0037	5,6000	0,0015	0,0172	0,0029	0,0011	0,0035	0,0003	0,0016	0,0053	0,0097	0,0074	0,0447
P18	1,4540	0,0037	5,4400	0,0015	0,0226	0,0029	0,0011	0,0034	0,0003	0,0016	0,0053	0,0117	0,0074	0,0382
P19	1,4340	0,0037	5,5500	0,0015	0,0288	0,0029	0,0011	0,0039	0,0003	0,0016	0,0053	0,0086	0,0074	0,0482
P20	1,4520	0,0037	5,4600	0,0015	0,0218	0,0029	0,0011	0,0036	0,0003	0,0016	0,0053	0,0082	0,0074	0,0506
P21	1,5540	0,0037	5,6300	0,0015	0,0692	0,0029	0,0011	0,0033	0,0003	0,0016	0,0053	0,0071	0,0074	0,0587
P22	1,4590	0,0037	5,5700	0,0015	0,0182	0,0029	0,0011	0,0052	0,0003	0,0016	0,0053	0,0095	0,0074	0,0452
P23	0,3867	0,0037	0,8410	0,0015	0,0438	0,0029	0,0011	0,0035	0,0003	0,0016	0,0053	0,0061	0,0074	0,0586
P24	0,3853	0,0037	2,7980	0,0015	0,0172	0,0029	0,0011	0,0039	0,0003	0,0016	0,0053	0,0068	0,0074	0,0556
P25	0,3034	0,0037	2,4670	0,0015	0,0238	0,0029	0,0011	0,0036	0,0003	0,0016	0,0053	0,0081	0,0179	0,0539
P26	1,0440	0,0037	4,8010	0,0015	0,0162	0,0029	0,0011	0,0033	0,0003	0,0016	0,0053	0,0055	0,0074	0,0607
P27	1,1450	0,0037	4,4140	0,0015	0,0142	0,0029	0,0011	0,0034	0,0003	0,0016	0,0053	0,0069	0,0074	0,0528
P28	1,3480	0,0037	5,2600	0,0015	0,0181	0,0029	0,0011	0,0039	0,0003	0,0016	0,0053	0,0073	0,0074	0,0516
P29	1,3210	0,0037	4,5470	0,0015	0,0168	0,0029	0,0011	0,0029	0,0003	0,0016	0,0053	0,0068	0,0074	0,0539
P30	1,3630	0,0037	5,1800	0,0015	0,0205	0,0029	0,0011	0,0039	0,0003	0,0016	0,0053	0,0408	0,0074	0,0627

Janeiro/2009	Mg	Al	Ca	Cr	Fe	Co	Cu	Cd	Ti	Mn	Ni	Zn	Ba	Pb
P31	0,1389	0,0037	1,0690	0,0015	0,0142	0,0029	0,0011	0,0040	0,0003	0,0016	0,0053	0,0165	0,0074	0,0627
P32	0,5210	0,1749	1,1660	0,0015	0,1127	0,0029	0,0011	0,0033	0,0003	0,0016	0,0053	0,0141	0,0074	0,0572
P33	1,2870	0,0037	5,1300	0,0015	0,0283	0,0029	0,0011	0,0043	0,0003	0,0016	0,0053	0,0120	0,0074	0,0621
P34	1,0290	0,0037	4,4030	0,0015	0,0318	0,0029	0,0011	0,0034	0,0003	0,0016	0,0053	0,0126	0,0074	0,0603
P35	1,3350	0,0624	5,4700	0,0015	0,0771	0,0029	0,0011	0,0039	0,0003	0,0016	0,0053	0,0129	0,0074	0,0553
P36	1,4090	0,0037	5,5100	0,0015	0,0339	0,0029	0,0011	0,0040	0,0003	0,0016	0,0053	0,0080	0,0074	0,0625
P37	1,3950	0,0037	5,2300	0,0015	0,0229	0,0029	0,0011	0,0044	0,0003	0,0016	0,0053	0,0103	0,0074	0,0603
P38	1,4020	0,0334	5,2400	0,0015	0,0905	0,0029	0,0011	0,0043	0,0003	0,0016	0,0053	0,0106	0,0074	0,0671
P39	1,2880	0,0037	4,9510	0,0015	0,0335	0,0029	0,0011	0,0036	0,0003	0,0016	0,0053	0,0516	0,0074	0,0534
P40	1,3590	0,0037	5,3500	0,0015	0,0527	0,0029	0,0011	0,0035	0,0003	0,0016	0,0053	0,0128	0,0074	0,0565
P41	1,3250	0,0037	5,0200	0,0015	0,0239	0,0029	0,0011	0,0037	0,0003	0,0016	0,0053	0,0111	0,0074	0,0519
P42	1,3570	0,0037	5,0400	0,0015	0,0841	0,0029	0,0011	0,0045	0,0003	0,0016	0,0053	0,0167	0,0074	0,0605
P43	1,3630	0,1405	5,4200	0,0015	0,1080	0,0029	0,0011	0,0034	0,0003	0,0016	0,0053	0,0171	0,0074	0,0658
P44	1,4020	1,2560	6,8000	0,0015	0,5840	0,0029	0,0011	0,0013	0,0003	0,0016	0,0053	0,0294	0,0074	0,0150
P45	0,2655	0,0628	1,0840	0,0015	0,1041	0,0029	0,0011	0,0013	0,0003	0,0016	0,0053	0,0127	0,0074	0,0150
P46	1,1200	0,0037	4,7180	0,0015	0,0349	0,0029	0,0011	0,0013	0,0003	0,0016	0,0053	0,0124	0,0074	0,0150
P47	1,2750	0,0037	5,3700	0,0015	0,0262	0,0029	0,0011	0,0013	0,0003	0,0016	0,0053	0,0096	0,0074	0,0150
P48	1,3480	0,0037	5,8300	0,0015	0,0252	0,0029	0,0011	0,0013	0,0003	0,0016	0,0053	0,0108	0,0074	0,0150
P49	1,3550	0,0037	5,8200	0,0015	0,0136	0,0029	0,0011	0,0013	0,0003	0,0016	0,0053	0,0092	0,0074	0,0150
P50	0,8060	0,0037	2,8170	0,0015	0,1573	0,0029	0,0011	0,0013	0,0003	0,0016	0,0053	0,0130	0,0074	0,0150
P51	1,3180	0,0037	5,5300	0,0015	0,0247	0,0029	0,0011	0,0013	0,0003	0,0016	0,0053	0,0067	0,0074	0,0150
P52	1,4590	0,8760	7,0900	0,0015	0,5790	0,0029	0,0011	0,0013	0,0003	0,0016	0,0053	0,0234	0,0074	0,0150
P53	1,2820	0,0037	5,4100	0,0015	0,0670	0,0029	0,0011	0,0013	0,0003	0,0016	0,0053	0,0064	0,0074	0,0150
P54	1,9900	0,0619	6,0800	0,0015	0,0677	0,0029	0,0011	0,0013	0,0003	0,0016	0,0053	0,0103	0,0074	0,0150
P55	1,4240	0,1975	6,8700	0,0015	0,1413	0,0029	0,0011	0,0013	0,0003	0,0016	0,0053	0,0161	0,0074	0,0150
P56	1,304	0,0037	5,5800	0,0015	0,0159	0,0029	0,0011	0,0013	0,0003	0,0578	0,0053	0,0132	0,0074	0,0150
P57	1,3780	0,3596	6,0500	0,0015	0,2560	0,0029	0,0011	0,0013	0,0003	0,0016	0,0053	0,0245	0,0074	0,0150
P58	1,3590	0,0037	5,8000	0,0015	0,0385	0,0029	0,0011	0,0013	0,0003	0,3100	0,0053	0,0089	0,0074	0,0150
P59	1,3150	0,0218	5,7200	0,0015	0,0829	0,0029	0,0011	0,0013	0,0003	0,0016	0,0053	0,0105	0,0074	0,0150

ANEXO E – Concentrações de metais em suspensão(ppm)

UFMG		LABORATÓRIO DE ICP (CPMT/UFMG) – METAIS EM SUSPENSAO											MARÇO/2008	
Março/2008	**Mg**	**Al**	**Ca**	**Cr**	**Fe**	**Co**	**Cu**	**Cd**	**Ti**	**Mn**	**Ni**	**Zn**	**Ba**	**Pb**
P02	0,8535	19,0050	2,5550	0,0986	19,6150	0,0029	0,1898	0,0013	0,2780	0,3845	0,0053	0,2815	0,0804	0,0330
P03	0,8735	16,3400	1,8940	0,0365	18,6300	0,0029	0,1700	0,0013	0,2265	0,4525	0,0053	0,6915	0,0530	0,0318
P04	0,6785	7,7800	3,4650	3,8150	40,5500	0,0320	0,7225	0,0564	0,2112	0,4260	1,5435	3,5900	0,0834	0,1349
P06	0,8295	17,9100	2,8250	0,0298	18,1200	0,0029	0,1985	0,0013	0,2518	0,4050	0,0053	0,1418	0,0503	0,0310
P07	0,9645	19,8500	3,1050	0,2195	21,4200	0,0016	0,2865	0,0013	0,2803	0,3950	0,0553	0,2009	0,0828	0,0372
P08	0,8130	18,5150	2,9550	0,0259	17,9200	0,0029	0,2720	0,0013	0,2426	0,3025	0,0053	0,1393	0,0650	0,0250
P10	0,7685	17,5000	2,3240	0,0260	17,7450	0,0029	0,2820	0,0013	0,2499	0,4110	0,0053	0,2196	0,0639	0,0234
P11	2,8950	73,2500	4,0200	0,0755	82,8000	0,0386	0,3265	0,0013	0,9600	1,7620	0,0053	0,1423	0,2780	0,1295
P12	0,5435	6,3850	2,7400	0,0008	8,2800	0,0029	0,2319	0,0013	0,1046	0,1052	0,0053	0,1870	0,1444	0,0328
P13	0,9185	20,8250	3,0200	0,0449	19,5250	0,0029	0,3295	0,0013	0,3081	0,3995	0,0053	0,3095	0,0794	0,0205
P14	0,7440	16,3850	1,7435	0,0235	16,9000	0,0029	0,3440	0,0013	0,2557	0,2810	0,0053	0,1662	0,0510	0,0150
P15	0,7795	16,9600	2,4420	0,0234	16,5800	0,0029	0,4075	0,0013	0,2498	0,3325	0,0053	0,1922	0,0683	0,0244
P16	55,200	304,0000	33,750	0,5130	53,4000	0,1739	0,8330	0,0076	10,0800	6,3250	0,4530	0,5590	3,5900	0,5695
P17	0,7470	17,4450	3,7750	0,0270	17,9400	0,0029	0,3790	0,0013	0,2454	0,3595	0,0053	0,2445	0,0539	0,0070
P18	3,8450	35,4000	3,5150	0,0874	51,6500	0,0159	0,4790	0,0013	1,3290	1,0090	0,0228	0,2615	0,3125	0,0595
P19	8,8400	71,0500	6,4100	0,2565	100,7500	0,0411	0,5970	0,0013	2,4230	1,8340	0,1998	0,3120	0,6930	0,1346
P20	4,7650	56,9000	3,9400	0,0950	124,0000	0,0207	0,0528	0,0013	2,0510	1,2675	0,0333	0,2705	0,4300	0,0878
P21	6,1400	79,8500	5,0200	0,1091	132,7500	0,0159	0,0687	0,0013	2,3040	1,2160	0,0737	0,3220	0,5045	0,0666
P22	6,1900	70,1000	4,5700	0,1091	131,5000	0,0248	0,0771	0,0013	2,1270	1,3595	0,0576	0,2745	0,4435	0,0918
P23	0,6505	11,2250	3,8200	0,0007	11,6450	0,0031	0,2451	0,0013	0,1791	0,1133	0,0053	0,1917	0,0672	0,0520
P24	9,2300	55,6000	7,9550	0,1341	69,7000	0,0318	0,2465	0,0013	3,0470	1,4005	0,0613	0,4345	0,7025	0,1231
P25	8,5000	57,7800	7,0550	0,2277	81,0000	0,0296	0,2805	0,0013	2,8350	1,3790	0,0779	0,6625	0,5810	0,1152
P26	14,3750	86,6500	10,615	0,2278	149,0000	0,0524	0,3090	0,0013	3,8870	2,1975	0,1078	0,4300	1,0330	0,1853
P27	7,9500	50,9000	6,0150	0,1385	72,1500	0,0306	0,2695	0,0013	2,6490	1,4085	0,0257	0,3275	0,6320	0,1190
P28	9,9500	72,6500	7,0100	0,1443	160,5000	0,0418	0,2955	0,0013	3,2570	1,8095	0,0558	0,3540	0,7465	0,1755
P29	2,3395	19,0000	3,1550	0,0458	39,8500	0,0127	0,2381	0,0013	0,8810	1,1200	0,0053	0,1722	0,2049	0,0570

Março/2008	Mg	Al	Ca	Cr	Fe	Co	Cu	Cd	Ti	Mn	Ni	Zn	Ba	Pb
P30	9,3000	83,0000	4,6750	0,1015	84,3500	0,0319	0,2720	0,0013	3,1040	1,3775	0,0355	0,3350	0,6570	0,1670
P31	7,8350	55,6000	5,0150	0,0834	51,1000	0,0300	0,1943	0,0013	2,6220	1,4600	0,0186	0,5285	0,6075	0,1248
P32	0,4510	4,1250	2,2880	0,0183	84,3500	0,0040	0,2129	0,0013	0,1652	0,8535	0,0053	0,0737	0,0565	0,0133
P33	7,8850	59,8500	6,0750	0,1147	88,2500	0,0325	0,2685	0,0013	2,8160	1,5105	0,0399	0,3295	0,6575	0,1232
P34	7,8250	66,8000	5,4300	0,1133	94,3500	0,0331	0,2367	0,0013	2,8810	1,4115	0,0399	0,3105	0,6500	0,1419
P35	7,9950	62,6500	6,2250	0,1194	95,7000	0,0320	0,2650	0,0013	2,8510	1,4650	0,0471	0,4125	0,6530	0,1307
P36	4,0200	37,1000	3,0350	0,0348	54,5000	0,0142	0,2118	0,0013	1,4600	0,7695	0,0053	0,4070	0,2850	0,0981
P37	8,9850	65,7000	5,0400	0,0989	81,9000	0,0369	0,2271	0,0013	3,4740	1,5055	0,0464	0,5335	0,6835	0,1726
P38	10,0200	78,3500	11,6950	0,1283	116,1150	0,0377	0,2555	0,0013	3,3630	1,5840	0,0602	0,5590	0,7585	0,1765
P39	8,9850	59,1500	5,9650	0,1127	80,4000	0,0293	0,2068	0,0013	2,9700	1,5120	0,0484	0,2448	0,6290	0,0781
P40	9,3000	75,2500	6,4700	0,1098	103,4000	0,0262	0,2060	0,0013	3,1140	1,4000	0,0525	0,2945	0,6675	0,0854
P41	9,2350	57,9000	10,8850	0,1104	79,6000	0,0289	0,2125	0,0013	3,1960	1,5135	0,0458	0,5310	0,6665	0,0816
P42	8,5450	63,5000	5,6050	0,1420	97,2500	0,0256	0,2155	0,0013	2,9190	1,3895	0,0596	0,3360	0,6090	0,0657
P43	8,7150	74,2500	5,6800	0,1362	95,3000	0,0256	0,1947	0,0013	3,0750	1,3080	0,0599	0,3080	0,6230	0,0826
P44	9,5750	72,8500	6,6650	0,1196	118,2500	0,0323	0,2276	0,0013	3,0920	1,7035	0,0528	0,3585	0,7300	0,0909
P45	7,4600	48,3500	2,2305	0,0987	78,1000	0,0171	0,1836	0,0013	1,5590	0,8740	0,0396	0,1791	1,0040	0,0626
P46	7,3200	58,8500	5,7300	0,0985	96,0000	0,0241	0,1937	0,0013	2,3050	1,2990	0,0289	0,3285	0,6025	0,0704
P47	7,6150	54,4000	6,8650	0,1064	80,1500	0,0240	0,2085	0,0013	2,2650	1,2785	0,0291	0,4040	0,6135	0,0797
P48	3,0000	25,9500	2,7000	0,0558	31,4500	0,0056	0,1623	0,0013	1,0530	0,6320	0,0053	0,1619	0,2384	0,0165
P50	5,5300	36,5500	4,2150	0,0912	50,4000	0,0169	0,1687	0,0013	1,8720	1,0700	0,0199	0,2805	0,4685	0,0490
P51	4,8700	43,0000	3,9250	0,0767	61,7000	0,0151	0,1802	0,0013	1,7300	0,9750	0,0053	0,2315	0,4040	0,0338
P52	5,0900	42,2000	3,6300	0,0742	75,1000	0,0161	0,1428	0,0013	1,7640	0,9735	0,0157	0,3125	0,4460	0,0529
P53	6,9400	66,6000	4,5150	0,0959	88,5000	0,0248	0,1923	0,0013	2,1720	1,4860	0,0261	0,2705	0,5500	0,0803
P54	9,6800	84,0000	8,8500	0,1566	121,1500	0,0409	0,2010	0,0013	2,3980	2,3535	0,0562	0,6245	0,7085	0,1537
P55	5,9800	57,1500	5,4250	0,1048	97,2500	0,0208	0,1728	0,0013	1,9810	1,1160	0,0206	0,4050	0,4895	0,0688
P56	6,3600	57,2000	7,0000	0,1005	76,1500	0,0193	0,2056	0,0013	2,1450	1,0910	0,0277	0,4655	0,5275	0,0660
P57	7,1700	50,5000	5,6200	0,0964	62,3500	0,0224	0,2491	0,0013	2,4110	1,1990	0,0322	0,3215	0,6035	0,0772
P58	7,8450	49,7000	5,6950	0,1033	67,9000	0,0252	0,1954	0,0013	2,5370	1,3785	0,0306	0,3200	0,6610	0,0877
P59	6,6300	56,4000	6,9650	0,0891	75,4000	0,0196	0,1808	0,0013	2,2700	1,0975	0,0244	0,3985	0,5510	0,0683

UFMG		LABORATÓRIO DE ICP (CPMT/UFMG) – METAIS EM SUSPENSÃO											JULHO/2008	
Julho/08	**Mg**	**Al**	**Ca**	**Cr**	**Fe**	**Co**	**Cu**	**Cd**	**Ti**	**Mn**	**Ni**	**Zn**	**Ba**	**Pb**
P03	0,2780	1,6180	4,1500	0,0015	1,6360	0,0029	0,1503	0,0013	0,0003	0,0550	0,0110	0,2140	0,0074	0,0150
P04	0,4486	3,1170	3,2960	0,0025	3,1630	0,0029	0,1631	0,0013	0,0205	0,1590	0,0110	0,1859	0,0074	0,0150
P06	0,3921	3,3850	3,0040	0,0015	3,3730	0,0029	0,1474	0,0013	0,0123	0,2210	0,0110	0,2209	0,0074	0,0150
P07	0,3705	3,1420	2,4610	0,0039	3,3170	0,0029	0,1574	0,0013	0,0118	0,2396	0,0110	0,2118	0,0074	0,0150
P08	0,2561	2,1230	3,7960	0,0015	2,0000	0,0029	0,1248	0,0013	0,0003	0,0943	0,0110	0,1490	0,0074	0,0150
P09	0,2592	1,0780	2,4980	0,0027	1,7170	0,0029	0,1631	0,0013	0,0003	0,0254	0,0110	0,1507	0,0074	0,0150
P10	0,4102	1,3350	4,2020	0,0139	1,3630	0,0029	0,1735	0,0013	0,0003	0,0681	0,0110	0,2390	0,0074	0,0150
P11	0,4441	1,3340	3,2330	0,0015	1,2820	0,0029	0,1733	0,0013	0,0003	0,0624	0,0110	0,1633	0,0074	0,0150
P12	0,3831	2,3630	5,5200	0,0015	2,0820	0,0029	0,3825	0,0013	0,0003	0,1710	0,0110	0,3564	0,0074	0,0150
P13	0,3284	2,6930	2,8580	0,0015	2,3260	0,0029	0,1742	0,0013	0,0003	0,1472	0,0110	0,1883	0,0074	0,0150
P14	0,3913	2,2880	2,4980	0,0015	2,2220	0,0029	0,1798	0,0013	0,0003	0,1541	0,0110	0,1609	0,0074	0,0150
P15	0,4184	2,4610	3,2940	0,0015	1,9280	0,0029	0,1922	0,0013	0,0003	0,1267	0,0110	0,1664	0,0074	0,0150
P16	0,5960	2,1850	2,3040	0,0015	3,0820	0,0029	0,1617	0,0013	0,0239	0,0462	0,0110	0,1294	0,0074	0,0150
P17	0,3768	1,8520	2,0880	0,0039	2,0680	0,0029	0,1681	0,0013	0,0003	0,0997	0,0110	0,1400	0,0074	0,0150
P18	0,3804	2,0590	2,2930	0,0058	1,8810	0,0029	0,1764	0,0013	0,0003	0,1410	0,0110	0,1503	0,0074	0,0150
P19	0,3900	2,3920	1,9760	0,0071	2,2140	0,0029	0,1826	0,0013	0,0003	0,1615	0,0110	0,1683	0,0074	0,0150
P20	0,5120	3,3200	2,3440	0,0223	3,5240	0,0029	0,2063	0,0013	0,0085	0,1933	0,0110	0,2126	0,0074	0,0150
P21	0,4553	2,3950	2,3250	0,0027	2,3110	0,0029	0,2099	0,0013	0,0003	0,1657	0,0110	0,1611	0,0074	0,0150
P22	0,5420	2,8030	2,8810	0,0107	2,4540	0,0029	0,2208	0,0013	0,0003	0,1700	0,0110	0,2337	0,0074	0,0150
P23	0,4078	3,0190	5,7300	0,0014	3,9990	0,0029	0,2567	0,0013	0,0013	0,1148	0,0110	0,2519	0,0074	0,0150
P24	0,3362	2,5040	3,2800	0,0047	2,4230	0,0029	0,1781	0,0013	0,0003	0,1461	0,0110	0,2338	0,0074	0,0150
P25	0,2434	1,1220	3,3290	0,0014	1,2110	0,0029	0,1572	0,0013	0,0003	0,0299	0,0110	0,2239	0,0074	0,0150
P26	0,4939	3,7220	2,2100	0,0056	3,7860	0,0029	0,1532	0,0013	0,0337	0,2063	0,0110	0,1481	0,0074	0,0150
P27	0,5150	3,1210	4,2230	0,0078	3,2410	0,0029	0,1314	0,0013	0,0161	0,2063	0,0110	0,3518	0,0074	0,0150
P28	0,4478	3,3590	5,8600	0,0070	3,2800	0,0029	0,1673	0,0013	0,0349	0,1697	0,0110	0,2233	0,0074	0,0150
P29	0,4661	1,7070	6,2000	0,0031	2,0180	0,0029	0,1276	0,0013	0,0003	0,0798	0,0110	0,4046	0,0074	0,0150
P30	0,5120	3,4790	3,7130	0,0030	3,7170	0,0029	0,1139	0,0013	0,0259	0,2241	0,0110	0,2637	0,0074	0,0150
P31	0,4638	1,9490	17,9500	0,0015	2,0620	0,0029	0,1154	0,0013	0,0003	0,1247	0,0110	0,7660	0,0074	0,0150
P32	0,4312	2,7730	4,4620	0,0050	3,3280	0,0029	0,1230	0,0013	0,0118	0,1996	0,0110	0,2971	0,0074	0,0150
P33	0,6490	2,6450	2,3985	0,0080	2,7650	0,0029	0,0708	0,0013	0,0729	0,1413	0,0110	0,1089	0,0074	0,0150

Julho/2008	Mg	Al	Ca	Cr	Fe	Co	Cu	Cd	Ti	Mn	Ni	Zn	Ba	Pb
P34	0,5350	2,0350	2,1980	0,0387	2,2430	0,0029	0,0624	0,0013	0,0450	0,1427	0,0110	0,1693	0,0074	0,0150
P35	0,6900	2,5250	1,6160	0,0143	2,8850	0,0029	0,0613	0,0013	0,0764	0,1338	0,0110	0,1102	0,0074	0,0150
P36	0,5610	2,3385	1,8370	0,0081	2,4430	0,0029	0,0607	0,0013	0,0483	0,1343	0,0110	0,0949	0,0074	0,0150
P37	0,5740	1,9175	3,6050	0,0067	2,8500	0,0029	0,0600	0,0013	0,0432	0,1073	0,0110	0,1635	0,0074	0,0150
P38	0,6770	3,0600	5,7950	0,0132	3,2250	0,0029	0,0877	0,0013	0,0776	0,1582	0,0110	0,2555	0,0084	0,0150
P39	0,6590	2,4020	1,8395	0,0102	2,5100	0,0029	0,0741	0,0013	0,0588	0,1222	0,0110	0,1224	0,0074	0,0150
P40	0,5970	2,2185	1,5960	0,0154	2,6000	0,0029	0,0569	0,0013	0,0466	0,1720	0,0110	0,1107	0,0074	0,0150
P41	0,6030	2,5100	1,2010	0,0091	2,7800	0,0029	0,0602	0,0013	0,0651	0,1316	0,0110	0,0800	0,0074	0,0150
P42	0,7120	3,5500	1,5275	0,0106	4,0450	0,0029	0,0591	0,0013	0,0837	0,2520	0,0110	0,0903	0,0137	0,0150
P43	0,6970	2,7400	2,6850	0,0061	3,2150	0,0029	0,0547	0,0013	0,0732	0,1913	0,0110	0,1436	0,0097	0,0150
P44	0,6990	2,4600	2,5850	0,0038	2,8550	0,0029	0,0519	0,0013	0,0676	0,1392	0,0110	0,2451	0,0074	0,0150
P45	0,5040	1,3595	3,9100	0,0525	3,8800	0,0029	0,0559	0,0013	0,0126	0,0600	0,0110	0,4540	0,0074	0,0150
P46	0,7580	3,2650	4,9900	0,0191	3,8550	0,0029	0,0690	0,0013	0,1002	0,1903	0,0110	0,5600	0,0137	0,0150
P47	0,7490	3,0200	1,6745	0,0093	3,7000	0,0029	0,0636	0,0013	0,0864	0,1854	0,0110	0,1615	0,0094	0,0150
P48	0,8730	3,0250	2,9600	0,0074	4,0400	0,0029	0,0532	0,0013	0,1062	0,1730	0,0110	0,2665	0,0200	0,0150
P49	0,6950	2,9300	1,4745	0,0183	3,0700	0,0029	0,0562	0,0013	0,1763	0,1487	0,0110	0,1388	0,0099	0,0150
P50	0,7370	3,1900	2,2970	0,0051	3,6800	0,0029	0,0570	0,0013	0,0903	0,1840	0,0110	0,1847	0,0163	0,0150
P52	0,7200	2,7800	2,1095	0,0015	3,3300	0,0029	0,0524	0,0013	0,0783	0,1763	0,0110	0,1667	0,0092	0,0150
P53	0,8510	4,3300	1,9455	0,0095	5,3250	0,0029	0,0691	0,0013	0,1258	0,2185	0,0110	0,1478	0,0231	0,0150
P54	6,6500	51,9500	8,9750	0,2627	75,000	0,0681	0,2730	0,0013	1,1030	1,3585	0,0250	0,5820	0,4840	0,2410
P56	0,9490	4,3950	2,4885	0,0051	5,1400	0,0029	0,0549	0,0013	0,1641	0,3030	0,0110	0,1793	0,0229	0,0150
P57	1,9520	12,3000	3,8350	0,0415	17,175	0,0029	0,0958	0,0013	0,3701	0,7815	0,0110	0,2955	0,0760	0,0150
P58	0,6550	3,3550	0,7740	0,0045	3,5800	0,0029	0,0627	0,0013	0,1050	0,1244	0,0110	0,0859	0,0125	0,0150
P59	0,9090	4,2800	2,3750	0,0126	4,4300	0,0029	0,0699	0,0013	0,1556	0,2107	0,0110	0,1670	0,0168	0,0150

UFMG	LABORATÓRIO DE ICP (CPMT/UFMG) – METAIS EM SUSPENSÃO												OUTUBRO/2008	
Outubro/2008	**Mg**	**Al**	**Ca**	**Cr**	**Fe**	**Co**	**Cu**	**Cd**	**Ti**	**Mn**	**Ni**	**Zn**	**Ba**	**Pb**
P01	0,3193	0,7555	1,3875	0,0015	0,7940	0,0029	0,1236	0,0013	0,0003	0,0474	0,0110	0,0506	0,0074	0,0150
P02	0,9070	2,8250	3,2500	0,0015	9,9950	0,0029	0,1176	0,0013	0,0150	0,0742	0,0110	0,6365	0,0556	0,0150
P04	0,5350	0,7650	2,4085	0,0015	1,2295	0,0029	0,0832	0,0013	0,0003	0,1936	0,0110	0,4495	0,0074	0,0150
P05	0,3924	0,6295	3,3500	0,0015	0,5980	0,0029	0,0740	0,0013	0,0003	0,0343	0,0110	0,1610	0,0074	0,0150
P06	1,8910	7,3150	4,7550	0,0139	14,670	0,0029	0,1160	0,0013	0,1291	1,0455	0,0110	0,3135	0,0382	0,0150
P07	0,4338	0,9575	3,6850	0,0015	1,1575	0,0029	0,0738	0,0013	0,0003	0,0481	0,0110	0,1419	0,0074	0,0150
P08	0,5990	2,1120	2,6450	0,0015	3,1100	0,0029	0,0814	0,0013	0,0127	0,3395	0,0110	0,0952	0,0074	0,0150
P09	0,5700	0,7260	1,8615	0,0015	0,7920	0,0029	0,0518	0,0013	0,0003	0,0384	0,0110	0,0708	0,0074	0,0150
P10	0,6840	1,9320	2,8250	0,0015	1,8440	0,0029	0,0618	0,0013	0,0069	0,1832	0,0110	0,1390	0,0074	0,0150
P11	3,6090	24,7150	3,3500	0,0567	52,300	0,0136	0,1103	0,0013	0,3907	1,5280	0,0110	0,6440	0,0907	0,0150
P12	0,8780	3,6150	2,1910	0,0080	6,0050	0,0029	0,0652	0,0013	0,0392	0,4005	0,0110	0,1325	0,0074	0,0150
P13	1,1390	5,0400	3,6200	0,0104	6,2250	0,0029	0,0830	0,0013	0,0900	0,3170	0,0110	0,2241	0,0074	0,0150
P14	0,9770	3,0950	4,1550	0,0101	9,0450	0,0029	0,0828	0,0013	0,0340	0,7935	0,0110	0,2260	0,0101	0,0150
P15	0,4746	1,0585	1,7850	0,0015	1,3170	0,0029	0,0538	0,0013	0,0003	0,0502	0,0110	0,0812	0,0074	0,0150
P16	6,4400	40,4500	3,7900	0,1120	40,150	0,0063	0,0996	0,0013	0,7120	0,8755	0,0110	0,1862	0,1798	0,0542
P17	0,5860	1,9370	2,0210	0,0050	1,8235	0,0029	0,0615	0,0013	0,0010	0,0360	0,0110	0,0742	0,0074	0,0150
P18	0,3685	0,4560	1,1735	0,0015	0,5090	0,0029	0,0420	0,0013	0,0003	0,0016	0,0110	0,0377	0,0074	0,0150
P19	0,4075	0,6385	1,7415	0,0071	0,9500	0,0029	0,0463	0,0013	0,0003	0,0016	0,0110	0,1510	0,0074	0,0150
P20	0,4542	0,6335	2,1560	0,0062	0,7160	0,0029	0,0440	0,0013	0,0003	0,0016	0,0110	0,0861	0,0074	0,0150
P21	0,8480	2,1595	3,6400	0,0059	1,9450	0,0029	0,0560	0,0013	0,0213	0,0199	0,0110	0,1008	0,0074	0,0150
P22	0,4575	0,5010	3,8350	0,0333	0,4470	0,0029	0,0473	0,0013	0,0003	0,0016	0,0110	0,0962	0,0074	0,0150
P23	4,0860	35,8500	5,0300	0,1421	34,450	0,0079	0,0929	0,0013	0,6260	0,7615	0,0110	0,1084	0,1322	0,0531
P24	0,6660	2,6950	3,7200	0,0363	2,5400	0,0029	0,0657	0,0013	0,0287	0,1012	0,0110	0,1030	0,0279	0,0150
P25	0,6170	2,0090	5,7700	0,0255	2,2130	0,0029	0,0535	0,0013	0,0546	0,1831	0,0110	0,1504	0,0074	0,0150
P26	0,5490	2,2205	4,2150	0,0586	2,2010	0,0029	0,0439	0,0013	0,0779	0,1290	0,0110	0,1110	0,0074	0,0150
P27	0,6220	2,6100	5,4900	0,0282	2,7400	0,0029	0,0782	0,0013	0,0540	0,1801	0,0110	0,1491	0,0074	0,0150
P28	0,8730	2,4055	8,7400	0,0414	2,6700	0,0029	0,0838	0,0013	0,0710	0,0983	0,0110	0,1912	0,0074	0,0150
P29	1,5810	10,345	3,3550	0,0680	16,075	0,0034	0,0947	0,0013	0,2326	0,8550	0,0110	0,1518	0,0563	0,0150
P30	0,7360	3,0100	4,7950	0,0600	3,5750	0,0029	0,0664	0,0013	0,0709	0,2045	0,0110	0,1607	0,0113	0,0150
P31	0,7670	1,8750	9,7350	0,0469	1,7935	0,0029	0,0695	0,0013	0,0287	0,0762	0,0110	0,1575	0,0074	0,0150

Outubro/2008	Mg	Al	Ca	Cr	Fe	Co	Cu	Cd	Ti	Mn	Ni	Zn	Ba	Pb
P32	2,0010	16,8150	2,1215	0,0987	21,7250	0,0054	0,1132	0,0013	0,3728	0,7755	0,0110	0,0697	0,0825	0,0150
P33	1,0480	4,9300	1,4570	0,0600	5,5700	0,0029	0,0955	0,0013	0,1650	0,2745	0,0110	0,0859	0,0180	0,0150
P34	0,7460	1,4960	1,9535	0,0775	1,5620	0,0029	0,1962	0,0013	0,0243	0,0247	0,0110	0,0857	0,0074	0,0150
P35	0,9890	3,3050	1,0740	0,0427	3,4600	0,0029	0,0647	0,0013	0,1781	0,1699	0,0110	0,0621	0,0074	0,0150
P36	0,5350	1,3115	1,2385	0,0549	1,3745	0,0029	0,0586	0,0013	0,0003	0,0190	0,0110	0,1435	0,0074	0,0150
P37	1,1850	6,4100	1,1225	0,0549	7,1050	0,0029	0,0961	0,0013	0,2306	0,2301	0,0110	0,0892	0,0235	0,0150
P38	0,8230	3,3050	2,0485	0,0493	4,0900	0,0029	0,0685	0,0013	0,0927	0,1869	0,0110	0,1171	0,0074	0,0150
P39	0,4728	1,4095	1,6175	0,0515	1,2815	0,0029	0,0421	0,0013	0,0256	0,0098	0,0110	0,0918	0,0074	0,0150
P40	0,7920	3,3300	1,6245	0,0591	3,7500	0,0029	0,0665	0,0013	0,0961	0,1582	0,0110	0,0994	0,0074	0,0150
P41	0,9050	3,4750	1,3695	0,0560	4,4850	0,0029	0,0492	0,0013	0,1111	0,1495	0,0110	0,0733	0,0101	0,0150
P42	1,3360	6,2400	1,5980	0,0630	7,1150	0,0029	0,0850	0,0013	0,2391	0,2630	0,0110	0,0929	0,0289	0,0150
P43	1,0630	4,5300	1,5720	0,0652	5,4150	0,0029	0,0609	0,0013	0,1462	0,2034	0,0110	0,0944	0,0162	0,0150
P44	1,3290	6,9350	2,8000	0,0656	7,8350	0,0029	0,0926	0,0013	0,2705	0,2710	0,0110	0,1487	0,0308	0,0150
P45	0,8860	3,1100	1,8130	0,0571	6,9250	0,0029	0,0741	0,0013	0,3026	0,1888	0,0110	0,0872	0,0181	0,0150
P46	1,1900	6,2850	1,9910	0,0663	8,0650	0,0029	0,0730	0,0013	0,2121	0,2465	0,0110	0,1052	0,0282	0,0150
P47	2,9610	28,800	2,5850	0,1191	32,750	0,0105	0,1139	0,0013	0,6890	0,3735	0,0110	0,1620	0,1501	0,0930
P48	1,1890	7,4250	2,1490	0,0688	8,9600	0,0029	0,0924	0,0013	0,2414	0,2036	0,0110	0,1071	0,0307	0,0150
P49	0,9090	4,2000	1,5775	0,0766	4,4000	0,0029	0,0964	0,0013	0,1340	0,2388	0,0110	0,0896	0,0103	0,0150
P50	0,9470	4,7550	2,1020	0,0517	11,050	0,0029	0,1008	0,0013	0,1172	0,7995	0,0110	0,0766	0,0346	0,0150
P51	0,9720	4,1150	1,8440	0,0504	4,9950	0,0029	0,0432	0,0013	0,2786	0,2615	0,0110	0,0894	0,0074	0,0150
P53	0,8190	3,3600	2,5300	0,0517	4,3400	0,0029	0,0725	0,0013	0,1251	0,2725	0,0110	0,1161	0,0085	0,0150
P54	1,9740	7,6550	3,7450	0,1281	7,4100	0,0029	0,0573	0,0013	0,2409	0,3095	0,0110	0,2335	0,0356	0,0150
P55	0,9340	3,9700	1,8520	0,0636	4,9550	0,0029	0,0894	0,0013	0,1466	0,2665	0,0110	0,1121	0,0111	0,0150
P56	0,8010	3,4700	1,2670	0,0588	3,8150	0,0029	0,0898	0,0013	0,1197	0,2039	0,0110	0,0665	0,0074	0,0150
P57	1,0480	4,5150	1,7410	0,0588	5,2700	0,0029	0,0822	0,0013	0,1565	0,2990	0,0110	0,0983	0,0176	0,0150
P58	1,0460	4,3400	1,4855	0,0685	4,8300	0,0029	0,0932	0,0013	0,1580	0,2560	0,0110	0,0935	0,0185	0,0150
P59	1,3700	5,8850	2,3080	0,0652	7,2750	0,0029	0,1184	0,0013	0,2482	0,3485	0,0110	0,1167	0,0342	0,0150

UFMG	LABORATÓRIO DE ICP (CPMT/UFMG) – METAIS EM SUSPENSÃO												JANEIRO/2008	
Janeiro/2008	**Mg**	**Al**	**Ca**	**Cr**	**Fe**	**Co**	**Cu**	**Cd**	**Ti**	**Mn**	**Ni**	**Zn**	**Ba**	**Pb**
P01	0,5760	6,6100	2,8730	0,0132	7,4400	0,0029	0,1512	0,0013	0,0791	0,2165	0,0110	0,1095	0,0074	0,0349
P02	1,0450	14,4800	4,2540	0,0259	50,7000	0,0545	0,1394	0,0107	0,1011	6,9900	0,0110	3,6810	0,2423	0,0696
P03	0,4455	1,8630	2,5160	0,0015	2,2850	0,0029	0,0628	0,0013	0,0077	0,1244	0,0110	0,2079	0,0074	0,0048
P04	0,8920	8,3500	3,6980	0,0165	12,0800	0,0157	0,1794	0,0455	0,0648	2,7450	0,0110	1,4250	0,0577	0,0733
P05	0,6690	5,5000	2,3870	0,0132	5,5600	0,0029	0,1221	0,0013	0,0334	0,2821	0,0110	0,4020	0,0074	0,0514
P06	0,7980	9,6000	2,6100	0,0173	13,0800	0,0081	0,0734	0,0013	0,2183	0,8930	0,0110	0,2463	0,0074	0,0539
P07	1,0890	19,3300	3,1970	0,0351	19,2000	0,0081	0,1367	0,0013	0,1785	1,5960	0,0110	0,1799	0,0574	0,0695
P08	1,5600	26,7900	2,9920	0,0465	54,7000	0,0265	0,1382	0,0013	0,2135	2,1560	0,0110	0,1545	0,1311	0,0969
P09	0,8800	8,3200	4,7900	0,0220	9,5300	0,0043	0,1235	0,0013	0,0590	0,4290	0,0110	0,2685	0,0165	0,0456
P10	0,9300	11,2900	3,4930	0,0291	11,2800	0,0036	0,1132	0,0013	0,1098	0,7360	0,0110	0,2899	0,0526	0,0674
P11	5,3100	119,900	5,0200	0,1758	153,800	0,0496	0,2081	0,0013	0,7400	1,5670	0,0110	0,2745	0,6630	0,3038
P12	0,9100	12,6700	3,8120	0,0340	13,0900	0,0043	0,1348	0,0013	0,1213	0,7770	0,0110	0,2941	0,0632	0,0650
P13	0,9130	13,7200	3,2530	0,0306	12,9200	0,0061	0,1456	0,0013	0,1378	0,7060	0,0110	0,2266	0,0394	0,0688
P14	0,7860	9,4700	2,6910	0,0321	12,2900	0,0056	0,1269	0,0013	0,0879	0,5720	0,0110	0,1733	0,0252	0,0676
P15	1,1700	17,6400	3,8960	0,0462	19,0800	0,0096	0,1453	0,0013	0,1857	1,0540	0,0110	0,3709	0,0773	0,0959
P16	20,0900	186,900	11,9500	0,3373	333,400	0,0963	0,3075	0,0061	1,2290	2,5530	0,0815	0,4911	1,3890	0,4549
P17	0,7350	8,5800	2,4960	0,0337	10,8300	0,0076	0,1089	0,0013	0,1032	0,5790	0,0110	0,1388	0,0516	0,0772
P18	1,2680	15,0600	2,2930	0,0386	16,6000	0,0085	0,1324	0,0013	0,2153	0,8510	0,0110	0,1766	0,0649	0,0851
P19	4,0990	31,2700	6,8700	0,1020	59,1000	0,0307	0,1758	0,0013	0,9460	1,7610	0,0110	0,4501	0,3212	0,1522
P20	1,5770	15,9200	4,7830	0,0483	21,3400	0,0134	0,1488	0,0013	0,2928	1,0360	0,0110	0,3021	0,1167	0,1019
P21	5,5800	42,2200	4,6740	0,1100	77,5000	0,0397	0,1782	0,0033	0,9970	1,9490	0,0110	0,2523	0,4721	0,1889
P22	0,4701	3,9270	5,2000	0,0280	4,9110	0,0067	0,1160	0,0013	0,0366	0,0957	0,0110	0,2345	0,0159	0,0696
P23	3,0670	84,2000	3,9650	0,1449	113,700	0,0358	0,1879	0,0028	0,8280	0,6870	0,0110	0,1752	0,4889	0,2664
P24	1,5090	17,6200	10,4700	0,0511	23,9100	0,0143	0,1527	0,0013	0,2846	0,9610	0,0110	0,6070	0,1332	0,1107
P25	2,7710	20,9100	5,9600	0,0617	31,8300	0,0190	0,1502	0,0013	0,4437	0,9060	0,0110	0,2931	0,2117	0,1280
P26	4,2020	28,8400	12,7500	0,0765	45,8400	0,0241	0,1756	0,0016	0,6270	1,1600	0,0110	0,4842	0,3163	0,1390
P27	2,0580	17,8800	7,3000	0,0535	25,0800	0,0171	0,1421	0,0027	0,3417	0,7950	0,0110	0,3258	0,1476	0,1190
P28	2,4760	24,1100	4,6470	0,0602	30,2200	0,0192	0,1488	0,0036	0,4167	1,0340	0,0110	0,2426	0,1814	0,1141
P29	2,1070	20,1700	4,9910	0,0569	26,6800	0,0153	0,1502	0,0025	0,3561	0,8060	0,0110	0,2631	0,1547	0,1218
P30	3,0150	26,2900	3,4720	0,0781	45,5000	0,0242	0,1505	0,0018	0,5870	1,2550	0,0110	0,8040	0,2438	0,1367

Janeiro/2008	Mg	Al	Ca	Cr	Fe	Co	Cu	Cd	Ti	Mn	Ni	Zn	Ba	Pb
P31	1,6750	14,9000	4,9090	0,0488	18,2900	0,0137	0,1150	0,0027	0,3358	0,5200	0,0110	0,1756	0,0860	0,1150
P32	3,3160	61,3000	4,2080	0,1093	90,6000	0,0396	0,1591	0,0023	0,5920	1,5650	0,0110	0,1740	0,4182	0,2137
P33	2,9430	24,3600	3,1920	0,0705	45,1200	0,0250	0,1163	0,0027	0,5590	1,4860	0,0110	0,2388	0,2490	0,1327
P34	3,9760	33,6100	6,2400	0,0839	44,7800	0,0269	0,1492	0,0024	0,6960	1,3830	0,0110	0,3007	0,3411	0,1562
P35	4,1420	34,5600	6,3400	0,0871	53,2000	0,0318	0,1438	0,0028	0,7040	1,7680	0,0110	0,4441	0,3700	0,1584
P36	6,5000	45,6000	5,5300	0,1178	83,4000	0,0464	0,1755	0,0030	1,0170	2,2940	0,0110	0,3791	0,5650	0,1883
P37	6,5500	45,9800	8,4800	0,1092	81,4000	0,0433	0,1715	0,0021	1,0240	2,4200	0,0110	0,5440	0,5550	0,1831
P38	6,3700	45,9100	5,7700	0,1077	72,6000	0,0434	0,1661	0,0023	1,0010	2,2660	0,0110	0,4154	0,5180	0,1763
P39	4,3010	34,4500	5,0400	0,0788	49,9200	0,0317	0,1498	0,0020	0,7600	1,7800	0,0110	0,4070	0,3614	0,1481
P40	4,2960	32,9000	4,5850	0,0896	50,6000	0,0336	0,1578	0,0034	0,7490	1,9020	0,0110	0,4220	0,3598	0,1578
P41	4,1870	32,6500	4,6720	0,0781	51,1000	0,0326	0,1585	0,0020	0,7330	1,8480	0,0110	0,3770	0,3677	0,1298
P42	5,3600	39,9500	4,8510	0,0900	62,2000	0,0412	0,1526	0,0020	0,9240	2,3730	0,0110	0,8450	0,4592	0,1535
P43	4,6670	38,4500	3,8610	0,0890	50,9000	0,0349	0,1513	0,0028	0,8780	1,9390	0,0110	0,4053	0,3920	0,1587
P44	3,9890	31,0800	3,5460	0,0722	46,9000	0,0317	0,1536	0,0018	0,6970	1,8510	0,0110	0,3642	0,3600	0,1300
P45	1,7820	13,8000	2,1570	0,0398	34,2200	0,0151	0,1143	0,0013	0,2634	0,5150	0,0110	0,1560	0,1451	0,0797
P46	21,9800	147,2000	10,3700	0,2496	268,8000	0,1183	0,2706	0,0058	2,4440	5,4500	0,0822	0,7630	1,3930	0,3857
P47	6,2100	47,8100	5,9800	0,0905	66,3000	0,0413	0,1695	0,0013	1,0320	2,3150	0,0110	0,5130	0,5180	0,1689
P48	5,1400	40,8500	6,4900	0,0810	61,0000	0,0387	0,1704	0,0013	0,8400	2,2130	0,0110	0,5590	0,4483	0,1460
P49	3,9700	34,5000	4,5730	0,0671	48,1900	0,0303	0,2223	0,0013	0,6330	1,9150	0,0110	0,3520	0,3234	0,1344
P50	3,8620	30,2400	3,0200	0,0458	48,1300	0,0225	0,1939	0,0013	0,3820	1,7170	0,0110	0,1910	0,2065	0,1063
P51	3,0130	26,9100	5,8000	0,0469	33,6300	0,0229	0,1953	0,0013	0,4589	1,5410	0,0110	0,4972	0,2336	0,1038
P52	2,6220	22,9000	6,3800	0,0385	26,0900	0,0194	0,1878	0,0013	0,4620	1,2880	0,0110	0,4816	0,2042	0,0914
P53	2,9660	24,8200	3,9880	0,0442	29,9500	0,0208	0,2037	0,0013	0,4784	1,4210	0,0110	0,3148	0,2423	0,0860
P54	3,8460	41,1800	4,8940	0,0436	55,3000	0,0232	0,2085	0,0013	0,4859	1,6940	0,0110	0,5200	0,2971	0,1208
P55	3,1550	26,4600	4,5610	0,0470	45,0800	0,0228	0,1877	0,0013	0,5180	1,5620	0,0110	0,3420	0,2389	0,1088
P56	2,9650	26,5300	3,3900	0,0417	31,5800	0,0224	0,1915	0,0013	0,4962	1,4360	0,0110	0,2705	0,2301	0,0954
P57	3,3360	29,1200	4,0300	0,0498	41,5300	0,0258	0,2040	0,0013	0,5400	1,8360	0,0110	0,4094	0,2965	0,1071
P58	2,2190	17,8900	3,7650	0,0247	23,1200	0,0162	0,1703	0,0013	0,3197	0,8990	0,0110	0,3304	0,1751	0,0801
P59	3,8840	28,5100	3,6360	0,0496	38,5400	0,0293	0,1899	0,0013	0,6290	1,8920	0,0110	0,3477	0,3297	0,1119

ANEXO F – Tabela de uso do solo.

Ponto	Indústria	Urbano	Irrigação	Afluente	Soja	Milho	Café	Eucalipto/Pínus	Frutas	Pecuária
P01	Não	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
P02	Sim	Sim	Não	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não
P03	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
P04	Sim	Sim	Não	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não
P05	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
P06	Não	Não	Não	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não
P07	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
P08	Não	Não	Não	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não
P09	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
P10	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Sim	Não	Não
P11	Não	Não	Não	Sim	Não	Não	Não	Sim	Não	Não
P12	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Sim	Não	Não
P13	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Sim	Não	Não
P14	Não	Não	Não	Sim	Não	Não	Não	Sim	Não	Não
P15	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Sim	Não	Não
P16	Não	Não	Não	Sim	Não	Não	Não	Sim	Não	Não
P17	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Sim	Não	Não
P18	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Sim	Não	Não
P19	Não	Não	Sim	Não	Não	Não	Sim	Sim	Não	Não
P20	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Sim	Não	Não
P21	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Sim	Não	Não
P22	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Sim	Não	Não
P23	Não	Não	Não	Sim	Não	Não	Não	Sim	Não	Não
P24	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
P25	Não	Não	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
P26	Não	Não	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
P27	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Sim	Não	Não
P28	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Sim	Não	Não
P29	Não	Não	Não	Sim	Não	Não	Não	Sim	Não	Sim
P30	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Sim	Não	Não
P31	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Sim	Não	Não
P32	Não	Não	Não	Sim	Não	Não	Não	Sim	Não	Não
P33	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Sim	Não	Não
P34	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Sim	Não	Não
P35	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Sim	Não	Não
P36	Não	Não	Sim	Sim	Não	Não	Não	Sim	Não	Não
P37	Não	Não	SIm	Não	Não	Não	Não	Sim	Não	Não
P38	Não	Não	Sim	Não	Não	Não	Não	Sim	Não	Não
P39	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Sim	Não	Não
P40	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
P41	Não	Não	Sim	Não	Não	Não	Sim	Não	Não	Não
P42	Não	Não	Sim	Não	Não	Não	Sim	Não	Não	Não
P43	Não	Não	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
P44	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
P45	Não	Não	sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	Sim
P46	Não	Não	Sim	Não	Não	Não	Não	Sim	Não	Sim
P47	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Sim
P48	Não	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
P49	Não	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não

P50	Não	Sim	Não	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Sim
P51	Não	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
P52	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
P53	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
P54	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
P55	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
P56	Não	Não	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Sim	Não
P57	Não	Não	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Sim	Não
P58	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Sim	Não
P59	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não