



Mestrado em Engenharia Ambiental

Programa de Pós-Graduação Engenharia Ambiental

DISSERTAÇÃO

ANÁLISE DA QUALIDADE DA ÁGUA E DOS SEDIMENTOS DO ALTO RIO PIRANGA

Autora: Regina de Moraes Goulart

Ouro Preto, MG.

2008



Universidade Federal de Ouro Preto
Programa de Pós-Graduação Engenharia Ambiental
Mestrado em Engenharia Ambiental

Regina de Moraes Goulart

**“ANÁLISE DA QUALIDADE DA ÁGUA E DOS SEDIMENTOS DA
PARTE SUPERIOR DO RIO PIRANGA”**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Ouro Preto, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do título: “Mestre em Engenharia Ambiental – Área de Concentração: Recursos Hídricos”

Orientador: Prof. Dr. Hubert Mathias Peter Roeser

Ouro Preto, MG

2008

Dedicatória

Dedicado à minha família,
Ao meu avô Luiz Pereira da Cunha (*in memoriam*) e
Ao meu Tio Aluísio (*in memoriam*).

Agradecimentos

Agradeço a Deus pela vida.

À minha família pelo amor, convivência, apoio incondicional, compreensão e estímulo em todas as etapas da minha vida.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, pela oportunidade da realização deste mestrado.

Ao Professor. Doutor Hubert Roeser pelas orientações, sugestões e acompanhamento na execução deste trabalho.

À amiga Celina Fukuzawa, pela amizade, inesgotável disponibilidade de ajudar, colaboração, incentivo e solidariedade durante todo o trabalho.

Ao Departamento de Geologia, representado pelos Professores , Hermíno Arias Nalini Jr, Jorge Carvalho de Lena, José Fernando de Paiva, pela acolhida no Laboratório de Geoquímica ambiental.

Aos colegas do LGqa Antônio Celso Torres, Vandir Geraldo Maia, Margarete Aparecida Pereira, Adriana Trópia de Abreu Guimarães, Jéssica de Souza Madureira, pela ajuda e orientação para a realização das análises e preparações químicas.

Aos coordenadores do Laboratório de Modelagem Tectônica pela liberdade de utilização dos equipamentos: aparelho agitador de peneiras granulométricas e de limpeza de peneira.

Aos colegas Wellington Fernandes Alvarenga, Cristiano Santos Sampaio, Leite, Geraldo Magela Santos Sampaio pela realização das análises no ICP-EOS.

Máximo Eleotério Martins, Fernanda Dayrell de Oliveira, Mariana Rosa Pires, pelas longas e produtivas saídas de campo, participação na preparação e análises químicas das amostras.

Ao colega Gislandro Hudson Torres Gonçalves, pela confecção dos mapas da área de amostragem.

Ao CNPq pela concessão de bolsa de estudo.

Aos amigos pela compreensão e estímulo.

Déborah Chamovitz pelo empréstimo de maquinário fundamental para a conclusão desta.

A todos aqueles que direta ou indiretamente participaram e me ajudaram durante esse percurso.

MUITO OBRIGADA!

Sumário

Agradecimentos	iii
Lista de figuras	viii
Lista de tabelas	xii
Resumo	xiii
Abstract	xiv
INTRODUÇÃO	
1.1 - Considerações iniciais	01
1.2 – Objetivos	03
CARACTERIZAÇÃO DA BACIA	
2.1 – Acesso	04
2.2 - O meio natural	04
2.2.1 – Clima	04
2.2.2 - Relevo	05
2.2.2.1 - Planaltos dissecados do centro-sul e do leste de minas	05
2.2.2.2 - Depressão do Rio Doce	05
2.2.2.3 - Serra do Espinhaço	05
2.2.2.4 - Quadrilátero ferrífero	05
2.2.3 - Uso da terra e cobertura vegetal	06
2.3 - Contexto geológico	06
2.3.1 - Caracterização geológica	07
2.3.1.1 – O grupo Nova Lima	08
2.3.1.1.1 – Complexo Ressaquinha	09
METODOLOGIA	
3.1 - Definição dos pontos de amostragem	10
3.2 – Preparação do material de coleta	13
3.3 – Coleta	13
3.3.1 – Água	13
3.3.2 – Sedimento	14
3.3.3 – Solo	14
3.4 – Medições <i>in situ</i>	15
3.5 – Análises em Laboratório	15

3.5.1 – Água	15
3.5.1.1 - Método titulométrico	15
3.5.1.2 - Método turbidimétrico	16
3.5.1.3 – Análise química	16
3.5.2 – Preparação das amostras de sedimento e solo	17
3.5.2.1 – Sedimento	17
3.5.2.2 – Solo	17
3.5.3 – Análises Químicas	18
3.5.3.1 – Digestão total	18
HIDROGEOQUÍMICA – RESULTADOS E DISCUSSÃO	
4.1 - Propriedades físicas	20
4.1.1 – Temperatura	20
4.1.2. – Turbidez	21
4.2 – Propriedades Iônicas	22
4.2.1 – Condutividade elétrica da água	22
4.2.2 – Potencial Hidrogeniônico (pH)	22
4.3 - Constituintes iônicos principais:	23
4.3.1 – Cátions	24
4.3.1.1 – Cálcio (Ca ⁺⁺) e Magnésio (Mg ⁺⁺)	24
4.3.1.2 – Ferro (Fe ⁺⁺)	26
4.3.1.3 - Potássio (K ⁺)	27
4.3.1.4 – Sódio (Na ⁺)	29
4.3.2 – Ânions	30
4.3.2.1 – Alcalinidade/Bicarbonato (HCO ₃ ⁻)	30
4.3.2.2 – Cloreto (Cl ⁻)	31
4.3.2.3 – Sulfato (SO ₄ ²⁻)	32
4.4 – Principais constituintes secundários	33
4.4.1 – Alumínio (Al)	33
4.4.2 – Bário (Ba)	34
4.4.3 - Manganês (Mn)	35
4.5. – Outros elementos	36
4.5.1 – Cobalto (Co)	36
4.5.2 – Cobre (Cu)	37
4.5.3 – Estrôncio (Sr)	38

4.5.4 – Zinco (Zn)	39
4.6 - Classificação das águas do Rio Piranga e seus tributários segundo a Resolução do CONAMA 357	41
CARACTERIZAÇÃO GEOQUÍMICA DE SOLO E SEDIMENTO RESULTADOS E DISCUSSÃO	
5.1 - Caracterização geoquímica dos sedimentos	43
5.1.2 – Elementos maiores	43
5.1.2.1 – Alumínio Potássio e, Magnésio	46
5.1.2.2 – Cálcio, Ferro e Manganês	46
5.1.3 – Metais-traço	49
5.1.3.1 – Metais Pesados	53
5.1.3.2. – Níveis de contaminação dos sedimentos	58
5.2 - Caracterização geoquímica dos solos	59
5.2.1 – Elementos maiores	60
5.2.1.1 – Fe, Al e Mg	60
5.2.2 – Elementos traço	61
5.2.2.1 - Cobalto, Cromo, Níquel, Vanádio e Zinco	61
5.2.2.2 – As, Cu e Li	62
5.2.3 – Valores de alerta dos solos	63
5.3 – Correlação solo - sedimentos	64
DISCUSSÕES	
61. Qualidade da água do Rio Piranga e seus tributários	67
6.2 - A classificação segundo Gibbs	67
6.3 - Níveis de contaminação nos sedimentos	69
6.4 - Contaminação do solo	70
6.5 - Diagramas de correlação	70
CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	
REFERÊNCIAS	80
ANEXOS	
ANEXO I Coordenadas UTM dos pontos amostrais	83
ANEXO II Tabela indicando a temperatura em cada um dos pontos amostrais	84
ANEXO III Tabela indicando a turbidez em cada um dos pontos amostrais	85
ANEXO IV Tabela indicando pH em cada um dos pontos amostrais	86

ANEXO V Resultados das amostras de água do Rio Piranga e tributário no verão e inverno	87
ANEXO VI Resultados das amostras de sedimento do Rio Piranga e tributário no verão e inverno	90

Lista de Figuras

Figura 2.1: Mapa indicando as formações geológicas da região do Alto Rio Piranga.....	08
Figura 3.1: Localização dos pontos de amostragem	11
Figuras 3.2 : Amostras em estágio de secagem	17
Figuras 3.3 e 3.4 : Instrumentos utilizados na pesagem de amostras	18
Figura 3.5 e 3.6: Amostras secas, em fase de preparação para análise por ICP-EOS	19
Figura 4.1: Gráfico evidenciando a variação da turbidez nas águas do Rio Piranga e tributários durante o verão e o inverno	22
Figura 4.2: Gráfico evidenciando a variação de pH nas águas do Rio Piranga e tributários durante o verão e o inverno	23
Figura 4.3: Gráfico evidenciando a variação do cálcio nas águas do Rio Piranga e tributários durante o verão e o inverno	25
Figura 4.4: Gráfico evidenciando a variação do magnésio nas águas do Rio Piranga e tributários durante o verão e o inverno.	26
Figura 4.5: Gráfico evidenciando a variação do ferro nas águas do Rio Piranga e tributários durante o verão e o inverno	27
Figura 4.6: Gráfico evidenciando a variação da concentração do potássio nas águas do Rio Piranga e tributários durante o verão e o inverno	28
Figura 4.7: Gráfico evidenciando a variação de concentração do sódio nas águas do Rio Piranga e tributários nas estações verão e inverno	29
Figura 4.8: Gráfico evidenciando a variação da alcalinidade nas águas do Rio Piranga e tributários nas estações verão e inverno	31
Figura 4.9: Gráfico evidenciando a variação do cloreto nas águas do Rio Piranga e tributários nas estações verão e inverno	32
Figura 4.10: Gráfico evidenciando a variação do sulfato nas águas do Rio Piranga e tributários nas estações verão e inverno	33
Figura 4.11: Gráfico evidenciando a variação do alumínio nas águas do Rio Piranga e tributários nas estações verão e inverno	34
Figura 4.12: Gráfico evidenciando a variação do bário nas águas do Rio Piranga e tributários nas estações verão e inverno	35
Figura 4.13: Gráfico evidenciando a variação do manganês nas águas do Rio Piranga e tributários nas estações verão e inverno	36
Figura 4.14: Gráfico evidenciando a variação do cobalto nas águas do Rio Piranga e tributários nas estações verão e inverno	37

Figura 4.15: Gráfico evidenciando a variação do cobre nas águas do Rio Piranga e tributários nas estações verão e inverno	38
Figura 4.16: Gráfico evidenciando a variação do estrôncio nas águas do Rio Piranga e tributários nas estações verão e inverno	39
Figura 4.17: Gráfico evidenciando a variação do zinco nas águas do Rio Piranga e tributários nas estações verão e inverno	40
Figura 5.1: Gráfico evidenciando a variação do alumínio nas estações verão e inverno	44
Figura 5.2: Gráfico evidenciando a variação do potássio nas estações verão e inverno	45
Figura 5.3: Gráfico evidenciando a variação do magnésio nas estações verão e inverno	46
Figura 5.4: Gráfico evidenciando a variação do cálcio nas estações verão e inverno	47
Figura 5.5: Gráfico evidenciando a variação do ferro nas estações verão e inverno	48
Figura 5.6: Gráfico evidenciando a variação do manganês nas estações verão e inverno	49
Figura 5.7: Gráfico evidenciando a variação do vanádio nas estações verão e inverno	50
Figura 5.8: Gráfico evidenciando a variação do cobalto nas estações verão e inverno	51
Figura 5.9: Gráfico evidenciando a variação do lítio nas estações verão e inverno	52
Figura 5.10: Gráfico evidenciando a variação do níquel nas estações verão e inverno	53
Figura 5.11: Gráfico evidenciando a variação do cromo nas estações verão e inverno	54
Figura 5.12: Gráfico evidenciando a variação do zinco nas estações verão e inverno	55
Figura 5.13: Gráfico evidenciando a variação do cobre nas estações verão e inverno	56
Figura 5.14: Gráfico evidenciando a variação do arsênio nas estações verão e inverno	57

Figura 5.15: Gráfico evidenciando a variação do chumbo nas estações verão e inverno	58
Figura 5.16: Gráfico evidenciando as variações de alumínio, ferro e magnésio	61
Figura 5.17: Gráfico evidenciando as variações de Cobalto, cromo, níquel, vanádio e zinco	62
Figura 5.18 : Gráfico evidenciando as variações de arsênio, cobre e lítio	63
Figura 5.19: Gráficos das concentrações dos elementos Alumínio (A), Cálcio (B), Ferro (C), Magnésio (D), Manganês (E) e Potássio (F), em amostras de solo e sedimento.....	65
Figura 6.1: Diagrama “Boomerang” das amostras do Rio Piranga	68
Figura 6.2: Diagrama “Boomerang” das amostras dos tributários do Rio Piranga	68
Figura 6.3 - Diagrama <i>boomerang</i> das amostras do Rio Piranga e seus tributários.....	69
Figura 6.4: Variação da concentração de Ca/Mg na água durante o verão	72
Figura 6.5: Variação da concentração de Ca/Mg na água durante o inverno	72
Figura 6.6: Variação da concentração de Ca/Mg no sedimento durante o verão	72
Figura 6.7: Variação da concentração de Ca/Mg no sedimento durante o inverno	72
Figura 6.8: Variação da concentração de K/Na na água durante o verão	74
Figura 6.9: Variação da concentração de K/Na na água durante o inverno	74
Figura 6.10: Variação da concentração de K/Na no sedimento durante o verão	74
Figura 6.11: Variação da concentração de K/Na no sedimento durante o inverno	74
Figura 6.12: Variação da concentração de Cu/Zn na água durante o verão	75
Figura 6.13: Variação da concentração de Cu/Zn na água durante o inverno	75
Figura 6.14: Variação da concentração de Cu/Zn no sedimento durante o verão	76
Figura 6.15: Variação da concentração de Cu/Zn no sedimento durante o inverno	76

Figura 6.16: Variação da concentração de Cr/Ni no sedimento durante o verão
..... 77

Figura 6.17: Variação da concentração de Cr/Ni no sedimento durante o inverno
..... 77

Lista de Tabelas

Tabela 4.1 - Limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 357 para águas das classes 1, 2 e 3 e parâmetros do Rio Piranga e seus tributários durante verão e inverno	42
Tabela 5.1 – Valores das amostras de sedimento comparados aos valores padrão da CEAA	59
Tabela 5.2 - Tabela comparativa entre valores de alerta para solos propostos pela CETESB (2001) e valores obtidos no estudo	64

Resumo

Para caracterizar e monitorar parâmetros físico-químicos de qualidade da água, determinação de contaminação natural nos sedimentos de corrente e quantificar a presença de metais na água, sedimento e solo, foi realizado um estudo geoquímico ambiental.

Localizado ao sul do Quadrilátero Ferrífero, o Rio Piranga está inserido na bacia do Rio Doce, quinta maior bacia do Estado de Minas Gerais. A subbacia do Rio Piranga, composta por vários rios, ribeirões e córregos, mostra-se fundamental, pois é pouco conhecido no que concerne à qualidade de suas águas e geoquímica de seus sedimentos, além de juntamente ao Rio do Carmo, forma o Rio Doce. Executou-se o estudo na porção superior do Rio Piranga, (na extensão entre o córrego Bandeira até seu encontro com o Rio Xopotó), e seus tributários a fim de se conhecer sua qualidade ambiental.

Em uma primeira campanha realizaram-se coletas e análises de 60 amostras (28 de água, e 28 de sedimentos e 4 de solo). Na segunda campanha, foram coletadas 54 amostras (27 de água e 27 de sedimentos), no Rio Piranga e tributários. As amostras foram submetidas a análises físico-químicas e teores de metais e metalóides dos elementos Al, As, Ba, Be, Ca, Cd, Cr, Cu, Fe, K, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, Pb, Sn, Ti, V e Zn foram determinados por Espectrofotômetro de Emissão Atômica com Fonte de Plasma Indutivamente Acoplado (ICP-EOS). A partir dos dados obtidos, classificou-se as águas da subbacia segundo critérios da Resolução CONAMA 357, as águas do rio e seus tributários apresentam trechos dentro dos padrões de qualidade de água superficial para os usos determinados para as classes 1, 2 e 3. As concentrações para os parâmetros TDS, pH, turbidez, cloreto, sulfato, Ba, Al e Zn atendem aos padrões de qualidade da água para as classes 1 e 2, os elementos Co, Cu, Mn e Fe atendem aos padrões das classes 1, 2 e 3. Os elementos As, Cd, Cr, Li, Ni e V não apresentaram valores detectáveis. Construiu-se diagrama Boomerang com a finalidade de classificar a qualidade do rio e seus tributários usando a classificação de Gibbs, comprovou-se a sazonalidade promovida pelas chuvas e a influência da litologia da área de estudo, pela posição do rio e seus tributários no diagrama “boomerang”.

A qualidade do solo foi determinada de acordo com parâmetros utilizados pela CETESB, e pela *Canadian Environmental Assessment Agency (CEAA)*.

Resultados da correlação solo-sedimento sugerem que os elementos Fe e Al, são originários de fontes naturais, e outros elementos como Ca, K, Mn, Cu, As, Zn, Mg possuem em união à suas fontes naturais contribuição antrópica para elevação dos teores.

Abstract

An environmental investigation, aiming characterize and monitor the quality of water on the physical–chemical parameters, review soil and sediment natural contamination and express the amount of metal on the water, soil and sediment.

Inserted on the Doce - River basin, the fifth biggest basin in Minas Gerais State, Piranga basin is formed with several rivers, streams and creeks, it plays important rule, with the Carmo River, forms the Doce - River. Located in the southern portion of the Iron Quadrangle, Piranga River does not have too much information recorded. The studies about the upper portion of Piranga (in the extension from Bandeira stream to Xopotó River) along with its tributary rivers and streams, took place to get information about the river's environmental quality.

In the river and its tributary rivers on a first sample campaign (made in the summer time) 60 samples were collected (28 water samples, 28 sediment samples and 4 soil samples). In the second sample campaign (made in the winter time) 54 samples were collected and analysis (27 water samples and 27 sediment samples).all the samples were submitted to physical-chemical analyses, concentration of Al, As, Ba, Be, Ca, Cd, Cr, Cu, Fe, K, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, Pb, Sn, Ti, V e Zn were determined by inductively coupled plasma method (ICP-OES). With the results, according to CONAMA's Resolution, the river basin water was classified onto 1, 2 and 3 classes. The parameter concentration to turbidity, TDS, chloride, sulphate, Ba, Al and Zn placed the river basin waters onto 1 and 2 classes, Co, Cu, Mn and Fe elements placed the river basin waters onto 1, 2 and 3 classes. As, Cd, Cr, Li, Ni e V did not feature detectable concentrations.

With data plotted in “Boomerang” diagrams, seasonal (winter and summer) rain and lithological influences were proved true by the location of the river in the “boomerang” diagram.

Soil quality was determined according to CETESB and the Canadian Environmental Assessment Agency (CEAA).

Co-relationship results of soil-sediment showed that Fe and Al have natural sources of theirs concentrations, although elements such as Ca, K, Mn, Cu, As, Zn and Mg, Mg, have natural sources plus human activities sources increasing their concentration.

1.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A água é o solvente universal da biosfera. Sua capacidade de dissolver as substâncias permite que incontáveis reações ocorram na natureza formando novos compostos, permitindo a evolução da vida orgânica, resultando-nos diversos tipos de fenômenos naturais. A água é suporte básico para o desenvolvimento da vida, como é conhecida sobre a superfície da Terra.

A água é parte vital no desenvolvimento e na manutenção de todas as formas de vida da biosfera terrestre. Quando se verifica a seqüência dos processos evolutivos, percebe-se a importância inequívoca do recurso natural água, visto que a vida muito provavelmente se originou no meio aquoso, independente do recurso solo e do ar. A história do desenvolvimento da cultura humana sempre esteve associada ao controle dos elementos água e fogo. As civilizações, quase sempre debruçadas sobre os corpos de água, desenvolveram-se em função da sua capacidade de gerenciar a água. O ser humano associou a sua sedentarização nos aglomerados urbanos à necessidade de controle sobre os recursos naturais. A água como elemento estratégico, sempre preponderou nas tomadas de decisões que objetivassem o desenvolvimento econômico e cultural. As formas de gerenciamento privilegiaram, inicialmente, o enfoque da quantidade de água em função das necessidades imediatas das populações humanas e pela provável abundância irrestrita. O seu uso para abastecimento e irrigação antecedeu a preocupação com a qualidade, (Philippi Jr 2005).

A conformação espacial dos recursos hídricos das nascentes até o mar forma um sistema progressivamente mais complexo, tanto no aspecto natural, os corpos de água vão agregando-se e transformando-se ao longo de seu caminho pelas hidrográficas, que são territórios bem definidos circunscritos pelos divisores de água. Essas transformações são o resultado das interações da água com a geologia, o solo, a vegetação e a fauna dos lugares, promovendo alterações na sua quantidade e qualidade ao longo do percurso. As interações com a cultura humana agregam mais complexidade ainda aos recursos hídricos, pela capacidade de transformação que as atividades antrópicas podem promover nas suas variadas formas de apropriação dos recursos naturais. Essas transformações sócio-

ambientais do meio ambiente por meio de fontes diversas agrupadas em efluentes industriais e as cargas difusas urbanas e agrícolas. Todas essas modificações naturais e antrópicas condicionam as características da qualidade da água, (Philippi Jr., 2005).

A ocorrência de elementos químicos em quantidades variáveis se deve ao intemperismo físico e químico da rocha e dependem, principalmente, da composição das rochas que formam a crosta terrestre e dos processos geoquímicos que transportam e redistribuem esses elementos no ambiente geológico. A crosta terrestre é composta por elementos maiores e elementos-traço. Os elementos maiores constituem cerca de 99% da massa da crosta e são representados por oxigênio, silício, alumínio, ferro, cálcio, sódio, potássio, magnésio, titânio e fósforo. Os elementos-traço apresentam-se em pequenas quantidades nos minerais presentes nas rochas, normalmente em concentrações menores que 0,1%, (NAVFAC, 2003. Alloway, 1990, Siegel, 2002). Os elementos químicos podem ser classificados de várias formas e uma delas classifica o elemento como essencial ou não essencial para os seres vivos. Alguns elementos podem ser considerados essenciais tais como Na, K, Mg, Ca, V, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, MO, W. Os elementos que são considerados não essenciais são geralmente tóxicos aos organismos em baixos níveis e incluem Ag, Ad, Sn, Au, Hg, Tl, Pb, Bi, Al e também os metalóides As, Sb e Se. No entanto, os elementos essenciais em altas doses podem ser tóxicos (Templeton *et al.*, 2000, Warren & Haack, 2000).

Inserido na bacia do Rio Doce, a sub- bacia do Rio Piranga apresenta problemas como ocupação do solo de forma desordenada. Nas cidades e vilarejos esgoto e lixo são lançados nos cursos d'água ou em suas margens, na zona rural, da cobertura vegetal original, mais de 90% foi extinta (Mittermeier et alli, 1982; Fonseca, 1985 citado por CBH-Rio Doce), outros problemas encontrados na sub-bacia do Rio Piranga são a redução da recarga do lençol freático; os problemas de drenagem das estradas rurais; da produção de carvão, da extração de pedra e areia; o uso inadequado dos recursos naturais; a fiscalização ineficiente; a falta de mobilização da população e o desestímulo dos produtores rurais em relação ao cuidado com o meio ambiente. (Instituto Mineiro de Gestão das Águas - IGAM, 2007).

Associadas a estes, concentrações pontuais podem comprometer tanto qualitativa quanto quantitativamente os usos múltiplos do recurso na área estudada.

1.2 – OBJETIVOS

Este trabalho tem por objetivo analisar a qualidade da água e dos sedimentos do alto Rio Piranga, Minas Gerais com o intuito de determinar possíveis variações de origem antrópica e ocasionadas pela litologia da área. Dentro deste contexto, procurou-se atingir os seguintes objetivos específicos:

- Caracterização dos parâmetros físico-químicos das águas do Rio Piranga;
- Por meio de monitoramento sazonal de parâmetros físico-químicos, determinar a qualidade das águas do Rio Piranga e seus tributários, tais como: pH, turbidez, sulfato, cloreto e alcalinidade;
- Analisar os elementos metálicos dentro das águas e sedimentos do Rio Piranga e dos seus tributários;
- Determinar eventual contaminação por elementos metálicos, tanto nas águas como nos sedimentos, e, verificar se tais contaminações são antropogênicas ou naturais.

CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

2.1 – LOCALIZAÇÃO E ACESSO

O acesso ao Rio Piranga e seus tributários se dá pelo sistema viário do Vale do Rio Piranga, formado por duas Rodovias Federais (BR-120 e BR 262) e quatro Estaduais (MG 123, MG 262, MG 326 e MG 329), além de diversas Estradas Municipais.

2.2 - O MEIO NATURAL

O Rio Piranga esta inserido na bacia do Rio Doce e tem sua hidrografia composta por vários cursos d'água. A sub- bacia do Rio Piranga compartilha as mesmas características climáticas da bacia do Rio Doce, a forma de relevo, formação geológica, bem como o uso da terra e a cobertura vegetal.

2.2.1 – CLIMA

Segundo a classificação de Köppen, identificam-se basicamente três tipos climáticos na bacia, a saber: o clima tropical de altitude com chuvas de verão e verões frescos, presente nas vertentes das serras da Mantiqueira e do Espinhaço e nas nascentes do Rio Doce; o clima tropical de altitude com chuvas de verão e verões quentes, presentes nas nascentes de seus afluentes; e o clima quente com chuvas de verão, presentes nos trechos médio e baixo do Rio Doce e de seus afluentes.

2.2.2 - RELEVO

Considerando as diferenças altimétricas e os critérios de ordem lito - estrutural, segundo a Agência Nacional das águas (ANA, 2001), quatro grandes unidades geomorfológicas podem ser caracterizados na sub- bacia.

2.2.2.1 - Planaltos Dissecados do centro-sul e do leste de Minas

Corresponde a mais extensa unidade geomorfológica, ocupando cerca de 70% da área. É constituída predominantemente por formas de dissecação fluvial do tipo colinas, cristas, pontões e vales encaixados, elaboradas sobre rochas ácidas (granitos - gnaisses) do embasamento pré-cambriano.

2.2.2.2 - Depressão do Rio Doce

Ao longo do Rio Doce e seus afluentes encontra-se uma zona rebaixada, com altitudes variando de 250 a 500 m, configurando-se como uma depressão interplanáltica. O contato com as formas de relevo dos planaltos circundantes é muito bem marcado por desníveis altimétricos abruptos. No seu interior encontram-se elevações que são residuais dos Planaltos Dissecados do Centro-Sul e do Leste de Minas.

O piso da Depressão é constituído por rochas do complexo Gnáissico-Magmático-Metamórfico, predominando biotita-gnaise, rochas graníticas e graníto-gnáissicas, com algumas ocorrências de rochas do complexo Chamoquítico.

A Depressão se caracteriza por uma topografia de colinas com declividade média, planícies fluviais colmatadas, rampas de colúvio e lagos de barragem natural.

2.2.2.3 - Serra do Espinhaço

É uma unidade morfoestrutural que se caracteriza por um conjunto de relevos ruíniformes resultantes da atuação de processos de dissecação fluvial em rochas predominantemente quartzíticas do supergrupo Espinhaço e grupo Macaúbas.

Localiza-se na extremidade ocidental da área, funcionando como o divisor de águas das bacias dos Rios Doce, São Francisco e Jequitinhonha.

2.2.2.4 - Quadrilátero Ferrífero

É um conjunto de relevos acidentados, localizados na extremidade oriental da área. Apresenta altitudes elevadas, que variam de 1.000 a 1.700 m, sendo que na serra do Caraça atingem até 2.064 m.

Configura-se como unidade morfoestrutural onde a estrutura geológica exerceu um importante controle no processo de dissecação do relevo, no qual sobressaem os alinhamentos de cristas com vales encaixados e vertentes ravinadas.

Encontram-se no Quadrilátero Ferrífero algumas das nascentes do Rio Piracicaba, um dos principais afluentes do Rio Doce.

2.2.3 - USO DA TERRA E COBERTURA VEGETAL

Originalmente coberta por Mata Atlântica, a intensa devastação restringiu o revestimento florístico originário basicamente à área do Parque Estadual do Rio Doce. As demais matas correspondem a uma vegetação que sofreu influência antrópica intensa, constituindo-se em vegetação secundária. Estima-se que menos de 7% da área possui hoje cobertura vegetal (Fonseca, 1983 e 1985, citado em UFMG/PADCT, 1997). Destes, menos de 1% encontra-se em estágio primário (Mittermeier *et al.*, 1982; Fonseca, 1985 – citado em UFMG/PADCT, 1997).

Segundo pesquisas, realizadas pela Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais - CETEC, 95% das terras da bacia constituem pastos e capoeiras, demonstrando a predominância da atividade pecuária. As espécies mais difundidas na formação de pastagens são o capim gordura (*Melinis minutiflora*) em áreas situadas acima da cota altimétrica de 800 m e o colômbio (*Panicum maximum*) abaixo dessa altitude.

As florestas plantadas, constituídas principalmente por espécies do gênero *Eucalyptus*, são expressivas no médio Rio Doce. Quase todos os reflorestamentos pertencem às siderúrgicas Acesita e Belgo Mineira ou à Cenibra, produtora de celulose. Os campos e áreas cultivadas apresentam-se em menores proporções.

Devido às características dos solos da bacia do Rio Doce e ao manejo inadequado, a erosão tem se tornado um dos maiores problemas ambientais na região.

2.3 - CONTEXTO GEOLÓGICO

As condições geológicas do Estado de Minas Gerais fazem dele uma área de jazimentos em potencial de quase todos os minerais existentes no país. Os principais elementos metálicos ocorrentes no Estado são notadamente: berílio, cádmio, urânio, prata, arsênio, alumínio, zinco, cobre, chumbo, estanho, níquel, manganês, e principalmente ouro

e ferro, lembrando as palavras do fundador da Escola de Minas Hery Gorceix, que definiu Minas Gerais como o estado com o peito de ferro e o coração de ouro. Além dessas riquezas, importantes minas de outros recursos minerais situam-se em solos mineiros, como, por exemplo: mármore, calcário, caulim, quartzo, topázio, turmalina, água marinha e outras pedras preciosas, e, finalmente, diamante,

2.3.1 - CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA

A área estudada posiciona-se ao Sul Quadrilátero Ferrífero, que contém os maiores depósitos de Fe do mundo. Pelo mapa pode-se observar que a geologia da área é constituída por unidades de Granitóides (Suíte Ressaquinha, Granito Alto Maranhão) e por rochas do Super-grupo Rio das Velhas, grupo Nova Lima (de composição principalmente máfica / ultramáfica). Todos estes pertencentes à Província São Francisco.

O Rio Piranga localiza-se na extremidade ocidental da área, funcionando como o interflúvio das bacias dos Rios Doce, São Francisco e Jequitinhonha. Em termos da litologia da área, dominam rochas ácidas intermediárias, as quais são conhecidas por não terem maiores concentrações em elementos calcófilos, como Pb, Zn, Cu, Hg, Cd, As, várias vezes discutidos como “metais pesados”, os quais causam freqüentemente problemas ambientais

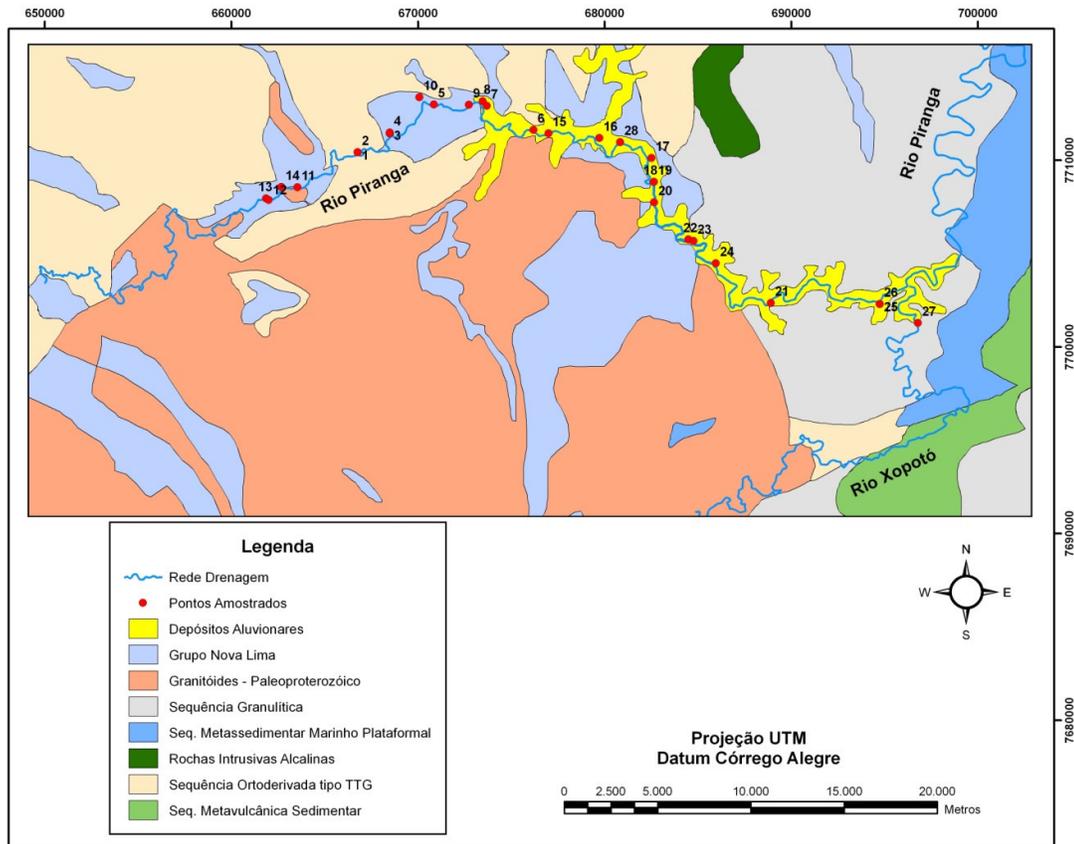


Figura 2.1: Mapa indicando as formações geológicas da região do Alto Rio Piranga.

2.3.1.1 – O grupo Nova Lima

O grupo Nova Lima é constituído predominantemente por rochas metavulcânicas ultramáficas, máficas. Como tipos subordinados no grupo aparecem ainda a formação ferrífera laminada, que é constituída por camadas alternadas de quartzo e carbonato de Fe (siderito) e magnetita. Além disso, ocorrem grauvacas, rochas quartzo-anqueríticas maciças em camadas expressas, quartzitos sericíticos e conglomerados xistosos. Estas rochas subordinadas formam geralmente camadas descontínuas ou lentes nos xistos e filitos (Dorr II *et al* 1957 citado por de Jesus 2002).

2.3.1.1.1 – Complexo Ressaquinha

Esse complexo aflora na porção sudoeste da área pesquisada e extravasa os limites sul e oeste da mesma e parece correlacionar-se aos granitóides das imediações de Congonhas do Campo, Conselheiro Lafaiete e sul de Itaverava (Grossi *et al* 1983).

O complexo Ressaquinha é constituído por granitóides de composição diorítica a tonalítica que se caracterizam pela alta porcentagem de plagioclásio, anfibólio e relativamente pequena porcentagem de quartzo. Também ocorrem como minerais máficos os clinopiroxênios. Quando muito deformado apresenta-se como gnaisse bandado (de Jesus 2002).

Os métodos aplicados durante o trabalho podem ser separados em dois grupos:

1. Trabalhos realizados no campo, e
2. Trabalhos efetivados nos Laboratórios.

Fizeram parte dos trabalhos de campo a amostragem e as medidas físico-químicas *in situ*. Já nos Laboratório foram realizadas as preparações das amostras para as análises químicas, determinados parâmetros físico-químicos adicionais e finalmente analisados os elementos metálicos tanto das águas como dos sedimentos.

Os pontos de amostragem foram definidos durante a primeira campanha de coleta, sendo repetidos em posterior campanha, exceto o ponto de amostragem RGRP 7, onde não houve segunda coleta devido à dificuldade de acesso.

3.1 – DEFINIÇÃO DOS PONTOS DE AMOSTRAGEM

Os pontos de amostragem da água, do sedimento de fundo de corrente e do solo foram determinados ao longo da primeira campanha de coleta, considerando-se as condições favoráveis à coleta, assim como o acesso, possibilidade da amostragem, decurso do rio e exultórios das bacias. Foram selecionados 28 pontos de amostragem, sendo 14 ao longo do Rio Piranga e 14 em seus tributários.

Cada ponto de amostragem foi definido pelas suas coordenadas com o auxílio de GPS (Global Positioning System - Sistema de Posicionamento Global), e, identificados estes pontos nos mapas geográficos. Foram coletadas 4 amostras de solo a fim de se verificar correlação de teores dos elementos Al, Ca, Fe, K, Mg e Mn no solo e sedimento.

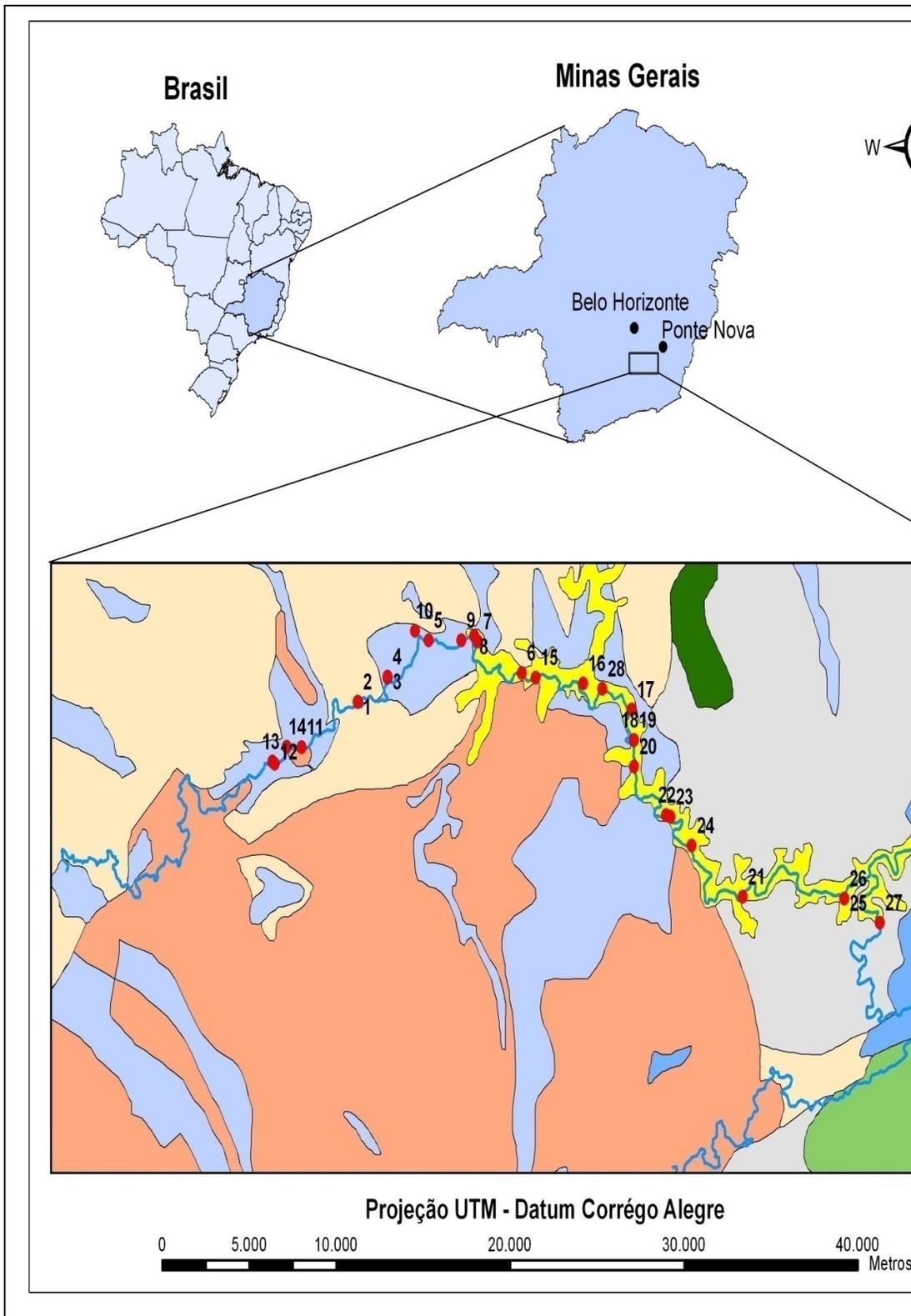


Figura 3.1: Localização dos pontos de amostragem. Modificado segundo Torres, 2007).

Para identificar as amostras de água, sedimento e solo, antepuseram-se as letras RGRP e o número do ponto de amostragem.

Foram realizadas duas campanhas de amostragem, de setembro de 2006 a março de 2007 (representando verão) e de julho a agosto de 2007 (representando inverno). O material coletado, a localização e a nomenclatura usada encontram-se na Tabela 3.1.

As coordenadas UTM dos pontos de amostragem são apresentados no Anexo I.

Na primeira campanha, foi coletado um total de 60 amostras (28 de água, 28 de sedimento e 4 de solo), no Rio Piranga e tributários.

Na segunda campanha, foram coletadas 54 amostras (27 de água e 27 de sedimento), no Rio Piranga e tributários.

Tabela 3.1 – Nomenclatura, localização, campanha e material coletado.

Coleta de água, sedimento de corrente e solo.						
Nomenclatura	Localização	Campanhas		Material coletado		
Amostras		Verão	Inverno	Água	Sedimento	Solo
RGRP 13	Rio Piranga	X	X	X	X	
RGRP 12	Congo Cruzeiro/ Gonçalves	X	X	X	X	
RGRP 14	Córrego Falhado	X	X	X	X	
RGRP 11	Rio Piranga	X	X	X	X	
RGRP 1	Rio Piranga	X	X	X	X	
RGRP 2	Córrego Mamão	X	X	X	X	
RGRP 3	Rio Piranga	X	X	X	X	
RGRP 4	Ribeirão Itapetinga	X	X	X	X	X
RGRP 10	Córrego Piçarra	X	X	X	X	X
RGRP 5	Rio Piranga	X	X	X	X	
RGRP 9	Rio Piranga	X	X	X	X	
RGRP 8	Tributário	X	X	X	X	
RGRP 7	Tributário	X	*	X	X	X
RGRP 6	Rio Piranga	X	X	X	X	X
RGRP 15	Rio Piranga	X	X	X	X	
RGRP 16	Ribeirão Pirapetinga	X	X	X	X	
RGRP28	Rio Piranga	X	X	X	X	
RGRP 17	Córrego Bicudo	X	X	X	X	

Continuação Tabela 3.1 – Nomenclatura, localização, campanha e material coletado.

Nomenclatura	Localização	Campanha		Material coletado		
		Verão	Inverno	Verão	Inverno	Solo
RGRP 18	córrego tributário	X	X	X	X	
RGRP 19	Rio Piranga	X	X	X	X	
RGRP 20	Rio Piranga	X	X	X	X	
RGRP 22	Rio Piranga	X	X	X	X	
RGRP 23	córrego "sem nome"	X	X	X	X	
RGRP 24	Córrego Cachoeira do Jurumirim	X	X	X	X	
RGRP 21	Rio Piranga	X	X	X	X	
RGRP 25	Córrego Catas Altas	X	X	X	X	
RGRP 26	Rio Piranga	X	X	X	X	
RGRP 27	Rio Xopotó	X	X	X	X	

* Neste tributário efetuou-se coleta apenas no verão.

3.2 - PREPARAÇÃO DO MATERIAL DE COLETA

No Laboratório, os frascos plásticos de 50 mL e 1.000 mL, a serem utilizados para coleta de água, foram lavados da seguinte forma: 1 x água de torneira → 2 x água destilada → 1 x água deionizada → colocados para secar em estufa, bem como suas respectivas tampas. Depois de secos, foram cuidadosamente fechados, sendo abertos apenas no momento da coleta.

Os sacos plásticos utilizados para coleta de sedimento e solo não necessitaram de preparação prévia.

3.3 – COLETA

3.3.1 – Água

As amostragens de água foram realizadas com todo o cuidado necessário para não contaminar as amostras, seguindo a metodologia proposta por Agudo *et al* (1987), tais

como coleta contra a corrente, fazendo-se ambiente três vezes com a água do Rio, as amostras de água foram coletadas sempre antes da amostra de sedimento, para evitar excesso de sólidos em suspensão.

Dois tipos de amostradores foram utilizados, dependendo da facilidade de coleta da água. Nas áreas onde o acesso era suspenso, (caracterizado pela presença de ponte) foi utilizado amostrador vertical tipo *Limmus* com capacidade de 2,5 L. Onde o acesso era possível pela margem do rio, foi utilizado frasco com capacidade de 2,0 L, acoplado a uma haste.

Em cada ponto as amostras foram distribuídas em dois frascos:

- um de 1.000 mL, utilizada para determinar a alcalinidade, a turbidez, o teor de sulfato e o teor de cloreto.
- outro, em frascos de 50 mL, filtrada com membrana de 0,45 µm, a fim de separar o material particulado dos elementos solúveis, a qual foi acidificada com ácido nítrico concentrado (HNO₃ 65% p/p) para evitar troca iônica e precipitação dos hidróxidos, que se usou para determinar os metais traço (Parra, 2006, Greenberg *et al.*, 1992 citados por Guimarães, 2005).

3.3.2 – Sedimento

Os sedimentos de corrente foram coletados através da utilização de três equipamentos, de acordo com o acesso. Nas áreas com acesso suspenso (caracterizado pela presença de ponte), foi utilizada draga de *Birge-Ekman*. Nos outros pontos, sem acesso suspenso, a coleta foi realizada com auxílio de um tubo de PVC a aproximadamente 1m da margem, fazendo-se perfuração com inclinação de 45°. Em casos de acesso mais complicado, foi utilizado um amostrador próprio, construído na forma de uma concha de aço inoxidável, fixado no ponto de um bastão de cerca de 3 m de comprimento.

Cada amostra fora devidamente identificada e acondicionada em saco plástico.

3.3.3 – Solo

Foram coletadas quatro amostras aleatórias de solo. Tais amostras foram desagregadas da superfície com auxílio de um martelo de geólogo, sendo recolhidas em

sacos plásticos, devidamente identificados e transportados para do Laboratório de Geoquímica Ambiental (LGqA), do Departamento de Engenharia Geológica (DEGEO).

3.4 – MEDIÇÕES *IN SITU*

Para a determinação da influência antrópica na qualidade da água e sedimentos do Rio Piranga, realizou-se levantamento dos parâmetros físico-químicos da água, na campanha 2, pH, temperatura, a condutividade elétrica e os sólidos dissolvidos (TDS) usando o UTRAMETER™ 6P. Durante a primeira campanha não foi possível o seu uso, pois tal equipamento ainda não estava disponível.

3.5 – ANÁLISES EM LABORATÓRIO

3.5.1 – Água

No LGqA do DEGEO, foram realizadas determinações de alcalinidade e cloreto por titulometria, sulfato e a turbidez, pelo método turbidimétrico, utilizando-se Turbidímetro marca Micronal, modelo B250. AS análises seguiram o Procedimento Operacional Padrão (POP) do LGqA, baseado nas metodologias propostas por Greenberg *et al.* (1992), no *Standard methods for examination of water and wastewater* (Parra, 2006).

Para determinação de cloreto e sulfato, as amostras foram previamente filtradas utilizando membrana de 45µm, a fim de evitar influência do material particulado na análise (Guimarães, 2005).

3.5.1.1 - Método titulométrico

Para a determinação da alcalinidade, foram pipetados 100mL das amostras em erlenmeyeres de 250mL aos quais foram adicionados 3 gotas de fenoftaleína e 3 gotas de metilorange. A solução foi titulada com ácido sulfúrico 0,01mol/L. O ponto de “viragem” se deu com a mudança de cor de transparente para vermelho-laranja.

Para as determinações de cloreto, foram colocadas 100mL de cada amostra em erlenmeyeres de 250mL, utilizando uma pipeta volumétrica, onde foi adicionado 1mL de cromato de potássio. A solução foi titulada com nitrato de prata. O ponto de “viragem” se deu com a mudança de cor para castanho-avermelhado.

3.5.1.2 - Método turbidimétrico

Para a determinação das concentrações de sulfato, foram colocados 100mL de cada amostra em erlenmeyeres de 250mL utilizando uma pipeta volumétrica. Na seqüência foram pipetados 20mL da solução tampão de ácido sulfúrico 0,02 N e adicionadas 2g de cloreto de bário. Após agitação durante 2 minutos as amostras foram levadas para leitura no turbidímetro.

3.5.1.3 – Análise química

Teores de metais e metalóides como Al, As, Ba, Be, Ca, Cd, Cr, Cu, Fe, K, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, Pb, Sn, Ti, V e Zn foram determinados por Espectrofotômetro de Emissão Atômica com Fonte de Plasma Indutivamente Acoplado (ICP-EOS), marca SPECTRO/ modelo *Ciros* CCD em operação no LGqA/DEGEO/UFOP.

3.5.2 – PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS DE SEDIMENTO E SOLO

3.5.2.1 – Sedimento

No Laboratório de Geoquímica Ambiental (LGqA), as amostras foram colocadas em bacias plásticas para secagem. As amostras foram secas em capela utilizando lâmpadas de 200W para manter o aquecimento em torno de 40°, (Förstner 2004 citado por Guimarães 2005).



Figura 3.2: Amostras em estágio de secagem.

Após a secagem, as amostras de sedimento foram quarteadas, em seguida peneiradas no Laboratório de Sedimentologia do DEGEO, utilizando-se peneiras com malhas *35 mesh*, *70 mesh*, *100 mesh*, *230 mesh*, e *> 230 mesh*, obtendo-se frações granulométricas 500 μ m, 210 μ m, 149 μ m, 63 μ m e < 63 μ m. Como se trata de um estudo ambiental a fração menor que 63 μ m foi utilizada para as análises químicas das amostras de sedimento, considerando que vários estudos indicam que os metais e metalóides estão preferencialmente associados às frações mais finas (Förstner 2004; Förstner & Whittman 1981 citado por Parra 2006).

A fração a ser utilizada para a análise química por digestão total é levada à estufa por duas horas a fim de se garantir a sua secagem.

3.5.2.2 – Solo

As amostras de solo foram desagregadas usando gral de porcelana, quarteadas, em seguida peneiradas utilizando peneiras com malhas *35 mesh*, *70 mesh*, *100 mesh*, *230 mesh*, e *> 230 mesh*, obtendo-se frações granulométricas 500 μ m, 210 μ m, 149 μ m, 63 μ m e < 63 μ m. A fração menor que 63 μ m foi utilizada para as análises químicas das amostras de sedimento, considerando que vários estudos indicam que os metais e metalóides estão preferencialmente associados às frações mais finas (Förstner 2004; Förstner & Whittman 1981 citado por Guimarães 2005).

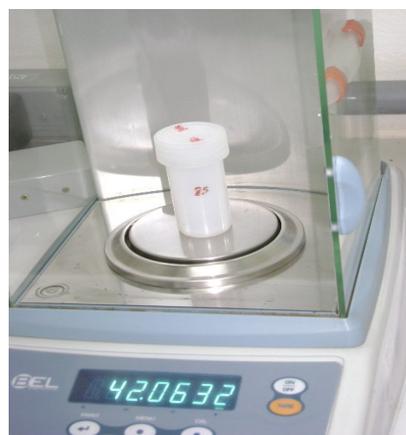
A fração a ser utilizada para a análise química digestão total é levada à estufa por duas horas a fim de se garantir a sua secagem.

3.5.3 – ANÁLISES QUÍMICAS

Para a digestão das amostras de sedimento e solo foi utilizado o método digestão total utilizando água régia e ácido fluorídrico (Moutte 2003 citado por Guimarães 2005). As amostras de sedimento e solo foram analisadas por Espectrofotômetro de Emissão Atômica com Fonte de Plasma Indutivamente Acoplado (ICP-EOS), marca SPECTRO/ modelo *Ciros* CCD em operação no LGqA/DEGEO/UFOP.

3.5.3.1 – Digestão total

Na digestão total, depois de peneiradas e secas em estufa, pesou-se cerca de 250mg de amostra, no interior de frascos Savillex de peso conhecido.



Figuras 3.3 e 3.4. Instrumentos utilizados na pesagem de amostras.

Em seguida, foram adicionados 3mL de ácido clorídrico 10 ml/L seguido de 1mL de ácido nítrico 10mol/L, o frasco aberto com a mistura foi levado à secagem sobre placa aquecedora a uma temperatura de 100°C. Após a secagem, foram adicionados 2mL de ácido fluorídrico concentrado, o frasco aberto foi levado à secagem sobre placa aquecedora à 140°C. Novamente, foram adicionados 2mL de ácido fluorídrico concentrado, o frasco foi fechado e colocado sobre placa aquecedora á 140°C por cerca de 30 horas. Após as trinta horas, o frasco foi retirado da placa, resfriado e aberto; em seguida recolocado sobre a placa aquecedora à cerca de 110°C até a secagem. Foram adicionados 2mL de ácido nítrico 10mol/L e o frasco aberto colocado sobre a placa aquecedora até sua secagem à cerca de 110°C.



Figura 3.5: Amostras secas, em fase de preparação para análise por ICP-EOS.

Novamente foram adicionados 2mL de ácido nítrico 10mol/L e o frasco aberto colocado sobre a placa aquecedora à temperatura constante de 110°C até sua secagem. O frasco foi retirado da chapa aquecedora e adicionado 25mL de ácido clorídrico 2mol/L. o frasco foi fechado e após agitação foi colocado sobre a placa aquecedora à cerca de 100°C por duas horas. Após o resfriamento, o frasco foi pesado em balança analítica, a mostra transferida para frasco de 50mL e em seguida analisada por Espectrofotômetro de Emissão Atômica com Fonte de Plasma Indutivamente Acoplado (ICP-EOS), marca SPECTRO/ modelo *Ciros* CCD em operação no LGqA/DEGEO/UFOP.



Figura 3.6: Amostras preparadas para análise por ICP-EOS.

Frascos de 50mL, de polietileno

HIDROGEOQUÍMICA

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A qualidade das águas depende das condições geológicas e geomorfológicas, da cobertura vegetal da bacia de drenagem, do comportamento dos ecossistemas e de águas doces e das ações do homem (Tucci *et al.* 2001), pode ser representada através de diversos parâmetros, que traduzem as principais características físicas, químicas e biológicas, (von Sperling, 1996).

Os resultados das análises físico-químicas, constituintes primários e secundários das águas do alto Rio Piranga e seus tributários, são apresentados nos anexos IV, V e VI.

4.1 - PROPRIEDADES FÍSICAS

4.1.1 - Temperatura

É a medição da intensidade de calor, tem por origem natural a transferência de calor por irradiação, condução e convecção (atmosfera e solo), e por origem antropogênica as águas de torres de resfriamento e despejos industriais (von Sperling, 1996).

A temperatura da água influencia processos biológicos, reações químicas e biológicas. Os efeitos danosos à flora e fauna aquática provocados pelo aumento da temperatura nos corpos d'água são indiretos, já que, um aumento de temperatura implica na maior movimentação dos seres aquáticos com conseqüente aumento no consumo de oxigênio dissolvido (Derisio, 1992). A temperatura é inversamente proporcional à solubilidade de gases, de modo que quanto maior é a temperatura da água, menor é a sua capacidade de reter gases (von Sperling, 1996).

Nos tributários do Rio Piranga a temperatura variou entre 19,4°C a 26°C durante o verão e 15,2°C a 20,9°C durante o inverno. A temperatura das águas do Rio Piranga apresentou variação entre 21°C e 25,5°C durante o verão, sendo a temperatura média em torno de 24,5°C. Durante o inverno, a temperatura média foi de 18,1°C, com uma variação entre 15,8°C e 20,8°C.

4.1.2. – Turbidez

A turbidez representa o grau de interferência com a passagem da luz através da água, conferindo aparência turva à mesma (von Sperling, 1996). Esta interferência é provocada pelos sólidos em suspensão tais como silte, argila, matéria orgânica, substâncias orgânicas finamente divididas e organismos microscópicos, que sujam a água (Derísio, 1992 citado por Parra 2006, Santos, 1997). A turbidez é medida com o turbidímetro e os valores são dados em FTU (Unidade de Turbidez em Formazina) ou em UNT (Unidade Nefelométrica de Turbidez), (Santos, 1997).

A principal fonte natural da turbidez é o aporte de partículas de rocha, argila e silte. Dentre as principais fontes antropogênicas estão a erosão e os despejos domésticos, industriais e de mineração (von Sperling, 1996). A turbidez é uma característica das águas correntes, sendo em geral baixa nas dormentes (Derísio, 1992).

Os esgotos sanitários e diversos efluentes industriais também provocam elevações na turbidez das águas. Um exemplo típico deste fato ocorre em consequência das atividades de mineração, onde os aumentos excessivos de turbidez têm provocado formação de grandes bancos de lodo em Rios e alterações no ecossistema aquático, (CETESB, 2008)

No verão, nos tributários do Rio Piranga, a turbidez apresentou valores entre 2,8 FTU e 16,0 FTU, e, a turbidez no Rio Piranga apresentou valores entre 4,3 FTU e 14,0 FTU. Durante o inverno a turbidez nos tributários do Rio Piranga variou entre 1,2 FTU, e, 6,2 FTU e no Rio Piranga houve variação entre 4,2 FTU e 6,1 FTU. (Figura 4.1)

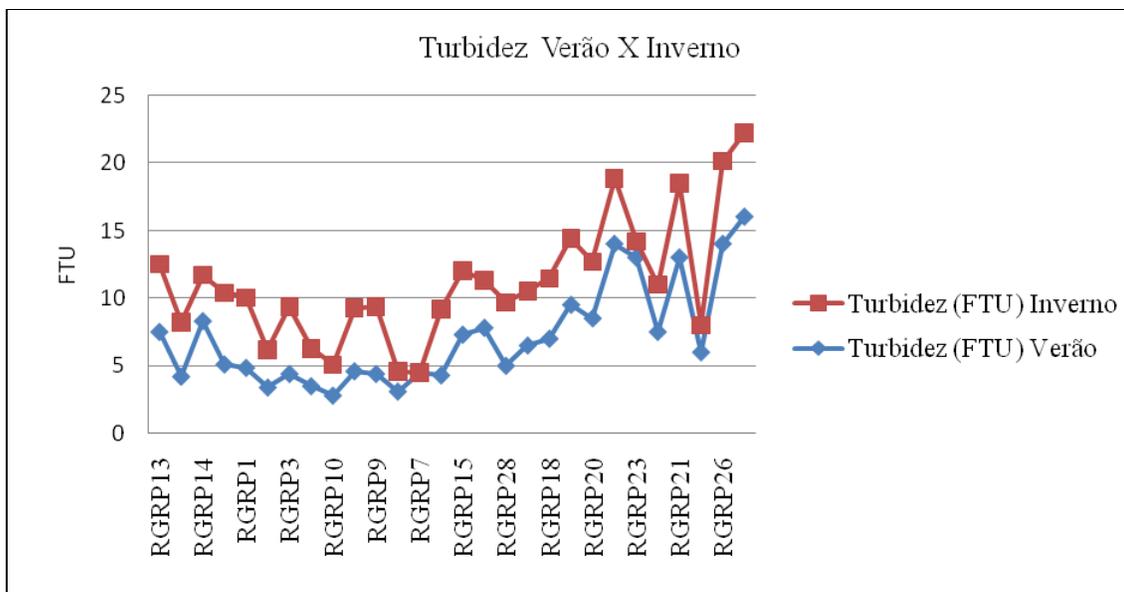


Figura 4.1 – Gráfico evidenciando a variação da turbidez nas águas do Rio Piranga e tributários durante o verão e o inverno.

4.2 – PROPRIEDADES IÔNICAS

4.2.1 – Condutividade elétrica da água

A condutividade elétrica de uma solução é a capacidade desta em conduzir a corrente elétrica. Considera-se que a capacidade de uma solução em conduzir a corrente elétrica é função da concentração dos íons presentes, é de se esperar que em soluções de maior concentração iônica, maior será a condutividade elétrica. Por outro lado, em águas muito puras ocorre o fenômeno inverso: maior será a resistência e menor a condutividade, (Esteves, 1998).

A condutividade aumenta com a elevação da temperatura, (Santos, 1992)

4.2.2 – Potencial Hidrogeniônico (pH)

Representa a concentração de íons hidrogênio (H^+) em escala logarítmica, dando uma indicação sobre a condição de acidez ($pH < 7$), neutralidade ($pH = 7$) ou alcalinidade da água ($pH > 7$), (von Sperling, 1996).

A influência do pH sobre os ecossistemas aquáticos naturais dá-se diretamente devido a seus efeitos sobre a fisiologia das diversas espécies. Também o efeito indireto é muito importante podendo, determinadas condições de pH contribuir para a precipitação

de elementos químicos tóxicos como metais pesados; outras condições podem exercer efeitos sobre as solubilidades de nutrientes. Desta forma, as restrições de faixas de pH são estabelecidas para as diversas classes de águas naturais, de acordo com a legislação federal (Resolução nº 357 do CONAMA, de junho de 2005). Os critérios de proteção à vida aquática fixam o pH entre 6 e 9 (CETESB, 2005)

No Rio Piranga, o pH apresentou valores entre 6,94 e 8,14 durante o verão. No inverno, nota-se decréscimo, com exceção dos pontos 19 e 20, apresentando valores entre 6,28 e 7,3.

Nos tributários do Rio Piranga o pH apresentou valores entre 6,75 e 8,35 durante o verão. No inverno apresentou valores entre 6,28 e 7,28, com acentuado decréscimo, exceto no ponto 13, localidade de Pau Grande, onde houve ligeira elevação. (Figura 4.2)

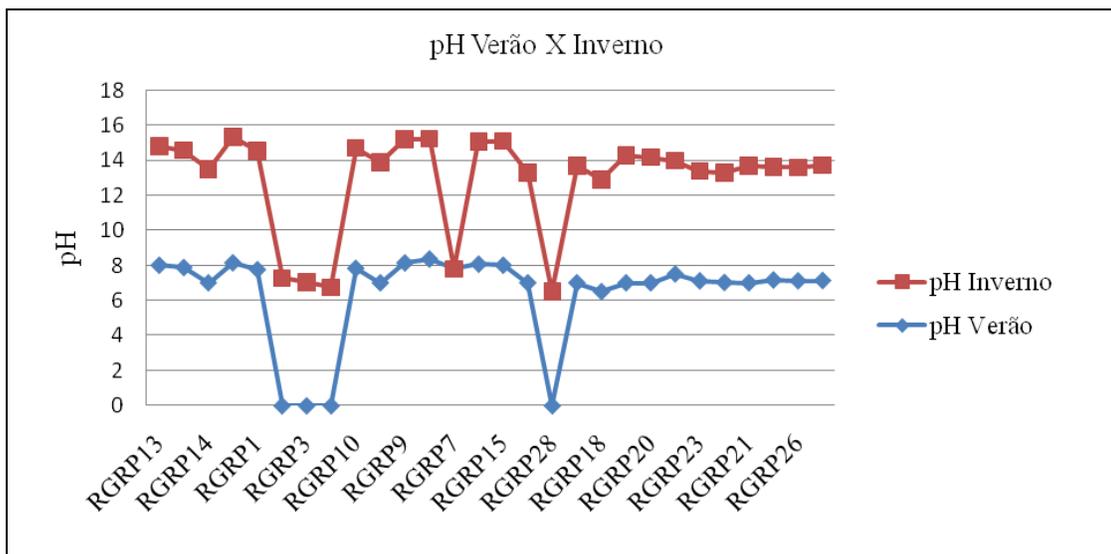


Figura 4.2 – Gráfico evidenciando a variação de pH nas águas do Rio Piranga e tributários durante o verão e o inverno.

4.3 - CONSTITUENTES IÔNICOS PRINCIPAIS:

São considerados íons principais aqueles que estão quase sempre presentes nas águas, e cuja soma representa a quase totalidade de íons dissolvidos. Entre eles podem-se citar os cátions de sódio, potássio, cálcio e magnésio e o ânions cloreto, sulfato e bicarbonato (IGAM 2005).

Vários fatores podem influenciar na composição iônica dos corpos d'água, como geologia da área de drenagem dos tributários, geologia da bacia de acumulação e regime de chuvas. Em regiões com baixa precipitação e predominância de rochas magmáticas, a composição iônica da água é, em geral, determinada por produtos de intemperismo destas rochas. Por outro lado, em regime de alta pluviosidade e predominância de rochas sedimentares, a composição iônica da água é determinada pela composição das rochas, ou seja, pela geologia da bacia de drenagem (Hutchinson 1957 citado por Esteves , 1998).

4.3.1 – CÁTIOS

4.3.1.1 – Cálcio (Ca⁺⁺) e Magnésio (Mg⁺⁺)

O cálcio é o quinto maior elemento em ordem de abundância na crosta terrestre. A presença de cálcio em águas é resultado da sua passagem através de litologias, contendo calcáreos, mármore, depósitos de sulfatos de Ca, e áreas com rochas feldspáticas. Pois as principais fontes de cálcio na crosta terrestre são os minerais contendo cálcio, em primeiro lugar os carbonatos, sulfatos de Ca (gipsita e anidrita), mas também minerais silicáticos como os feldspatos (plagioclásios), (von Sperling, 1996).

As concentrações de cálcio em águas podem variar entre 0 µg/mL à >100µg/mL, dependendo da fonte. A presença do cálcio contribui para a dureza da água. Apresenta-se, em geral, sob a forma de bicarbonato e raramente como carbonato (Santos, 1997, Greenberg, 1992).

No Rio Piranga, durante o verão, as concentrações de cálcio apresentaram variações entre 2,83µg/mL e 3,76µg/mL. No inverno a variação da concentração ficou entre 2,304µg/mL e 2,955µg/mL.

Nos tributários, durante o verão as concentrações de cálcio apresentaram variações entre 1,805µg/mL e 2,853µg/mL . No inverno a variação ficou entre 1,236µg/mL e 2,2364µg/mL. (Figura 4.3)

As concentrações do cálcio, na sub-bacia, sofreram redução na estação seca.

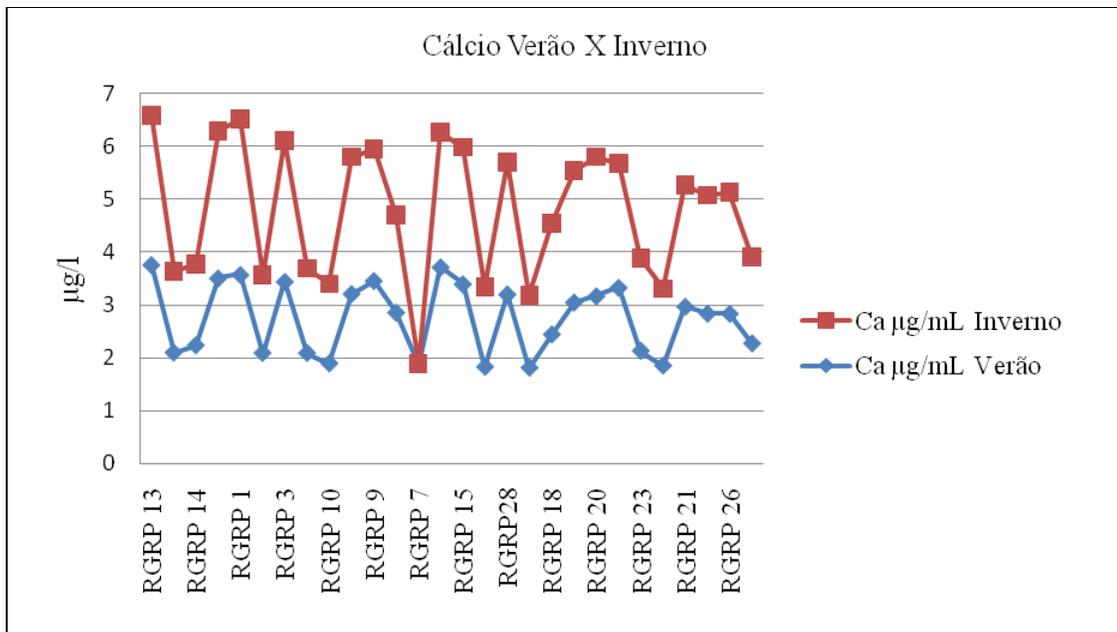


Figura 4.3 – Gráfico evidenciando a variação do cálcio nas águas do Rio Piranga e tributários durante o verão e o inverno.

Semelhante ao cálcio, o magnésio é um elemento litófilo importante, aparecendo com 2,1% na crosta terrestre, e, se colocando assim entre os dez elementos mais importantes da crosta, mais especificamente como o oitavo elemento em ordem de abundância.

Como o cálcio, o magnésio contribui significativamente para a dureza das águas. Sob temperaturas elevadas Mg pode precipitar-se causando incrustações em tubulações de água quente, caldeiras e aquecedores. A concentração de magnésio varia geralmente de zero a alguns 100 mg/L, dependendo da fonte e do tratamento da água (Greenberg *et al.*, 1992).

No Rio Piranga, durante o verão, as concentrações de magnésio apresentaram variações entre 1,278µg/mL e 1,645µg/mL. No inverno a variação ficou entre 1,156µg/mL e 1,436µg/mL.

Nos tributários, durante o verão as concentrações de magnésio apresentaram variações entre 0,781µg/mL e 1,427µg/mL. No inverno a variação ficou entre 0,723µg/mL e 1,361µg/mL.

A concentração do magnésio na sub- bacia sofreu queda na estação seca, com uma exceção, o ponto de amostragem 23, próximo da Fazenda Baia, onde a concentração no

verão foi de 1,141µg/mL e no inverno 1,176µg/mL, apresentando assim elevação. (Figura 4.4)

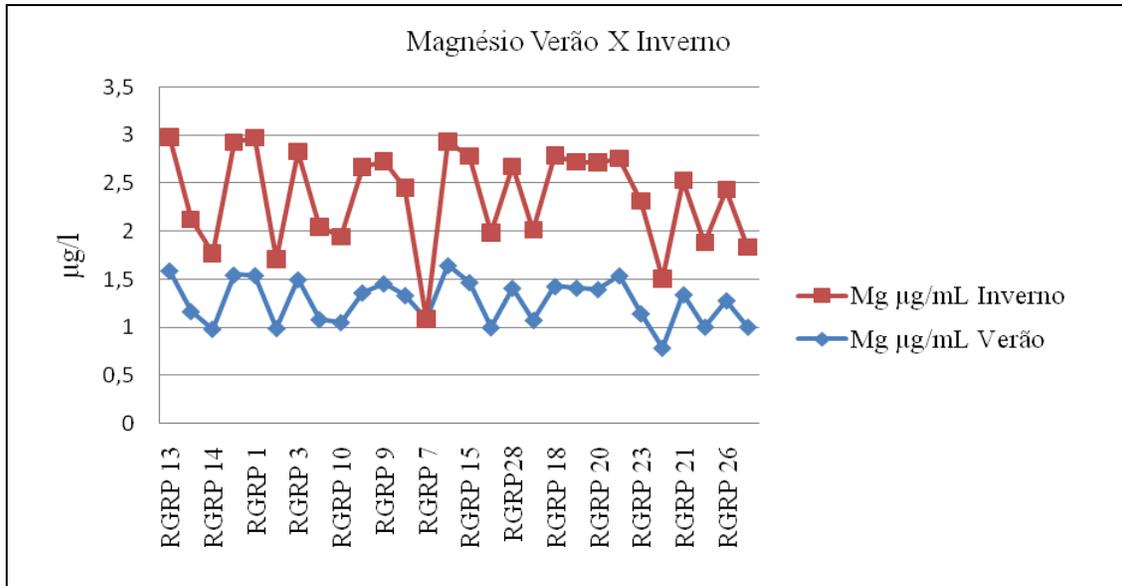


Figura 4.4 – Gráfico evidenciando a variação do magnésio nas águas do Rio Piranga e tributários durante o verão e o inverno.

4.3.1.2 – Ferro (Fe⁺⁺)

A origem natural do ferro em águas é resultado da dissolução de compostos do solo (von Sperling, 1996). Os minerais ferromagnesianos, como os silicatos piroxênios, anfibólios e biotita, os carbonatos siderita e ancerita, os óxidos e hidróxidos hematita, magnetita e goethita, dos diversos litotipos (rochas – solos – sedimentos) são os principais portadores de ferro (Santos, 1997).

O ferro pode estar presente em baixos teores (<0,3 mg/L) em quase todas as águas e ocorre sob diversas formas químicas e, freqüentemente, aparece associado ao manganês. Este comportamento geoquímico, causado entre outras pelos raios iônicos e características semelhantes, observa-se também nas rochas onde ferro mostra afinidade com manganês cálcio e magnésio (carbonatos – piroxênios - olivinas). Ocorre em sedimentos e solos principalmente sob a forma de Fe⁺³ (hidróxido férrico), em rochas muitas vezes como Fe⁺² (hidróxido ferroso). Formas mistas são minerais como magnetita (Fe₃O₄ = FeO * Fe₂O₃). Ferro no estado ferroso, é instável na presença do oxigênio do ar, quando a água que o contém entra é exposta ao oxigênio do ar, os íons ferrosos oxidam-se tornando-se férricos (Santos, 1997).

Nas águas superficiais, o nível de ferro aumenta nas estações chuvosas devido ao carregamento de solos e a ocorrência de processos de erosão das margens, (CETESB, 2008)

Nos tributários do Rio Piranga, o ferro apresentou teores entre 240,4µg/L e 978µg/L durante o verão. No inverno os teores deste elemento estiveram entre 262,3µg/L e 941µg/L. No ponto 8, o teor de ferro no inverno apresentou concentração maior do que no verão.

No Rio Piranga, as concentrações de ferro dissolvido estiveram na ordem de 450,9µg/L e 1039µg/L no verão. Durante o inverno os teores foram menores, estando na ordem de 278,9µg/L e 541µg/L. (Figura 4.5)

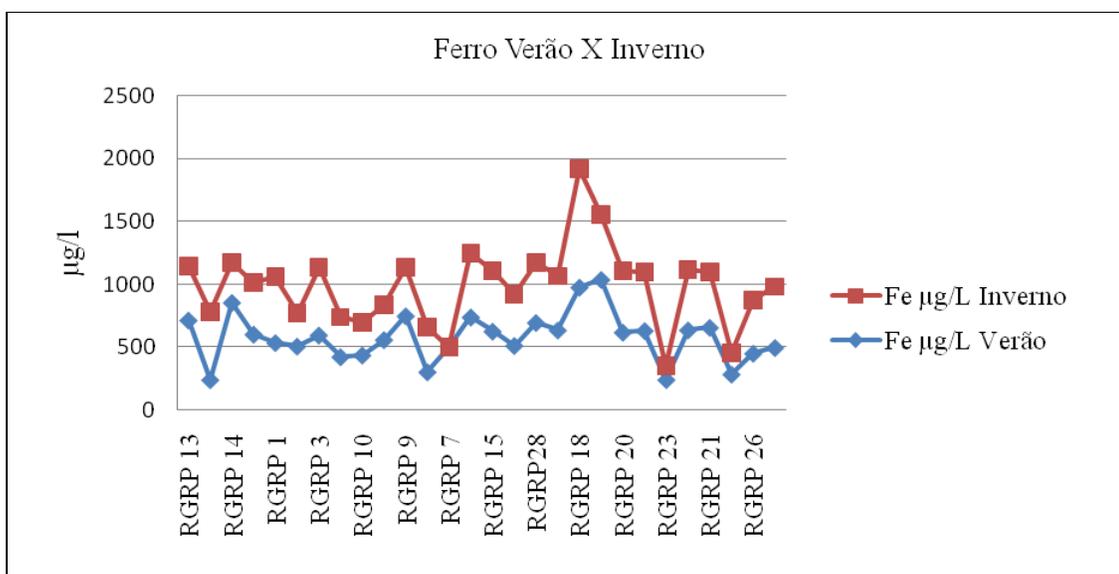


Figura 4.5 – Gráfico evidenciando a variação da concentração do ferro nas águas do Rio Piranga e tributários durante o verão e o inverno.

4.3.1.3 - Potássio (K⁺)

O potássio é o sétimo maior elemento em ordem de abundância na crosta terrestre. Em águas naturais, ocorre em quantidades menores do que o sódio, devido à sua participação intensa em processos de troca iônica, além da facilidade de ser absorvido pelos sais minerais de argila. Além disso, os sais são bastante utilizados pelos vegetais, sendo o potássio ao lado do sódio e fósforo, um dos elementos nutritivos principais da flora (Greenberg, 1992, Santos, 1997).

O potássio ocorre principalmente nos feldspatos potássicos, micas e leucitas, em rochas ígneas e metamórficas. Altas concentrações de potássio podem ser encontradas nos minerais de carnalita ($\text{KMgCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) e silvita (KCl), em evaporitos, (Santos, 1997).

No verão os tributários do Rio Piranga apresentaram concentrações de potássio variando entre $0,54\mu\text{g/mL}$ e $1,529\mu\text{g/mL}$. No inverno, as concentrações variaram entre $0,5\mu\text{g/mL}$ e $1,264\mu\text{g/mL}$.

No Rio Piranga, durante o verão, as concentrações de potássio variaram entre $0,553\mu\text{g/mL}$ e $1,268\mu\text{g/mL}$. No inverno as concentrações variaram entre $0,883\mu\text{g/mL}$ e $1,815\mu\text{g/mL}$, sendo esta a maior concentração de potássio encontrada em todo o trecho estudado.

A concentração do potássio apresentou elevação no inverno. Com destaque para a porção do médio Rio Piranga, a partir do ponto RGRP6.

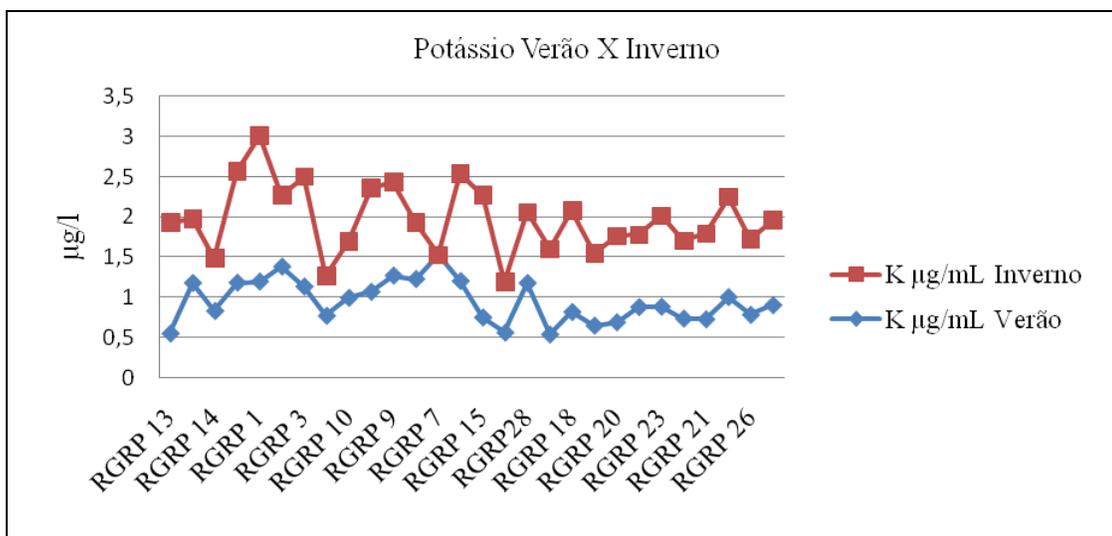


Figura 4.6 – Gráfico evidenciando a variação da concentração do potássio nas águas do Rio Piranga e tributários durante o verão e o inverno.

No inverno, nota-se um aumento nas concentrações do potássio no médio curso do Rio, sugere uma eventual mobilização de material de adubo orgânico (KCl), que foi usado neste trecho nessa época do ano, já que a fonte natural de K (feldspatos) exatamente nesta estação deveria fornecer menos material, devido a uma atuação menor do intemperismo nos meses frios e secos.

4.3.1.4 – Sódio (Na^+)

O sódio é um metal alcalino e é um dos elementos mais abundantes nas águas devido as suas características como ampla distribuição na crosta terrestre e assim, nos minerais fontes. Os principais minerais de Na são os feldspatos plagioclásios, os feldspatoídes nefelina e sodalita, anfibólios e os sais evaporíticos, em especial NaCl. A baixa estabilidade química de tais minerais causa freqüentemente uma elevada solubilidade de complexos de sódio, que mostra também uma difícil precipitação da maioria dos seus compostos químicos em solução (Santos, 1997, Greenberg, 1992). O sódio costuma estar associado ao íon cloreto (Custódio & Lamas, 1976). O sódio é o sexto elemento em abundância na maioria das águas doces naturais. As concentrações de sódio em águas doce naturais variam entre 1mg/L e 150mg/L (Greenberg, 1992).

Na bacia analisada, o sódio apresentou concentrações maiores no Rio Piranga, estando em torno de 1,869µg/mL e 3,813µg/mL no verão, com LD = 0,02µg/mL (LD: Limite de Detecção) e entre 1,685µg/mL e 3,582 µg/mL no inverno, com LD = 0,05µg/mL .

No Rio Piranga, durante o verão, as concentrações de sódio variaram entre 2,226µg/mL e 3,813µg/mL. Nos tributários, as concentrações variaram entre 1,951µg/mL e 3,086µg/mL. (Figura .4.7)

No inverno, as concentrações de sódio Rio Piranga variaram entre 2,678 µg/mL e 3,582 µg/mL. Nos tributários, as concentrações variaram entre 1,685 µg/mL e 3,21 µg/mL.

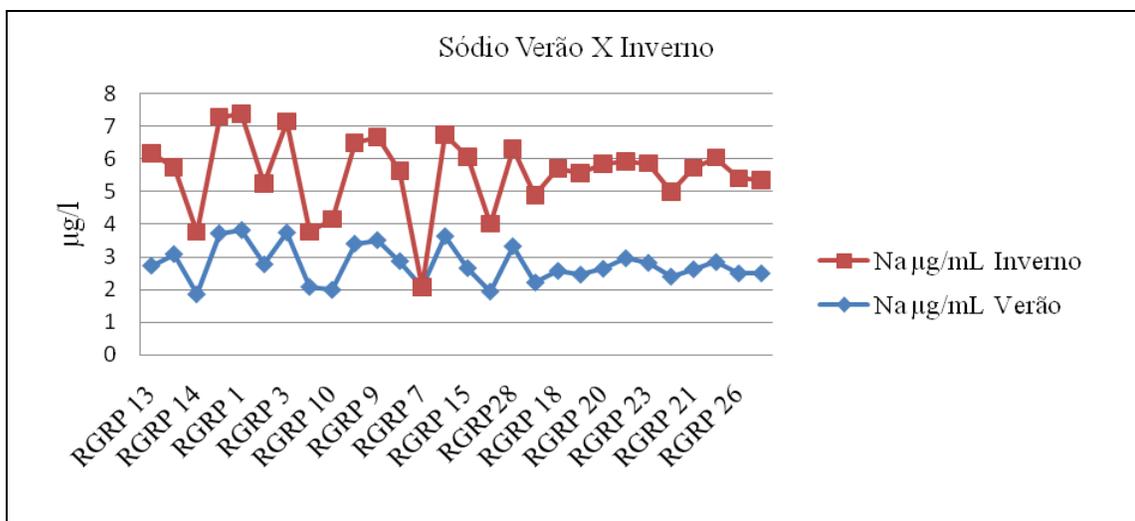


Figura 4.7 - Gráfico evidenciando a variação de concentração do sódio nas águas do Rio Piranga e tributários nas estações verão e inverno.

No inverno, nota-se um aumento nas concentrações de sódio nos cursos d'água nos pontos a jusante do município de Piranga.

4.3.2 – Ânions

4.3.2.1 – Alcalinidade/Bicarbonato (HCO_3^-)

A alcalinidade é definida sendo a quantidade de íons na água que reagirão para neutralizar os íons hidrogênio. É uma medida da capacidade da água de neutralizar os ácidos (capacidade de resistir às mudanças de pH: capacidade tampão). Os principais constituintes da alcalinidade são os bicarbonatos (HCO_3^-), carbonatos (HCO_3^{2-}) e os hidróxidos (OH^-). A origem natural da alcalinidade nas águas é devido à dissolução de rochas e reação de CO_2 com a água (CO_2 resultante da atmosfera ou da decomposição de matéria orgânica). As contribuições antropogênicas são decorrentes dos despejos industriais (Von Sperling, 1996).

Nos tributários do Rio Piranga, durante o verão, a alcalinidade variou entre 1,4mg/L e 2,2mg/L. No inverno, a alcalinidade apresentou variação entre 1,3mg/L e 1,9mg/L.

Nas águas do Rio Piranga, a alcalinidade variou entre 0,7mg/L e 2,5g/L, durante o verão. No inverno, a alcalinidade oscilou entre 1,3mg/L e 2,3mg/L. (Figura 4.8)

Nos pontos de amostragem, 10, 24, 26 e 27, há aumento da alcalinidade no inverno, com maior expressividade no ponto 26.

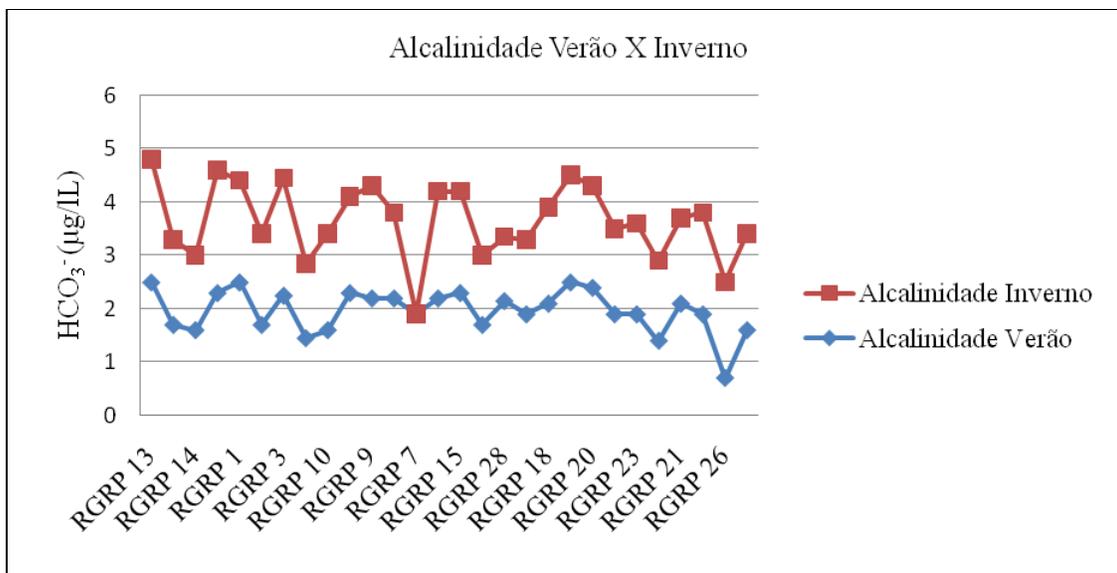


Figura 4.8- Gráfico evidenciando a variação da alcalinidade nas águas do Rio Piranga e tributários nas estações verão e inverno.

4.3.2.2 – Cloreto (Cl⁻)

Todas as águas, em maior ou menor escala, contêm íons resultantes da dissolução de minerais. O cloreto é advindo da dissolução de sais como cloreto de sódio e de outros minerais evaporíticos e da lixiviação de minerais ferromagnesianos, de rochas ígneas, em especial anfibólitos onde o Cl⁻ pode substituir os grupos de OH⁻ nas redes cristalinas (von Sperling 1996, Santos, 1997).

Nas águas superficiais são fontes importantes as descargas de esgotos sanitários, sendo que cada pessoa expele através da urina cerca 6g de cloreto por dia, o que faz com que os esgotos apresentem concentrações de cloreto que ultrapassam a 15mg/L

Nas águas do Rio Piranga, o teor de cloreto variou entre 0,09mg/L e 2,20g/L, durante o verão. No inverno, oscilou entre 0,45mg/L e 1,26mg/L.

Nos tributários do Rio Piranga, durante o verão, o teor de cloreto variou entre 0,09mg/L e 2,29mg/L. No inverno, o cloreto apresentou variação entre 0,45mg/L e 1,35mg/L.(Figura 4.9)

Em três pontos de amostragem, 22, 23 e 26, há elevação significativa do teor de cloreto no verão, podendo estar relacionados ao lançamento de esgoto doméstico pelos aglomerados urbanos.

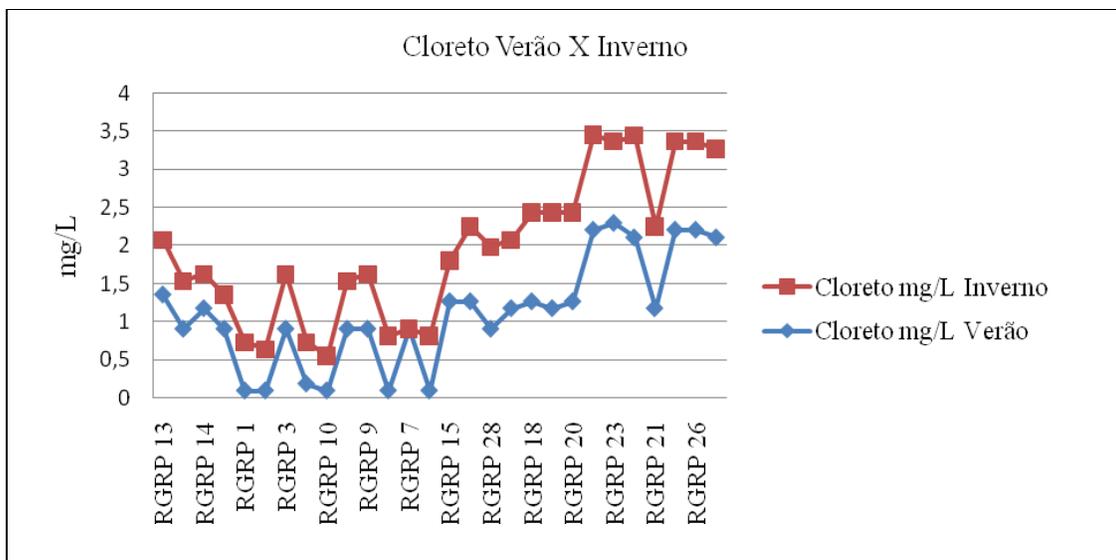


Figura 4.9- Gráfico evidenciando a variação da concentração do cloreto nas águas do Rio Piranga e tributários nas estações verão e inverno.

4.3.2.3 – Sulfato (SO_4^{2-})

A distribuição do íon sulfato é fortemente influenciada pela formação geológica da bacia de drenagem do sistema. As concentrações de sulfato podem variar desde valores não detectáveis até valores de saturação, (Esteves, 1988).

Os sulfatos são sais cuja solubilidade varia de moderada à alta como, por exemplo, o caso da anidrita (CaSO_4), excetuando – se o caso dos sulfatos de estrôncio: celestita (SrSO_4) e dos sulfatos de bário: barita (BaSO_4), (Santos, 1997).

Os sulfatos podem ser produzidos como resultado final da oxidação dos sulfetos, principalmente da pirita (FeS_2), resultante da drenagem ácida. Menos freqüentes, mas igualmente importantes, são os processos de transformação dos sulfitos, tiosulfatos e da matéria orgânica no ciclo do enxofre, que por sua vez, são fontes de energia para as sulfobactérias, que transformam os sulfitos em sulfatos. Os sulfatos também podem originar-se pela oxidação do enxofre presente nas rochas ou pelas descargas industriais. (Santos, 1997, CETESB, 1993).

Nos tributários do Rio Piranga, durante o verão, os teores de sulfato variaram entre 2,27mg/L e 5,08mg/L. No inverno as concentrações estiveram na faixa de 0,96mg/L e 1,94mg/L.

No Rio Piranga, durante o verão, os teores de sulfato estiveram entre 2,39mg/L e 5,44mg/L. No inverno, as concentrações estiveram na faixa de 0,93mg/L e 1,82mg/L. (Figura 4.10)

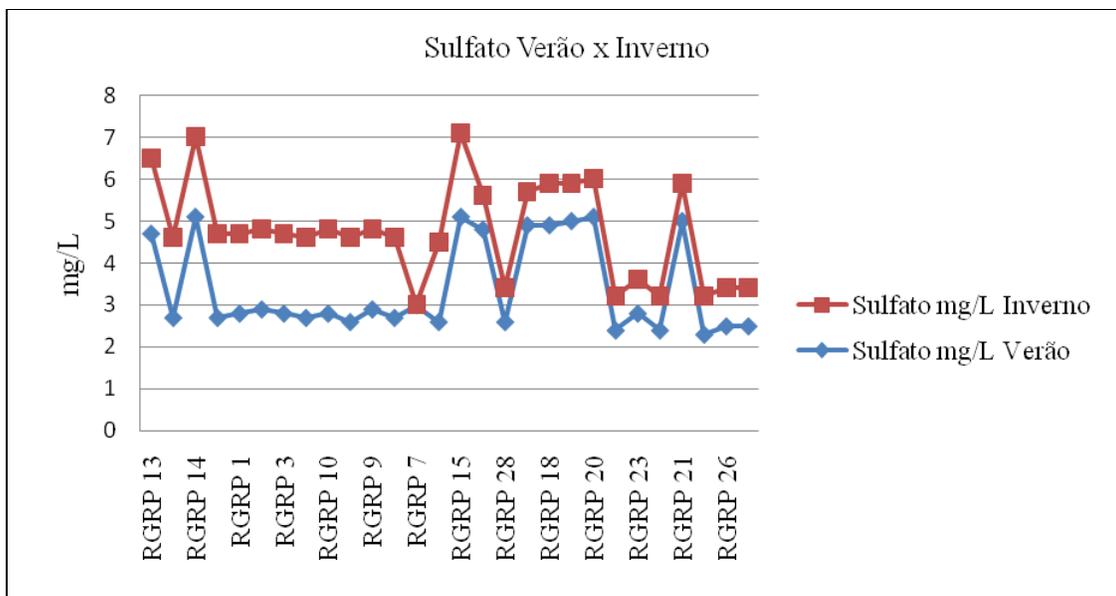


Figura 4.10 - Gráfico evidenciando a variação do sulfato nas águas do Rio Piranga e tributários nas estações verão e inverno.

4.4 – PRINCIPAIS CONSTITUINTES SECUNDÁRIOS

4.4.1 – Alumínio (Al)

O alumínio é o terceiro maior elemento em ordem de abundância na crosta terrestre. Ocorre em minerais rochas e argilas. A sua vasta distribuição está ligada ao fato de o alumínio estar presente em quase todas as águas naturais, sob a forma de sais solúveis, colóides ou componentes insolúveis (Greenberg, 1992).

Porém, o alumínio encontrado nas águas doces possui solubilidade extremamente baixa. Muitas vezes tem nestes casos a forma de $Al(OH)_3$. O alumínio se torna solúvel para condições de pH menor do que 4,2 e maior do que 8, sendo esses valores geralmente, não usuais, nas drenagens superficiais (Carvalho, 1995).

Outro aspecto chave sobre o alumínio é sua dissolução no solo para neutralizar a entrada de ácidos com as chuvas ácidas. Isso acontece especialmente em regiões de solos tropicais, na ausência de carbonatos ou outros neutralizadores. Nestes casos é liberado Al^{3+} , que é extremamente tóxico à vegetação e pode ser escoado para os corpos d'água, (CETESB, 2008).

Os tributários do Rio Piranga, durante o verão, apresentaram na maioria dos pontos amostrados, concentrações de alumínio entre < L.D. e 28,21 μ g/L. No inverno as

concentrações de alumínio repetiram a tendência do verão, onde a maioria dos pontos apresentou concentrações < L.D. com uma única exceção, o ponto 26, que apresentou a concentração de 24,64µg/L.

No Rio Piranga, houve oscilação nos valores de concentração do alumínio, Durante o verão as concentrações variaram entre < L.D. e 83,5µg/L. No inverno as concentrações do alumínio variaram entre < L.D. e 24,6µg/L. (Figura 4.11)

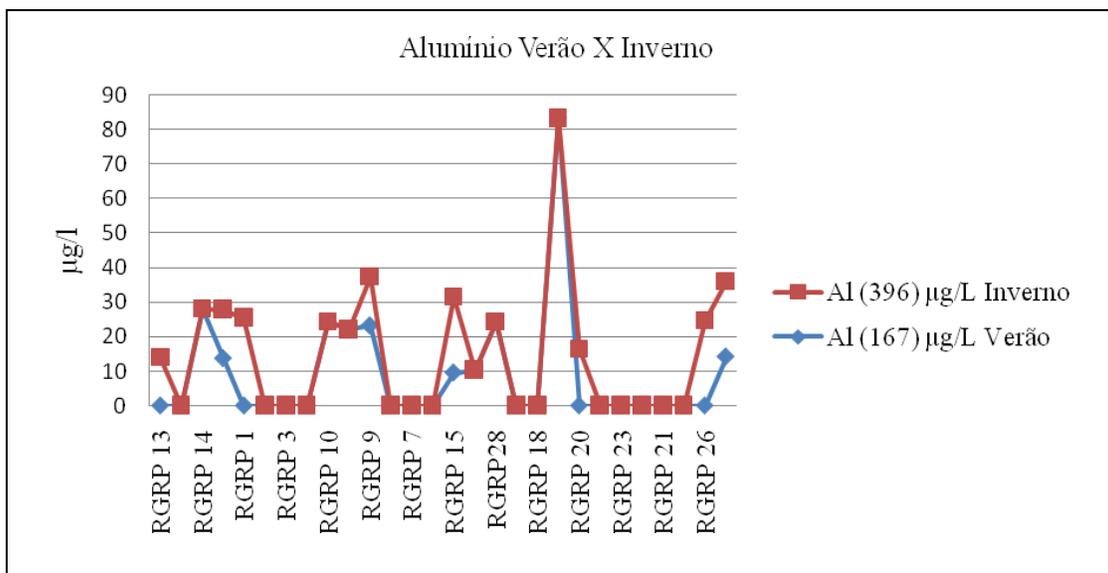


Figura 4.11 - Gráfico evidenciando a variação da concentração do alumínio nas águas do Rio Piranga e tributários nas estações verão e inverno.

Contrariando o estabelecido que: o aumento da concentração de alumínio está associado ao período das chuvas, com a alta turbidez, nos pontos de amostragem, 1, 11, 13, 15, 26 e 27, pode-se identificar aumento da concentração de alumínio no inverno, com maior expressividade nos pontos 1 e 26.

4.4.2 – Bário (Ba)

Apesar da sua abundância relativamente elevada, em comparação com outros elementos menores, na crosta terrestre (é o décimo sexto maior elemento em ordem de abundância), o bário ocorre apenas em quantidades traço na água (Greenberg, 1992).

O bário apresenta importância médica, pois o seu aumento provoca bloqueio nervoso e/ou aumento da pressão sanguínea por vaso constricção (Santos, 1997).

O bário pode ocorrer naturalmente na água, na forma de carbonatos em algumas fontes minerais. Em geral, ocorre nas águas naturais em concentrações muito baixas, de 0,7 a 900µg/L, (CETESB, 2008)

No verão, as concentrações do bário nos tributários do Rio Piranga variaram entre 9,28µg/L e 34,35µg/L. No inverno, as concentrações do bário variaram entre 7,1µg/L e 25,89µg/L. Nas águas do Rio Piranga, os teores do bário variaram entre 16,52µg/L e 24,37µg/L, durante o verão. No inverno as concentrações do bário variaram entre 13,32µg/L. e 19,81µg/L. (Figura 4.12)

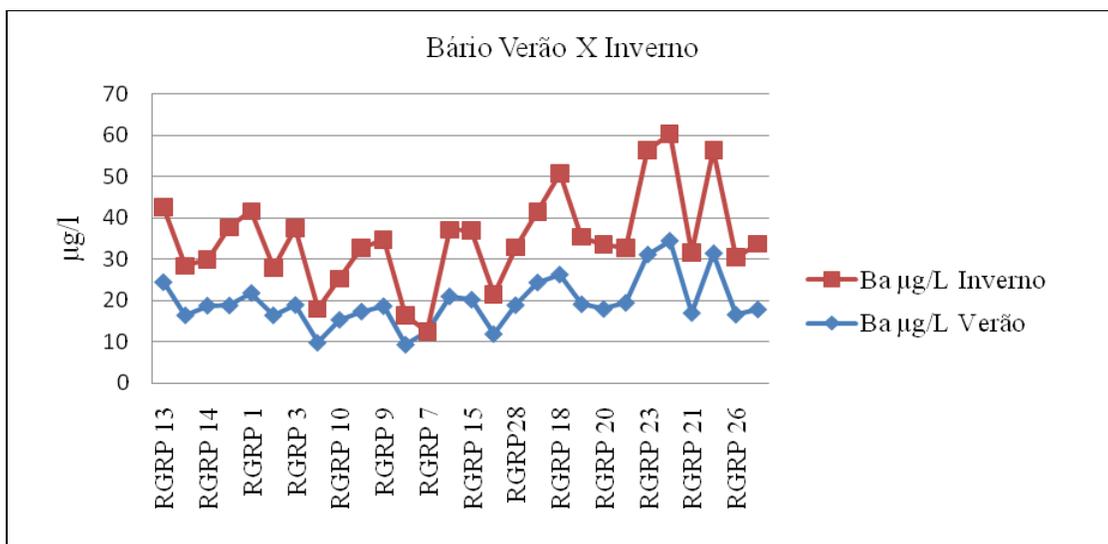


Figura 4.12- Gráfico evidenciando a variação da concentração do bário nas águas do Rio Piranga e tributários nas estações verão e inverno.

4.4.3 - Manganês (Mn)

O manganês assemelha-se ao ferro quimicamente, sendo menos abundante que o mesmo, conseqüentemente, sua presença nas águas naturais é menos comum e sua concentração, em geral, é muito menor que a do ferro. O manganês, freqüentemente está presente em baixos teores (<0,2µg/L) em quase todas as águas naturais (Santos, 1997).

Raramente atinge concentrações de 1,0mg/L em águas superficiais naturais e, normalmente, está presente em quantidades de 0,2mg/L ou menos. É muito usado na indústria do aço, na fabricação de ligas metálicas e baterias e na indústria química em tintas, vernizes, fogos de artifícios e fertilizantes, entre outros, (CETESB, 2008)

Nas águas dos tributários do Rio Piranga, os teores do manganês variaram entre 6,43µg/L e 322µg/L, durante o verão. No inverno as concentrações do manganês variaram entre 9,76µg/L e 81,1µg/L. As maiores concentrações, tanto verão quanto inverno, foram anotadas no ponto 17, o córrego Bicudo. No verão, as concentrações do manganês no Rio Piranga variaram entre 12,78µg/L e 48,53µg/L. No inverno, variaram entre 12,57µg/L e 22,57µg/L. (Figura 4.13)

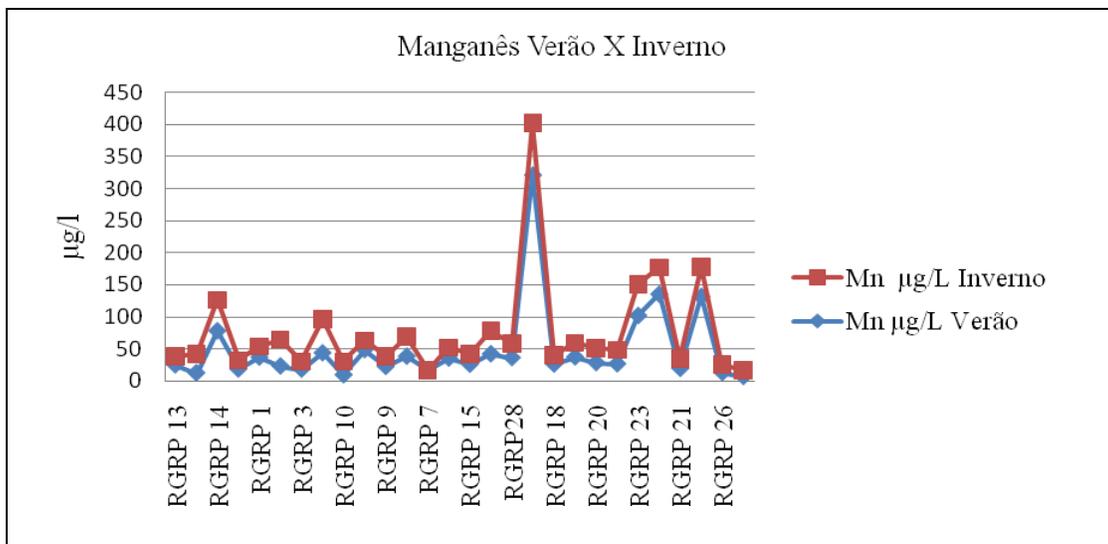


Figura 4.13 - Gráfico evidenciando a variação da concentração do manganês nas águas do Rio Piranga e tributários nas estações verão e inverno.

4.5. – OUTROS ELEMENTOS

Neste grupo foram incluídos o As, Cd, Co, Cr, Cu, Mo, Ni, Sr, V e Zn. Os elementos arsênio, cádmio, cromo, molibdênio, níquel, e vanádio apresentaram concentrações menores que o limite de detecção (<LD) do ICP-EOS em todos os pontos amostrados, nas duas campanhas.

4.5.1 – Cobalto (Co)

O cobalto ocorre naturalmente em águas naturais em concentrações < 10µg/L. Esgotos domésticos podem conter altas concentrações, (Greenberg, 1992).

Nas águas dos tributários do Rio Piranga, os teores do cobalto variaram entre 10,87µg/L e 84,3µg/L, durante o verão. No inverno as concentrações do manganês variaram entre <L.D. e 24,3µg/L. No verão, as concentrações do cobalto no Rio Piranga variaram entre 19,7µg/L e 92,7µg/L. No inverno, as concentrações do cobalto variaram entre < L.D. e 71µg/L.(Figura 4.14)

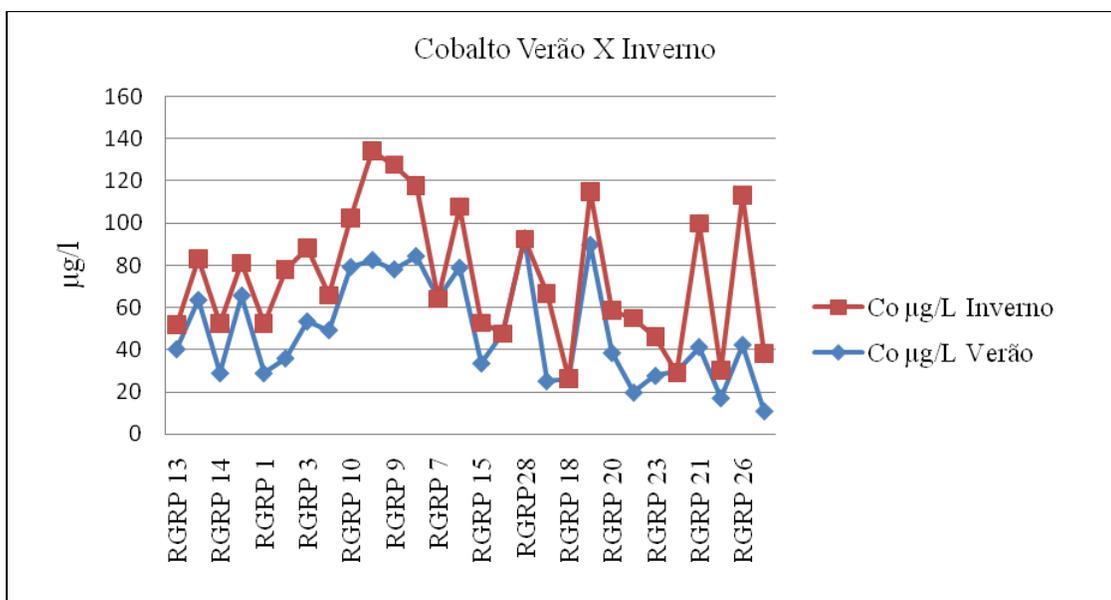


Figura 4.14 - Gráfico evidenciando a variação da concentração do cobalto nas águas do Rio Piranga e tributários nas estações verão e inverno.

No inverno, os pontos localizados a partir do município de Presidente Bernardes, (ponto 21), apresentam elevação da concentração de cobalto, o que pode evidenciar a contribuição de cobalto pela descarga de esgoto doméstico.

4.5.2 – Cobre (Cu)

O cobre ocorre geralmente nas águas, naturalmente, em concentrações inferiores a 20µg/L. O cobre, em pequenas quantidades é até benéfico ao organismo humano, catalisando a assimilação do ferro e seu aproveitamento na síntese da hemoglobina do sangue humano, facilitando a cura de anemias.

As fontes de cobre para o meio ambiente são as mais variáveis. Elas incluem, por exemplo, corrosão de tubulações de latão por águas ácidas, efluentes de estações de tratamento de esgotos e uso de compostos de cobre como algicidas aquáticos. Ocorrem

também escoamento superficial e contaminação da água subterrânea a partir de usos agrícolas do cobre como fungicida e pesticida no tratamento de solos. Outras fontes são efluentes, e precipitação atmosférica de fontes industriais. As principais fontes industriais incluem indústrias de mineração, fundição e refinação, (CETESB, 2008).

No verão, as águas do Rio Piranga, os teores do cobre variaram entre 5,74µg/L e 10,05µg/L, e nos tributários do Rio Piranga as concentrações de cobre variaram entre 5,79µg/L e 8,17µg/L. Durante o inverno, os teores de concentração do cobre, se apresentaram menores que o limite de detecção (<LD) do ICP-EOS em todos os pontos amostrados.(Figura 4.15)

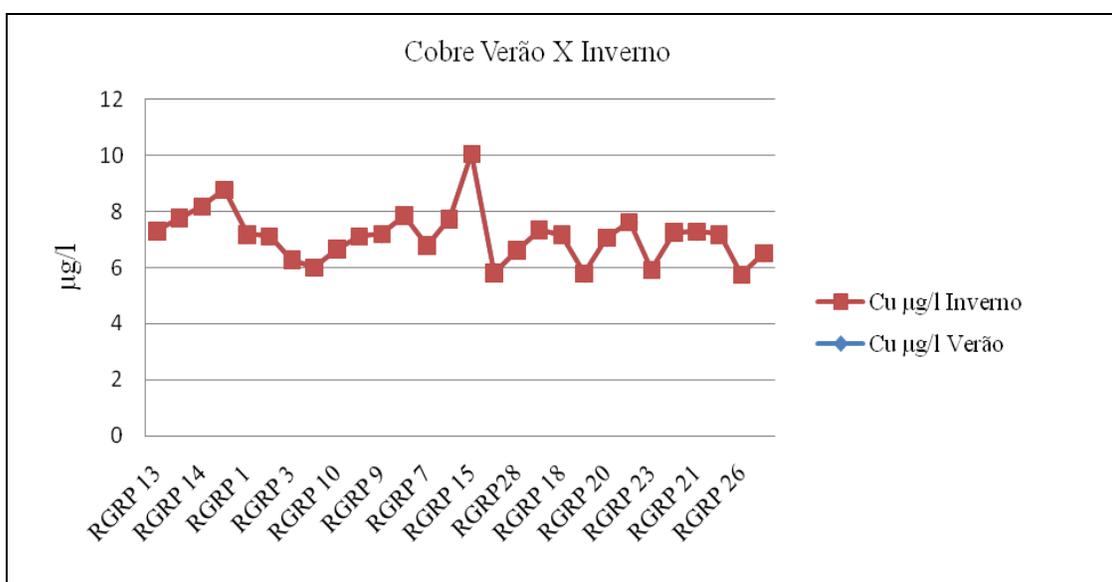


Figura 4.15 - Gráfico evidenciando a variação da concentração do cobre nas águas do Rio Piranga e tributários no verão.

A concentração mais elevada de Cu foi detectada no município de Piranga, evidenciando a contribuição da atividade antropogênica para esse elemento.

4.5.3 – Estrôncio (Sr)

As fontes naturais de Sr são minerais silicáticos, onde o Sr substitui elementos com Na, K e Rb, que acontece, por exemplo, frequentemente nos feldspatos.

Nas águas do Rio Piranga, os teores do estrôncio variaram entre 31,11µg/L e 45,49µg/L, durante o verão. No inverno as concentrações do estrôncio variaram entre 19,0µg/L. e 38,74µg/L.

No verão, as concentrações do estrôncio nos tributários do Rio Piranga variaram entre 11,44 $\mu\text{g/L}$ e 35,78 $\mu\text{g/L}$. No inverno, as concentrações do estrôncio variaram entre 9,6 $\mu\text{g/L}$ e 35,29 $\mu\text{g/L}$. (Figura 4.16).

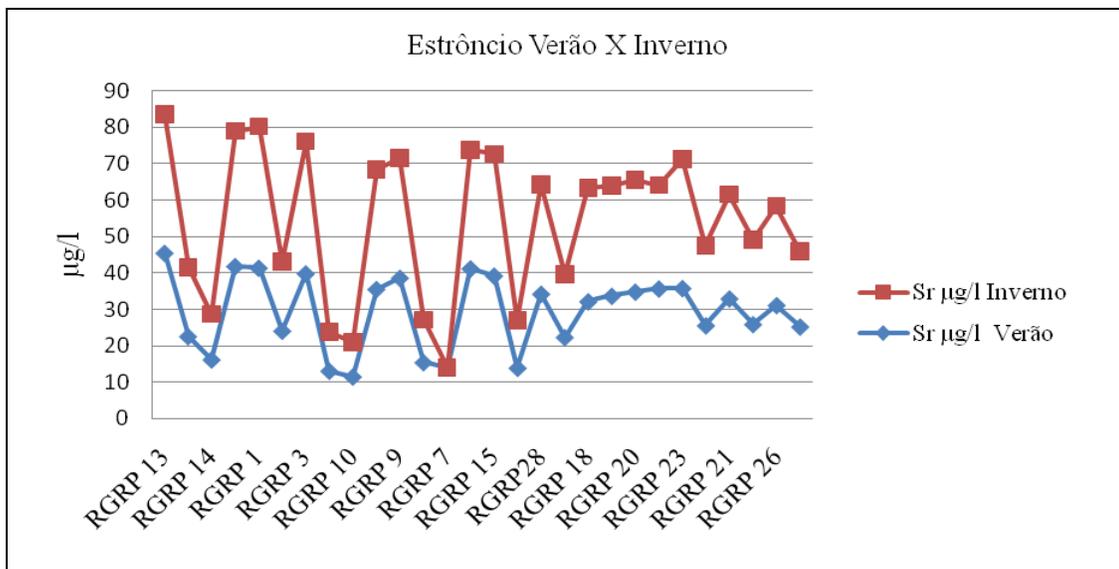


Figura 4.16- Gráfico evidenciando a variação da concentração do estrôncio nas águas do Rio Piranga e tributários nas estações verão e inverno.

4.5.4 – Zinco (Zn)

A presença de zinco é comum nas águas naturais. Em águas superficiais, normalmente as concentrações estão na faixa de <0,001 a 0,10mg/L. É largamente utilizado na indústria e pode entrar no meio ambiente através de processos naturais e antropogênicos, entre os quais destacam-se a produção de zinco primário, combustão de madeira, incineração de resíduos, produção de ferro e aço, efluentes domésticos, (CETESB, 2008).

Nas águas do Rio Piranga, os teores do zinco variaram entre < L.D. e 34,04 $\mu\text{g/L}$, durante o verão. No inverno as concentrações do zinco variaram entre < L.D. e 9,09 $\mu\text{g/L}$. No verão, as concentrações do zinco nos tributários do Rio Piranga variaram entre <L.D. e 36,27 $\mu\text{g/L}$. No inverno, as concentrações do zinco variaram entre <L.D. e 8,96 $\mu\text{g/L}$. (Figura 4.17)

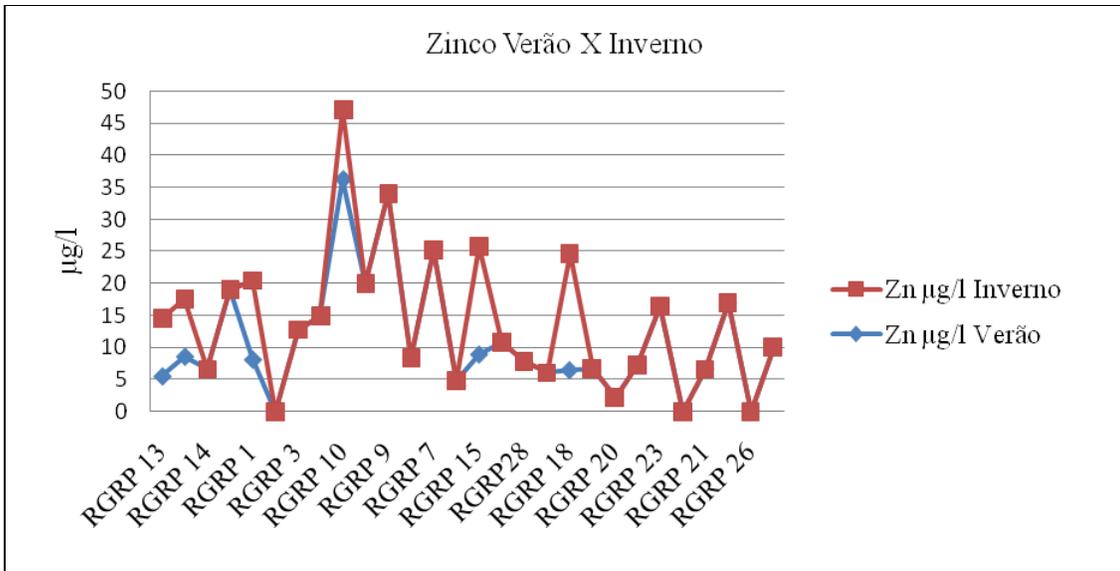


Figura 4.17 - Gráfico evidenciando a variação da concentração do zinco nas águas do Rio Piranga e tributários nas estações verão e inverno.

Pode-se observar que a concentração dos elementos durante o inverno é menor que a concentração encontrada durante o verão, isso evidencia a influência das chuvas no aporte de elementos nas águas do Rio e seus tributários.

As concentrações dos elementos Co, Cr, Mo, Ni, Sr, V e Zn nas 56 amostras de água analisadas são apresentadas na tabela 4.1.

4.6 - Classificação das águas do Rio Piranga e seus tributários segundo a Resolução do CONAMA 357

O Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) por meio da RESOLUÇÃO Nº 357, de 17 de março de 2005, classifica as águas doces em 05 classes, conforme uso:

I - classe especial: águas destinadas:

- a) ao abastecimento para consumo humano, com desinfecção;
- b) à preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas; e,
- c) à preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral.

II - classe 1: águas que podem ser destinadas:

- a) ao abastecimento para consumo humano, após tratamento simplificado;
- b) à proteção das comunidades aquáticas;
- c) à recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução CONAMA nº 274, de 2000;
- d) à irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película; e
- e) à proteção das comunidades aquáticas em Terras Indígenas.

III - classe 2: águas que 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 nº 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 aqüicultura e à atividade de pesca.

IV - classe 3: águas que podem ser destinadas:

- a) ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional ou avançado;
- b) à irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras;
- c) à pesca amadora;
- d) à recreação de contato secundário; e

e) à dessedentação de animais.

V - classe 4: águas que podem ser destinadas:

a) à navegação; e

b) à harmonia paisagística.

Os valores encontrados na análise das amostras foram comparados aos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 357. Tabela 4.1

Tabela 4.1 - Limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 357 para águas das classes 1, 2 e 3 e parâmetros do Rio Piranga e seus tributários durante verão e inverno

Parâmetros	Unid.	Classe			Verão		Inverno	
		1	2	3	Min.	Max.	Min.	Max.
Turbidez	FTU	40	100	100	3,1	16	1,2	6,1
pH		6 a 9	6 a 9	6 a 9	6,75	8,35	6,28	7,3
TDS	mg/L	500	500		*	*	15,85	113,7
Alumínio	µg/L	100	100	200	<L.D.	83,5	<L.D.	25,5
Arsênio	µg/L	10	10	33	<L.D.	<L.D.	<L.D.	<L.D.
Bário	µg/L	700	700	1000	9,28	34,35	7,1	25,89
Cádmio	µg/L	1	1	10	<L.D.	<L.D.	<L.D.	<L.D.
Cloreto	mg/L	250	250	250	0,09	2,29	0,45	1,35
Cobalto	µg/L	50	50	200	10,87	84,3	<L.D.	58,8
Cobre	µg/L	9	9	13	5,74	10,05	<L.D.	<L.D.
Cromo	µg/L	50	50	50	<L.D.	<L.D.	<L.D.	<L.D.
Ferro	mg/L	0,3	0,3	5	0,24	1,039	0,111	0,941
Lítio	µg/L	2500	2500	2500	<L.D.	<L.D.	<L.D.	<L.D.
Manganês	µg/L	100	100	500	6,43	322	9,76	81,1
Níquel	µg/L	25	25	25	<L.D.	<L.D.	<L.D.	<L.D.
Sulfato	mg/L	250	250	250	0,96	5,08	0,93	5,44
Vanádio	µg/L	100	100	100	<L.D.	<L.D.	<L.D.	<L.D.
Zinco	µg/L	180	180	5000	<L.D.	36,27	<L.D.	18,14

<L.D. = menor que o limite de detecção

* dados não coletados na campanha verão.

Os valores do arsênio, cádmio, cromo, lítio, níquel e vanádio apresentaram concentrações menores que o limite de detecção, portanto não podem ser utilizados para classificar a água. Os valores de TDS, pH, turbidez, cloreto, sulfato, bário, alumínio e zinco apresentaram concentrações dentro dos padrões de qualidade das águas para as classes 1 e 2. Os elementos: cobalto, cobre, manganês e ferro apresentaram concentrações que atendem os parâmetros de qualidade das águas do Rio Piranga e seus tributários nas classes 1, 2 e 3.

CARACTERIZAÇÃO GEOQUÍMICA DE SOLO E SEDIMENTO

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise química dos sedimentos tem sido uma importante ferramenta para o estudo da qualidade das águas, pois este compartimento desempenha importantes funções no meio aquático, tais como: efeito memória, em ambientes de deposição como reservatórios e lagos; suporte à vida, pois além de representar uma parte essencial do ecossistema aquático formando uma variedade de habitats e ambientes, fornece nutrientes para os organismos aquáticos; fonte secundária, com mobilização de partículas de contaminadas subsequente liberação de contaminantes com re-suspensão natural ou artificial dos sedimentos e; reservatório final de contaminantes, através da capacidade de imobilizar substâncias potencialmente perigosas (Förstner, 2004 citado por Guimarães 2005). Dessa forma os sedimentos depositados no fundo de ambientes aquáticos constituem verdadeiros arquivos de informação de natureza química, biológica e física. A determinação de metais e metalóides presente nos sedimentos permite detectar a contaminação que a água está sujeita (Mozeto, 2004, Siegel, 2002).

5.1 - Caracterização geoquímica dos sedimentos

Os teores de metais e foram determinados por ICP-EOS em operação no LGqA/DEGEO/UFOP.

5.1.2 – Elementos maiores

5.1.2.1 – Alumínio Potássio e, Magnésio

Alumínio (Al)

Nos tributários do Rio Piranga, foram determinadas concentrações de alumínio que variaram entre 92048mg/Kg e 182603mg/Kg durante o verão. No inverno, as concentrações de alumínio variaram entre 79482mg/Kg e 184969mg/Kg.

No Rio Piranga, os teores de alumínio variaram entre 44073mg/Kg e 153460mg/Kg no verão. Durante o inverno foram detectados valores entre 92896mg/Kg e 139513mg/Kg. (Figura 5.1)

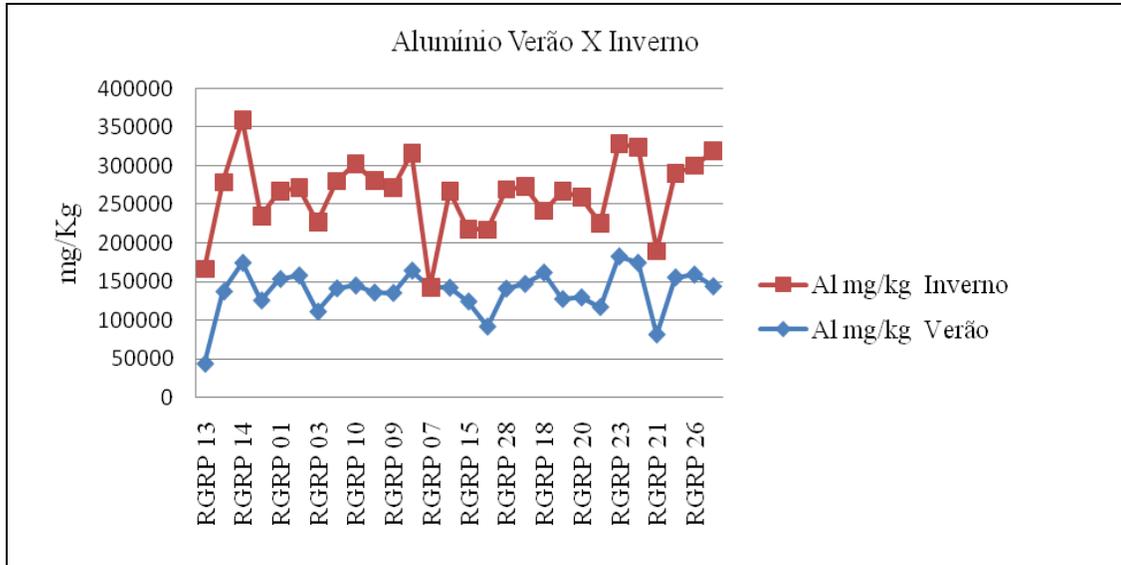


Figura 5.1.- Gráfico evidenciando a variação da concentração do alumínio nas estações verão e inverno.

Potássio (K)

Os minerais que contêm potássio como principal constituinte são os feldspatos, micas (moscovitas) leucita e nefelina, (Wedepohl, 1978 citado por Parra, 2006).

No Rio Piranga, os teores de potássio variaram entre 5225mg/Kg e 10941mg/Kg no verão. Durante o inverno foram detectados valores entre 2963mg/Kg e 11486mg/Kg.

Nos tributários do Rio Piranga, foram determinadas as concentrações do potássio variaram entre 2015mg/Kg e 11865mg/Kg durante o verão. No inverno, as concentrações de potássio variaram entre 1141mg/Kg e 9356mg/Kg. (Figura 5.2)

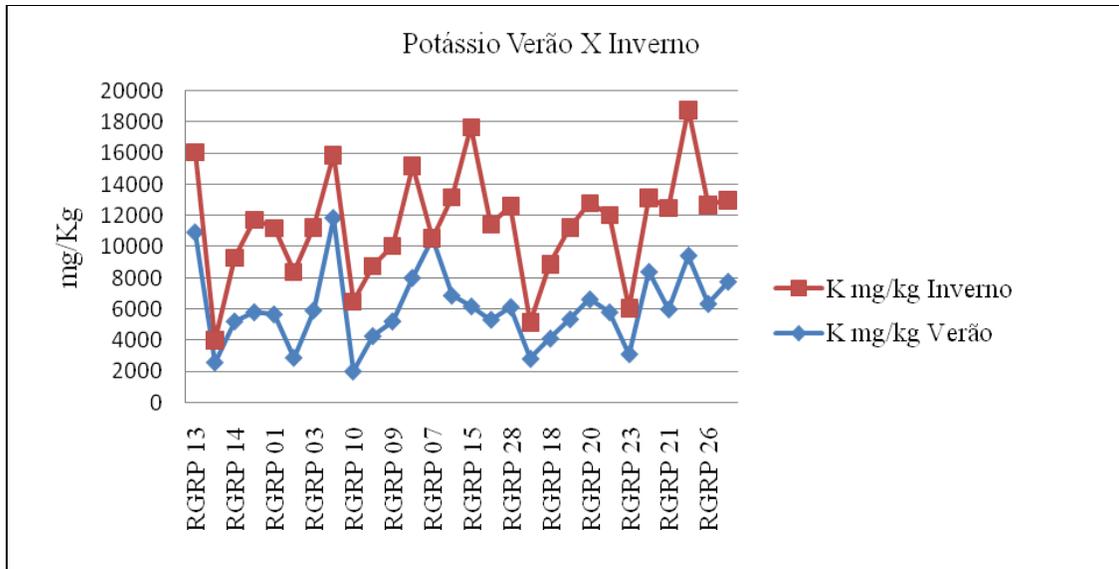


Figura 5.2.- Gráfico evidenciando a variação da concentração do potássio nas estações verão e inverno.

Magnésio (Mg)

O magnésio participa da composição de minerais de vários grupos: óxidos e hidróxidos; silicatos; carbonatos; sulfatos; arseniados; boratos, halóides e outros minerais. Nos sedimentos, além dos minerais evaporitos, que é um caso especial, está presente principalmente na dolomita e filos-silicatos, (Wedepohl, 1978 citado por Parra 2006).

No Rio Piranga, os teores de magnésio variaram entre 3931mg/Kg e 7407mg/Kg no verão. Durante o inverno foram detectados valores entre 3914mg/Kg e 6161mg/Kg.

Nos tributários do Rio Piranga, foram determinadas concentrações de magnésio com variação entre 1775mg/Kg e 12858mg/Kg durante o verão, sendo a maior concentração no ponto de amostragem 12. No inverno, as concentrações de magnésio variaram entre 1314mg/Kg e 11422mg/Kg. (Figura 5.3)

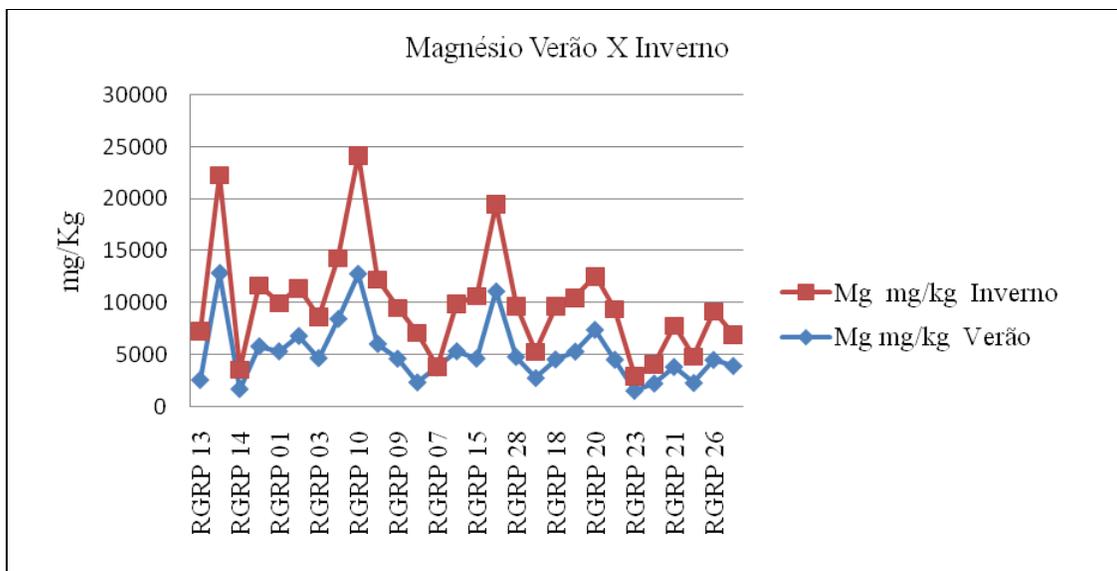


Figura 5.3.- Gráfico evidenciando a variação do magnésio nas estações verão e inverno.

5.1.2.2 – Cálcio, Ferro e Manganês

Cálcio (Ca)

Minerais de cálcio ocorrem predominantemente como silicatos, carbonatos, fosfatos, sulfatos e boratos. O cálcio está presente nos carbonatos, mais comumente na calcita e na dolomita e em minerais acessórios como a apatita e a fluorita, (Wedepohl, 1978 citado por Parra, 2006).

Nos tributários do Rio Piranga, foram determinadas as concentrações do cálcio variaram entre 790mg/Kg e 6316mg/Kg durante o verão, sendo a maior concentração no ponto de amostragem 12. No inverno, as concentrações de cálcio variaram entre 584mg/Kg e 5419mg/Kg.

No Rio Piranga, os teores de cálcio variaram entre 3190mg/Kg e 5763mg/Kg no verão. Durante o inverno foram detectados valores entre 771mg/Kg e 6241mg/Kg. (Figura 5.4)

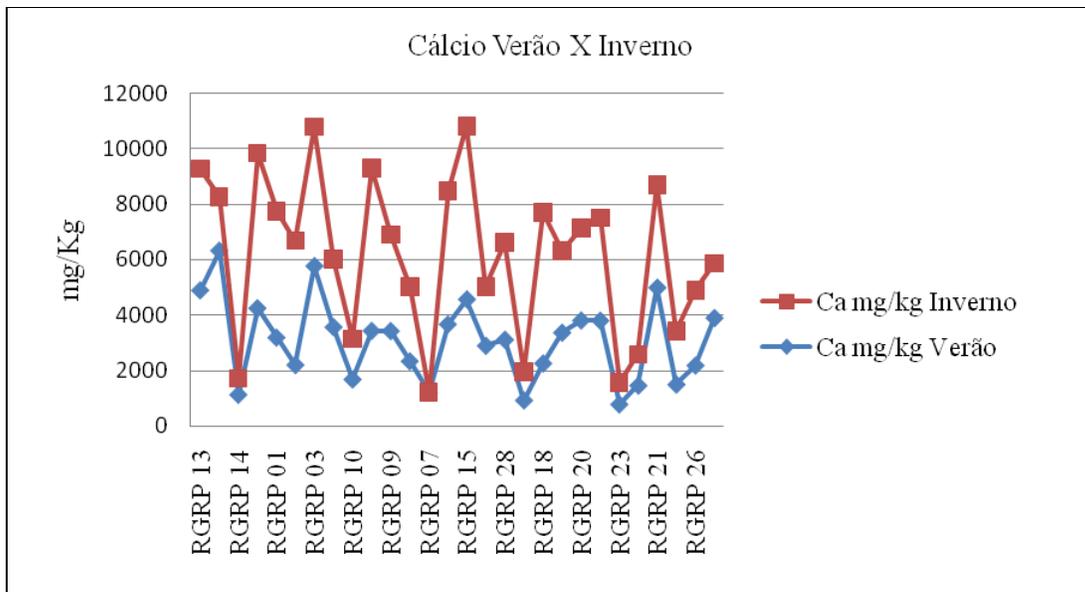


Figura 5.4.- Gráfico evidenciando a variação da concentração do cálcio nas estações verão e inverno.

Ferro (Fe)

Minerais de rochas ígneas cujo conteúdo de ferro é relativamente alto incluem piroxênios, anfibólios, biotina, magnetita e principalmente olivina, (Wedepohl, 1978 citado por Parra, 2006).

No Rio Piranga, os teores de ferro variaram entre 6140mg/Kg e 93462mg/Kg no verão. Durante o inverno foram detectados valores entre 53838mg/Kg e 89207mg/Kg

Nos tributários do Rio Piranga, foram determinadas concentrações de ferro com variações entre 68081mg/Kg e 136448mg/Kg durante o verão. No inverno, as concentrações de ferro variaram entre 62980mg/Kg e 153029mg/Kg. (Figura 5.5)

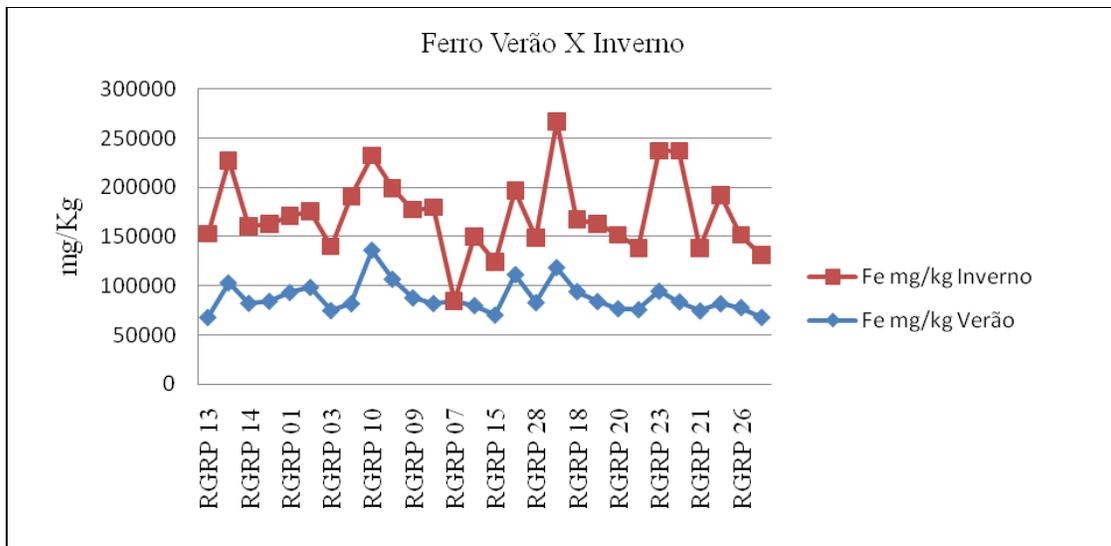


Figura 5.5.- Gráfico evidenciando a variação da concentração do ferro nas estações verão e inverno.

As concentrações de ferro nos pontos de amostragem 4, 8, 12, 17, 22, 23,25, tributários, e ponto 22, no Rio Piranga, apresentaram teores de ferro no inverno superiores aos teores registrados no verão.

Manganês (Mn)

O manganês é um constituinte significativo das rochas basálticas, ricas em olivina, piroxênios e anfibólios. Pequenas quantidades de manganês estão comumente presente em dolomita e no calcário, substituindo o cálcio. O principal mineral do manganês é a pirolusita (MnO_2), uma formação do intemperismo, que forma ainda outros óxidos e hidróxidos de manganês. (Wedepohl, 1978 citado por Parra, 2006).

Nos tributários do Rio Piranga, foram determinadas as concentrações do manganês variaram entre 581mg/Kg e 2836mg/Kg durante o verão, sendo a maior concentração no ponto de amostragem 12. No inverno, as concentrações de magnésio variaram entre 334,1mg/Kg e 2677mg/Kg.

No Rio Piranga, os teores de manganês variaram entre 1311mg/Kg e 2114mg/Kg no verão. Durante o inverno foram detectados valores entre 824mg/Kg e 5252mg/Kg. (Figura 5.6)

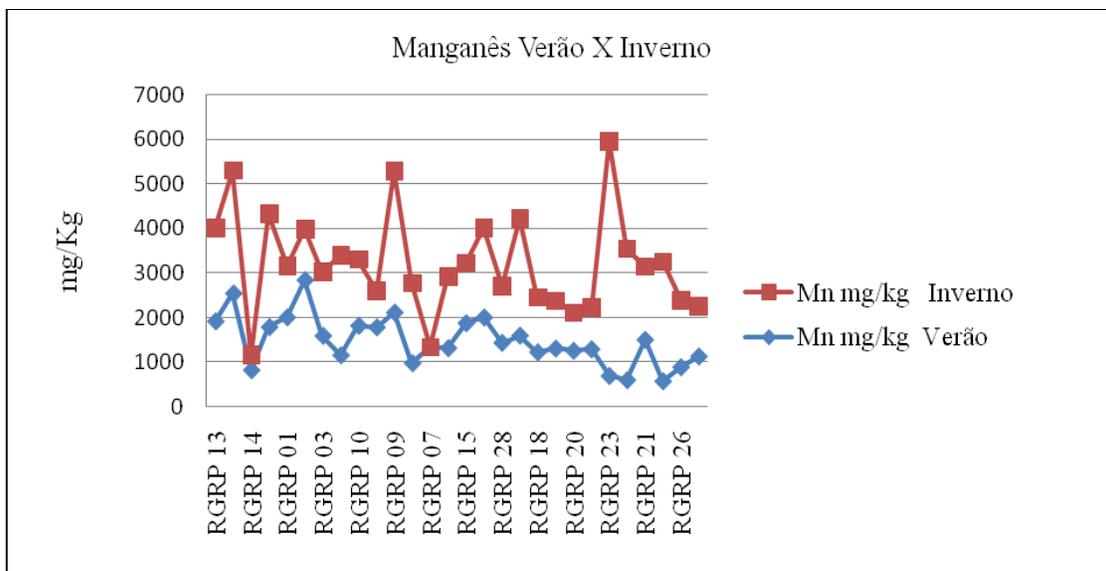


Figura 5.6.- Gráfico evidenciando a variação da concentração do manganês nas estações verão e inverno

5.1.3 – Metais-traço

Os metais traços são definidos como elementos químicos que ocorrem em concentrações de no máximo 0,1 % nas rochas da crosta terrestre, (Alloway, 1993). O teor absoluto daqueles elementos na crosta é 0,126 %. Esse grupo de elementos foi classificado neste trabalho em dois grupos. No primeiro grupo estão incluídos Co, Li, Ni e V. Os elementos Cr, Cu, Pb, Zn e As, também denominados metais pesados, correspondem ao tópico 5.1.3.1.

Vanádio (V)

O vanádio pode ser encontrado, em menor quantidade, como um constituinte da magnetita, do piroxênio, do anfibólio e da biotita, (Wedepohl, 1978 citado por Parra, 2006).

No Rio Piranga, durante o verão, foram detectadas concentrações de vanádio que variaram entre 239,6mg/Kg e 471,7mg/Kg. No inverno as concentrações de vanádio variaram entre 134,3mg/Kg e 312,1mg/Kg.

Nos tributários do Rio Piranga foram detectadas concentrações de vanádio que variaram entre 238mg/Kg e 537mg/Kg durante o verão. No inverno, foram detectadas

concentrações entre 179,1mg/kg e 329,9mg/Kg, sendo a mais elevada concentração encontrada no córrego Bicudo. (Figura 5.7)

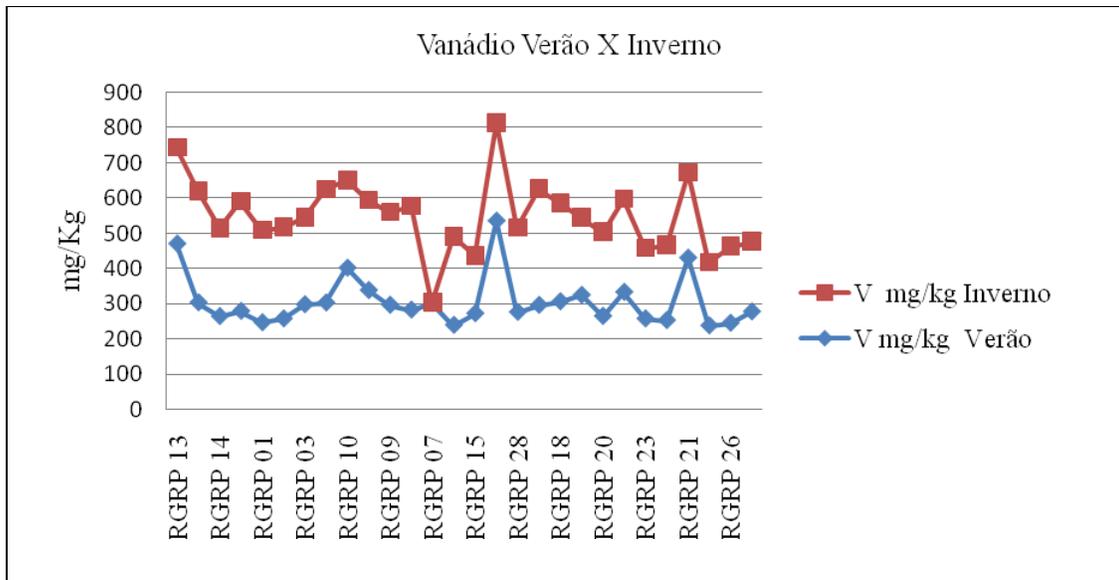


Figura 5.7.- Gráfico evidenciando a variação da concentração do vanádio nas estações verão e inverno.

Cobalto (Co)

No Rio Piranga, durante o verão, foram detectadas concentrações de cobalto que variaram entre 41,31mg/Kg e 75,9mg/Kg, sendo a maior concentração encontrada no ponto localizado na cidade de Presidente Bernardes. No inverno as concentrações de zinco variaram entre 39,61mg/Kg e 73,98mg/Kg.

Nos tributários do Rio Piranga foram detectadas concentrações de cobalto que variaram entre 33,44mg/Kg e 108,9mg/Kg durante o verão. No inverno, foram detectadas concentrações entre 27,65mg/kg e 85,6mg/Kg. (Figura 5.8)

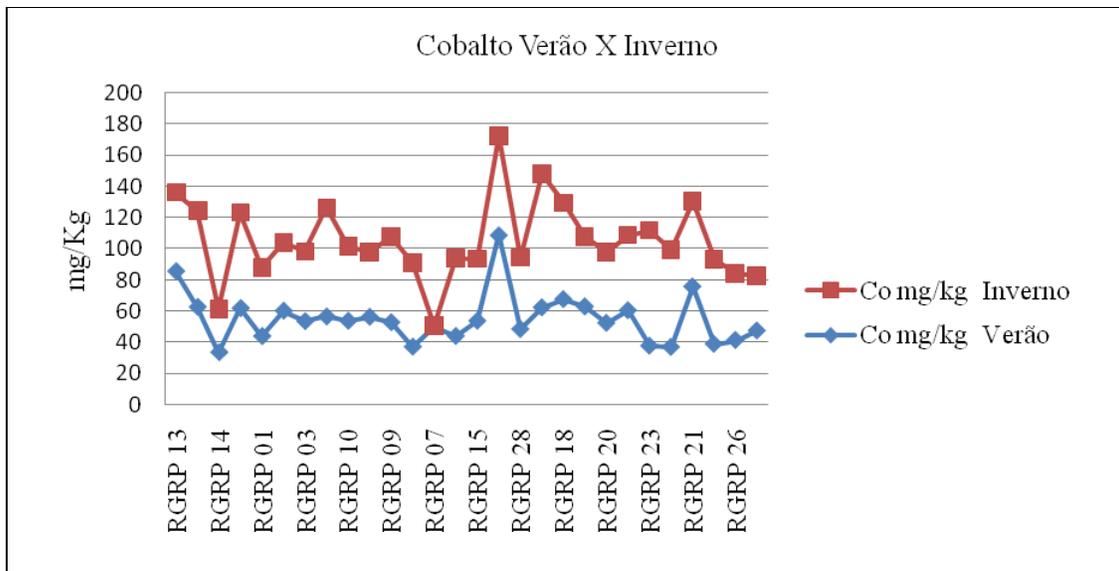


Figura 5.8- Gráfico evidenciando a variação da concentração do cobalto nas estações verão e inverno

Lítio (Li)

No Rio Piranga, durante o verão, foram detectadas concentrações de lítio variaram entre 5,22mg/Kg e 19,64mg/Kg. No inverno as concentrações de lítio variaram entre 10,45mg/Kg e 16,14mg/Kg.

Nos tributários do Rio Piranga foram detectadas concentrações de lítio que variaram entre 4,907mg/Kg e 29,36mg/Kg durante o verão. No inverno, foram detectadas concentrações entre 6,34mg/kg e 21,53mg/Kg. (Figura 5.9)

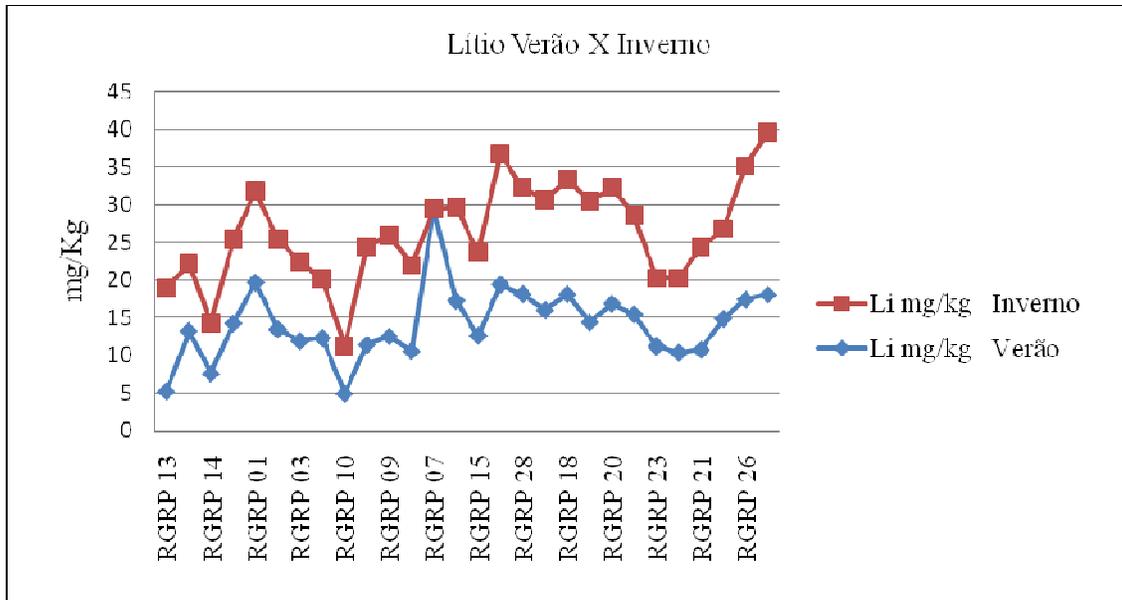


Figura 5.9.- Gráfico evidenciando a variação da concentração do lítio nas estações verão e inverno.

Níquel (Ni)

O níquel pode substituir Fe^{2+} e magnésio em minerais ferro-magnesianos de rochas ígneas e tende a ser co-precipitado em óxidos de ferro e especialmente com óxidos de manganês, devido ao seu alto valor, o níquel é alvo da atividade mineradora, (Wedepohl, 1978 citado por Parra, 2006).

Nos tributários do Rio Piranga foram detectadas concentrações de níquel que variaram entre 38,51mg/Kg e 297,4mg/Kg durante o verão. No inverno, foram detectadas concentrações entre 33,5mg/kg e 298mg/Kg, sendo a mais elevada concentração encontrada no córrego do Cruzeiro/Gonçalves.

No Rio Piranga, durante o verão, foram detectadas concentrações de níquel que variaram entre 36,56mg/Kg e 149,2mg/Kg. No inverno as concentrações de níquel variaram entre 63,5mg/Kg e 110,5mg/Kg. (Figura 5.10)

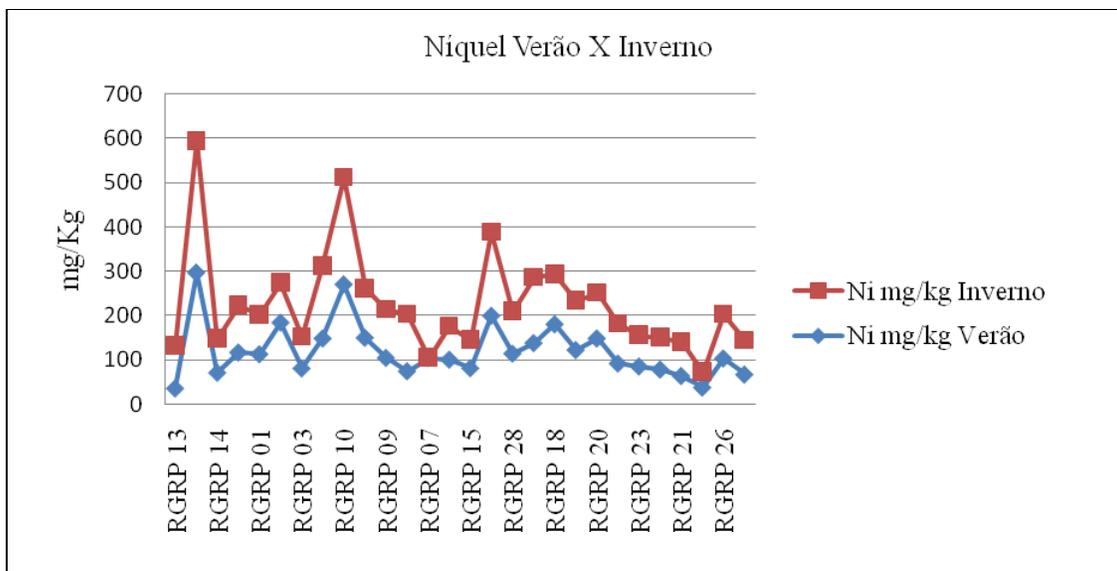


Figura 5.10 - Gráfico evidenciando a variação da concentração do níquel nas estações verão e inverno.

5.1.3.1 – Metais Pesados

Metais pesados, comumente definidos como elementos químicos com densidades maiores do que $6[\text{g}/\text{cm}^3]$ ocorrem naturalmente nas formações rochosas e em minérios, portanto, existem em uma vasta variedade de concentrações normais na matriz desses elementos nos solos, sedimentos, águas e organismos vivos. O grau de poluição se eleva de forma anormal na presença de altas concentrações desses elementos comparados com os níveis normais; portanto, a presença do metal não é evidência suficiente, a concentração relativa é o que se deve levar em consideração (Alloway, 1993).

Cromo (Cr)

O cromo ocorre principalmente em rochas máficas e ultramáficas, sendo as últimas as mais ricas em cromo.

Nos tributários do Rio Piranga foram detectadas concentrações de cromo que variaram entre 75,7mg/Kg e 658mg/Kg durante o verão. No inverno, foram detectadas concentrações entre 58,6mg/kg e 744mg/Kg, sendo a mais elevada concentração encontrada no córrego Piçarra.

No Rio Piranga, durante o verão, foram detectadas concentrações de cromo que variaram entre 75,1mg/Kg e 274,3mg/Kg. No inverno, as concentrações de cromo variaram entre 156,2mg/Kg e 257,2mg/Kg. (Figura 5.11)

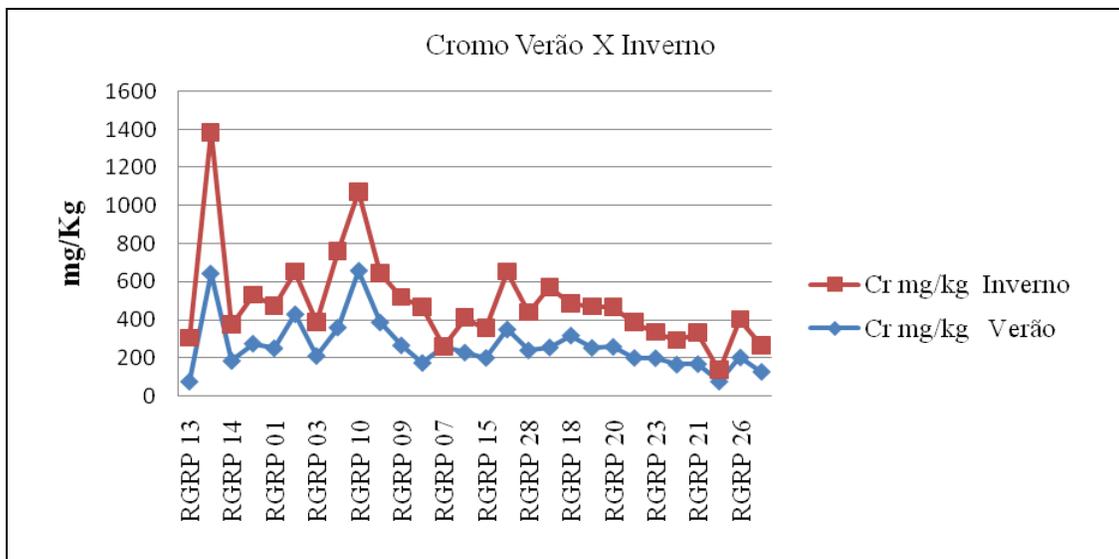


Figura 5.11.- Gráfico evidenciando a variação da concentração do cromo nas estações verão e inverno

Zinco (Zn)

O zinco pode substituir o ferro e o manganês em carbonatos, silicatos e óxidos. Minerais de argila, óxidos de ferro e substâncias orgânicas podem conter zinco, (Wedepohl, 1978 citado por Parra, 2006).

Nos tributários do Rio Piranga foram detectadas concentrações de zinco que variaram entre 81,3mg/Kg e 261,7mg/Kg durante o verão. No inverno, foram as concentrações variaram entre 86,9mg/kg e 4210mg/Kg, sendo a mais elevada concentração encontrada no ribeirão Itapetinga.

No Rio Piranga, durante o verão, foram detectadas concentrações de zinco que variaram entre 98,7mg/Kg e 9336mg/Kg, sendo a maior concentração encontrada no ponto localizado à jusante da cidade de Piranga. No inverno as concentrações de zinco variaram entre 108,5mg/Kg e 738mg/Kg, com maior concentração na localidade de Beira Rio. (Figura 5.12)

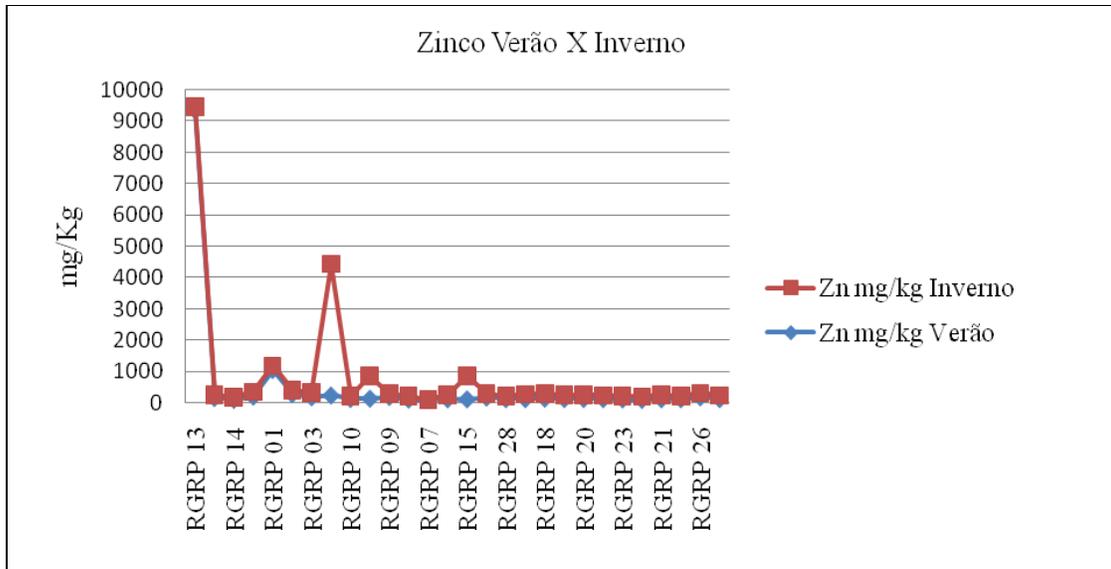


Figura 5.12.- Gráfico evidenciando a variação da concentração do zinco nas estações verão e inverno

Cobre (Cu)

O cobre ocorre sob a forma dos minerais cobre nativo, uma grande variedade de sulfetos, como: calcopirita e covellita, óxidos como: cuprita e hidróxi - carbonatos como malaquita e azurita. Os últimos dois geralmente são produtos de intemperismo acima de jazidas de sulfetos. (Wedepohl, 1978 citado por Parra, 2006).

No Rio Piranga, durante o verão, foram detectadas concentrações de cobre que variaram entre 52,2mg/Kg e 1892mg/Kg. No inverno as concentrações de cobre variaram entre 224,4mg/Kg e 27079mg/Kg, sendo a maior concentração encontrada no ponto localizado na cidade de Piranga, segundo Alloway (1993), o cobre tem como fonte, entre outras, o esgoto doméstico.

Nos tributários do Rio Piranga foram detectadas concentrações de cobre que variaram entre 39,95mg/Kg e 331,2mg/Kg durante o verão. No inverno, foram detectadas concentrações entre 44,66mg/kg e 291mg/Kg, sendo a mais elevada concentração encontrada no ribeirão Pirapetinga, ponto RGRP 16. (Figura 5.13)

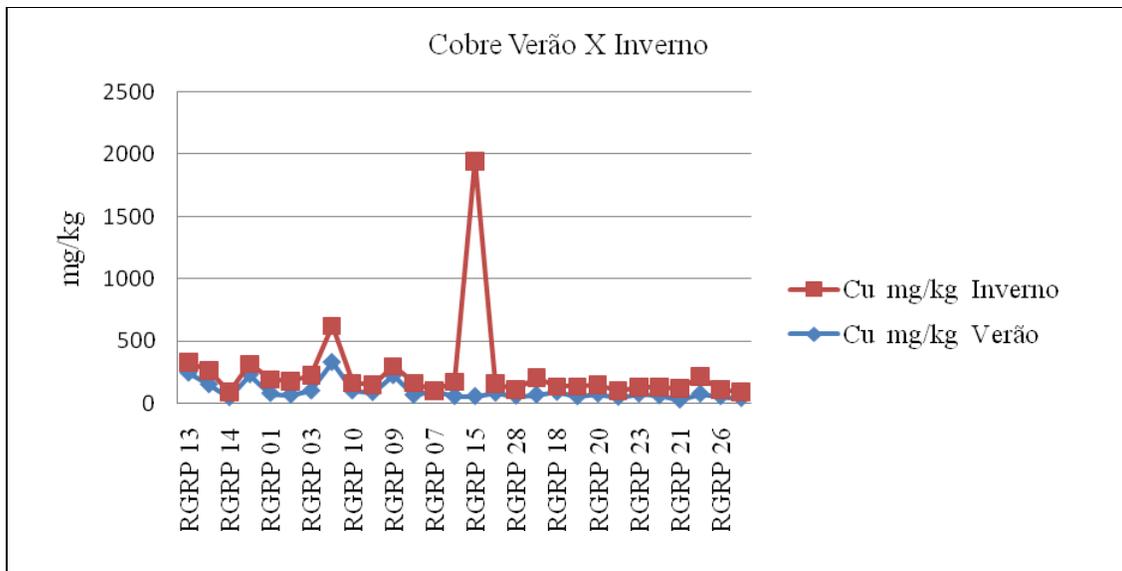


Figura 5.13 - Gráfico evidenciando a variação da concentração do cobre nas estações verão e inverno

Arsênio (As)

As ocorrências de As na região do Quadrilátero Ferrífero geralmente são conectadas com minas de Au, de onde As é liberado a partir de minerais como arsenopirita, que ocorrem em paragénese com outros sulfetos. No Rio Piranga, os teores de arsênio variaram entre < L.D. e 22,22mg/Kg no verão. Durante o inverno foram detectados valores entre 17,02mg/Kg e 35,97mg/Kg.

Nos tributários do Rio Piranga, foram determinadas as concentrações do arsênio variaram entre < L.D. e 17,44mg/Kg durante o verão. No inverno, as concentrações de arsênio variaram entre 11,6mg/Kg e 48,44mg/Kg. (Figura 5.14)

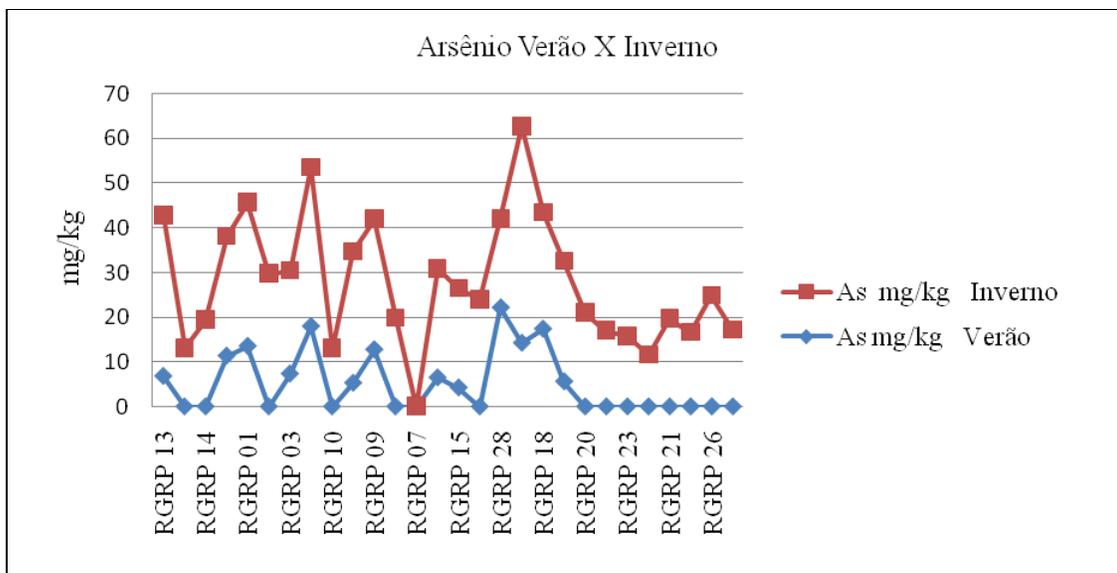


Figura 5.14 - Gráfico evidenciando a variação da concentração do arsênio nas estações verão e inverno.

Chumbo (Pb)

O chumbo é amplamente distribuído na crosta terrestre, sendo o maior constituinte de mais de 200 minerais, na sua maioria sulfetos. Os seus minerais mais importantes são o sulfeto de chumbo (galena), o carbonato de chumbo (cerussita), o sulfato de chumbo (anglesita) e o clorofosfato de chumbo (piromorfita). O chumbo apresenta tendência de se acumular em sedimentos e solos, (Wedepohl, 1978 citado por Parra., 2006).

Nos tributários do Rio Piranga, foram determinadas as concentrações do chumbo variaram entre < L.D. e 11,16mg/Kg no verão. Durante o inverno, as concentrações de a cobre variaram entre < L.D. e 4.321mg/Kg, sendo esse último dado detectado no ponto de amostragem 2.

No Rio Piranga, os teores de chumbo variaram entre < L.D. e 10,59mg/Kg durante o verão, no ponto de amostragem 21, foram detectadas as maiores concentrações, tanto no verão quanto no inverno. No inverno foram detectados valores entre < L.D. e 4.776mg/Kg, sendo o ponto de amostragem com a maior concentração deste elemento localizado na cidade de Piranga, segundo Alloway (1993), o chumbo tem entre outras fontes o esgoto doméstico. (Figura 5.15)

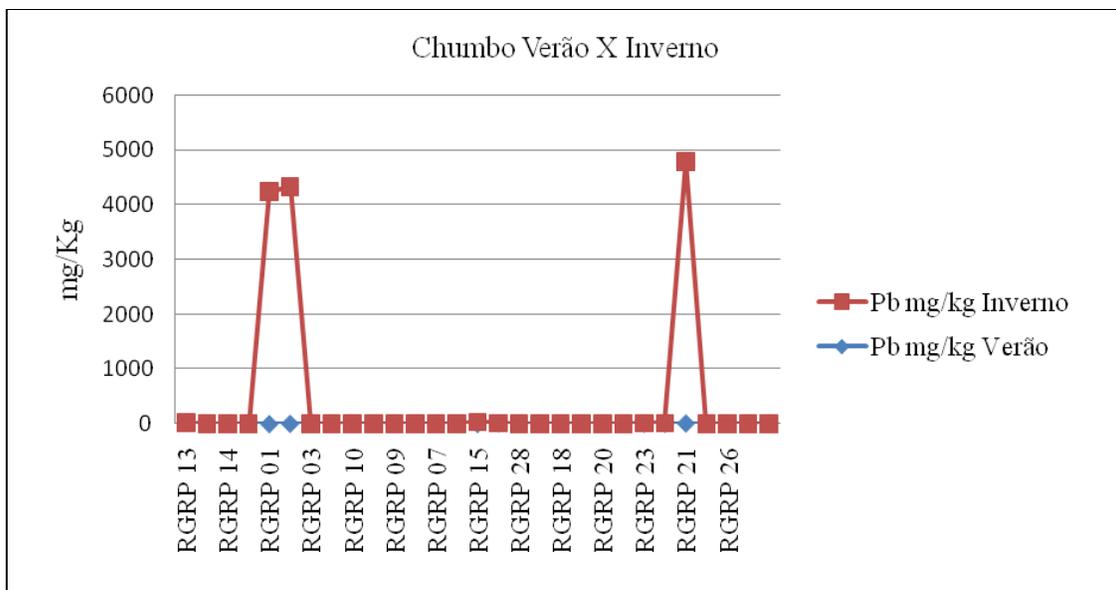


Figura 5.15 - Gráfico evidenciando a variação da concentração do chumbo nas estações verão e inverno.

As concentrações de chumbo nos pontos de amostragem 1, e 21, no Rio Piranga, e 2 no córrego do Mamão, apresentaram teores de chumbo no inverno superiores aos teores registrados no verão. Os Pontos 1 e 2 são pontos próximos e localizados à jusante do município de Piranga, o ponto 21 é localizado no município de Presidente Bernardes. Segundo Alloway, dentre outras fontes do chumbo estão o esgoto doméstico e a queima de combustíveis fósfil.

5.1.3.2 – Níveis de contaminação dos sedimentos

A CETESB com base em critérios adotados pela Agência do Meio Ambiente do Canadá (CEAA –*Canadian Environmental Assessment Agency*) estabelece padrões para a caracterização química e avaliação do teor de contaminação dos sedimentos. Os limites são para elementos como o arsênio, cádmio, chumbo, cromo, cobre e zinco. Os critérios dividem-se em dois níveis: um mais baixo denominado TEL – *threshold effect level*- e o mais alto, denominado PEL – *probable effect level*. Estes níveis delimitam intervalos de probabilidade de ocorrência de efeitos biológicos adversos. Abaixo destes limites, espera-se que raramente seja observado algum efeito adverso e acima destes limites, espera-se observar algum efeito adverso com maior frequência.

Os teores dos elementos arsênio, cádmio, chumbo, cromo, cobre e zinco nos sedimentos do Rio Piranga e seus tributários foram comparados com o nível PEL. De

acordo com essa comparação, o ponto RGRP 4, próximo à localidade de Beira Rio, merece destaque, pois exceto para o chumbo, apresentou concentrações acima do PEL para todos os elementos. O elemento chumbo não apresentou concentração acima do nível de efeito provável (PEL) em nenhuma das amostras, em qualquer uma das estações analisadas. O elemento zinco não apresentou concentração acima do nível de efeito provável (PEL) em nenhuma das amostras no verão, no inverno foram detectadas concentrações acima do PEL nos pontos 4, 5 e 15. O arsênio, no verão apresentou concentrações acima do PEL em apenas dois pontos de amostragem, no inverno os pontos 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 11, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 26, e 28 apresentaram concentrações acima do PEL. As concentrações de cobre, acima do nível de efeito provável (PEL) foram detectadas três pontos no verão, pontos 4, 9 e 11, e em apenas um ponto de amostragem, no inverno o ponto 4. No verão não foi realizada análise do cádmio nos sedimentos, no inverno, todas as amostras apresentaram concentrações acima do PEL. O elemento cromo apresentou seis amostras no verão, 2, 4, 5, 10, 12, 16 e quatro 4, 10, 12 e 17 no inverno acima do PEL.

Tabela 5.1 – Valores das amostras de sedimento comparadas aos valores padrão da CEEA.

Elemento	TEL (mg/Kg)	PEL (mg/Kg)	Amostras com valores acima do PEL (verão)	Amostras com valores acima do PEL (inverno)
Arsênio	5,9	17	4 e 18	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 11, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 26, e 28
Cádmio	0,6	3,5	*	Todas as amostras
Chumbo	35	90	Nenhuma das amostras	Nenhuma das amostras
Cobre	35,7	197	4, 9 e 11	4
Cromo	37,3	312,1	2, 4, 5, 10, 12 e 16	4, 10, 12 e 17
Zinco	123	315	Nenhuma das amostras	4, 5, 15

5.2 - Caracterização geoquímica dos solos

Os solos de maneira geral são compostos geralmente por fragmentos de rochas e minerais da litosfera, perfazendo 45%, da atmosfera, geralmente 25% de ar e gases; da

hidrosfera, geralmente 25% de umidade e da biosfera, aproximadamente 5% de material orgânico (Alvarenga & Souza, 1995 citado por Parra, 2006).

A maior proporção de um solo está formada de material oriundo da decomposição das rochas (Boyer, 1985 citado por Parra, 2006)

Teores de metais e metalóides como Al, As, Co, Cr, Cu, Fe, Li, Mg, Ni, V e Zn foram determinados por Espectrofotômetro de Emissão Atômica com Fonte de Plasma Indutivamente Acoplado (ICP-EOS), marca SPECTRO/ modelo *Ciros* CCD em operação no LGqA/DEGEO/UFOP.

5.2.1 – Elementos maiores

5.2.1.1 – Fe, Al e Mg

Alumínio (Al)

O alumínio dos solos provém dos minerais da rocha-mãe, tais como feldspatos, micas, anfibólios e piroxênios. No solo o alumínio é fixado na forma de hidróxido de alumínio como gibbsita ($\text{Al}(\text{OH})_3$), (Boyer, 1985 citado por Parra, 2006). Nas amostras de solo analisadas, o alumínio apresentou as maiores concentrações. Os teores de alumínio no solo variaram entre 142848mg/Kg e 174233mg/Kg.

Ferro (Fe)

Os principais minerais de ferro no solo são as biotitas, a magnetita e os óxidos e hidróxidos de ferro hematita e goethita, (Bornemisza 1982 *in* Parra 2006). Os teores de ferro no solo variaram entre 70364mg/Kg e 177867mg/Kg.

Magnésio (Mg)

As concentrações de magnésio nas amostras analisadas apresentaram teores muito baixos em relação aos elementos alumínio e ferro. Os teores de magnésio no solo variaram entre 1621mg/Kg e 3091mg/Kg. (Figura 5.16)

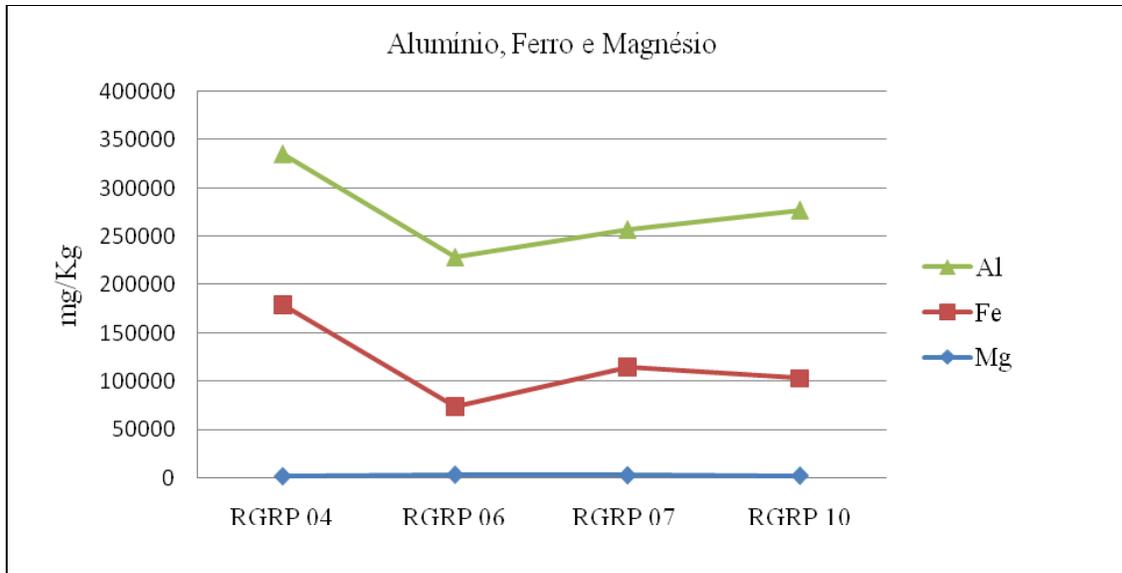


Figura 5.16 - Gráfico evidenciando as variações de concentração do alumínio, ferro e magnésio.

5.2.2 – Elementos traço

5.2.2.1 - Cobalto, Cromo, Níquel, Vanádio e Zinco

Cobalto (Co)

Os teores de cobalto no solo variaram entre 25,36mg/Kg e 141,9mg/Kg.

Cromo (Cr)

A poluição dos solos por cromo se dá pelo despejo de rejeitos de cromatos e o descarte de lodo de tratamento de esgoto em terra, (Alloway, 1993).

Os teores de cromo no solo variaram entre 126,4mg/Kg e 554mg/Kg.

Níquel (Ni)

Os teores de níquel no solo variaram entre 58,5mg/Kg e 402,5mg/Kg.

Vanádio (V)

Os teores de vanádio nas amostras de solo variaram entre 204,8mg/Kg e 525mg/Kg.

Zinco (Zn)

A poluição por zinco no solo esta associada a sua mineração e processamento, outra fonte é a do aço galvanizado, na forma de arame para cercas que gradualmente se dissolve com a chuva e atinge o solo, (Alloway 1993).

Os teores de zinco no solo variaram entre 100,5mg/Kg e 313,1mg/Kg.

A variação de concentração dos elementos Cobalto, cromo, níquel, vanádio e zinco é apresentada na figura 5.17.

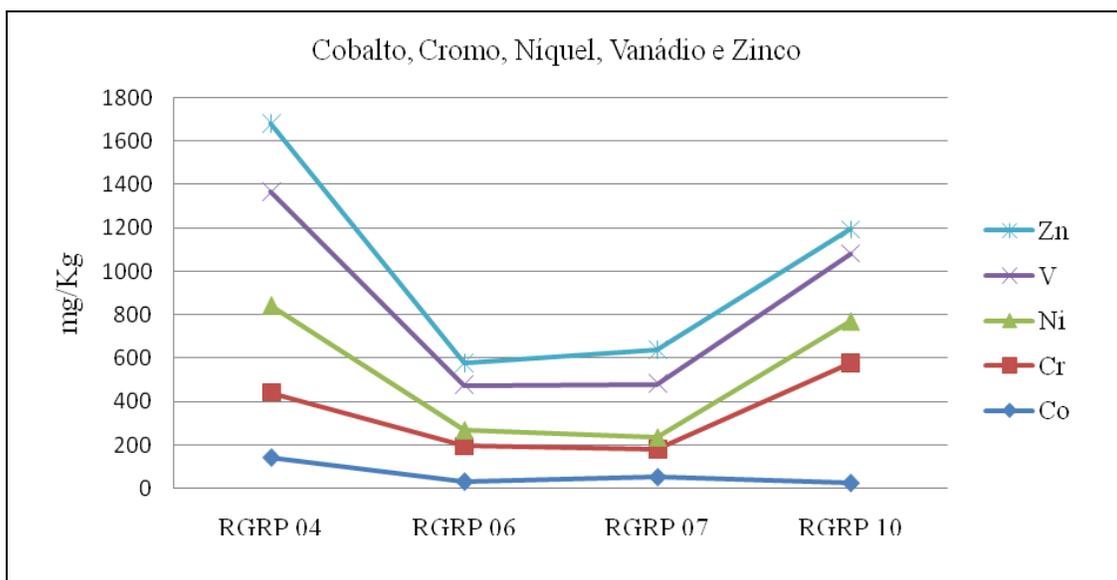


Figura 5.17 -- Gráfico evidenciando as variações de concentração do Cobalto, cromo, níquel, vanádio e zinco.

5.2.2.2 – As, Cu e Li

Arsênio (As)

Os teores de arsênio no solo variaram entre <L.D. e 20,38mg/Kg.

Cobre (Cu)

A contaminação provocada pelo cobre tem suas fontes na sua mineração e processamento, na fabricação de latão, “redes de distribuição de eletricidade” e o uso abusivo de agroquímicos a base de cobre, (Alloway 1993).

Os teores de cobre no solo variaram entre 72,2mg/Kg e 120,6mg/Kg.

Lítio (Li)

Os teores de lítio no solo variaram entre 5,16mg/Kg e 70,6mg/Kg.

A variação de concentração dos elementos de arsênio, cobre e lítio é apresentada na figura 5.18.

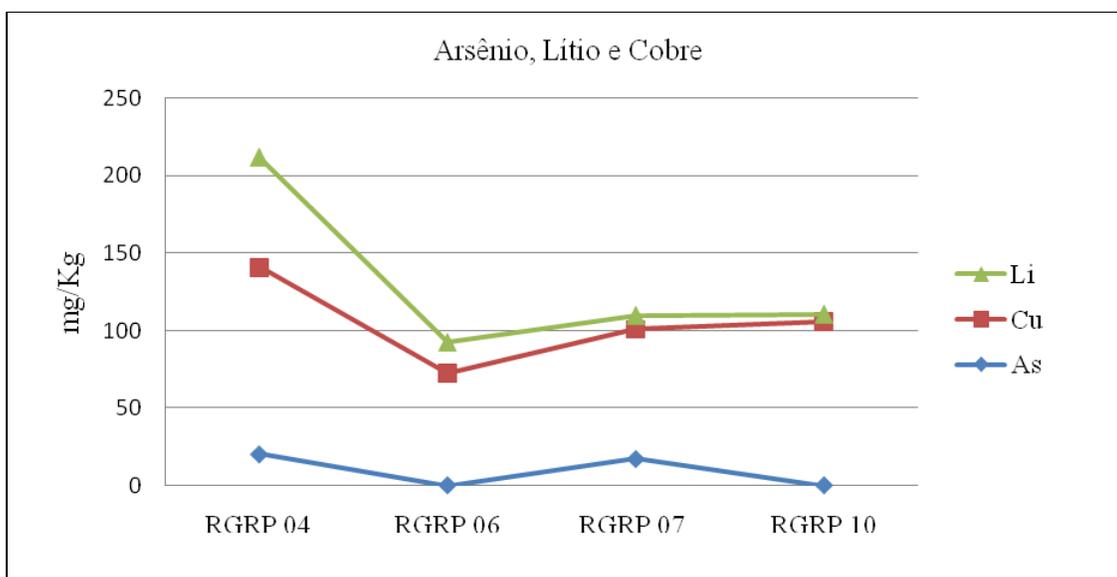


Figura 5.18 - Gráfico evidenciando as variações de concentração do arsênio, cobre e lítio.

5.2.3 – Valores de alerta dos solos

São Paulo é o primeiro Estado brasileiro a dispor de valores de referência de qualidade próprios para a avaliação dos graus de poluição do solo. A CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental- estabelece critérios, valores e padrões para o controle da presença de metais e substâncias orgânicas nesses meios.

O valor de alerta indica uma possível alteração da qualidade natural dos solos, enquanto o valor de intervenção indica o limite de contaminação do solo, acima do qual existe risco potencial à saúde humana.

Foram utilizados os Valores de Prevenção (VP que é a concentração de determinada substância, acima da qual podem ocorrer alterações prejudiciais à qualidade do solo). Este valor indica a qualidade de um solo capaz de sustentar as suas funções

primárias, protegendo-se os receptores ecológicos e a qualidade das águas subterrâneas. Foi determinado para o solo com base em ensaios com receptores ecológicos. Deve ser utilizado para disciplinar a introdução de substâncias no solo e, quando ultrapassado, a continuidade da atividade será submetida a nova avaliação, devendo os responsáveis legais pela introdução das cargas poluentes proceder o monitoramento dos impactos decorrentes. (CETESB, 2005).

As amostras de solo analisadas apresentam teores de chumbo e molibdênio abaixo dos valores de referência propostos pela CETESB (2005). Os elementos arsênio, cobalto, cobre, níquel e zinco apresentam teores muito acima dos valores de alerta.

Tabela 5.2 – Tabela comparativa entre valores de alerta para solos propostos pela CETESB (2001) e valores obtidos no estudo.

Elemento	Valores de prevenção propostos pela CETESB (2005) (mg/Kg)	Amostras com concentrações acima dos valores de alerta
Arsênio	15	RGRP 4, RGRP7
Chumbo	72	nenhuma
Cobalto	25	RGRP 4, RGRP 6, RGRP 7e RGRP10
Cromo	75	RGRP 4, RGRP 6, RGRP 7e RGRP10
Cobre	60	RGRP 4, RGRP 7e RGRP10
Molibdênio	30	Nenhuma
Níquel	30	RGRP 4, RGRP 6, RGRP 7e RGRP10
Zinco	300	RGRP 4

5.3 – Correlação solo - sedimentos

As rochas, solos e sedimentos têm relação direta quanto a sua natureza química. As substâncias químicas naturais que ocorrem nos solos e nos sedimentos originam-se das rochas que formam a crosta terrestre. Conseqüentemente, os tipos e as concentrações das substâncias químicas naturais nos solos e nos sedimentos dependem, principalmente, da composição dos minerais constituintes da rocha de origem, do meio ambiente e da ação antrópica. Os processos geodinâmicos transportam e redistribuem estas substâncias químicas naturais, particularmente metais, no ambiente geológico. Conseqüentemente, o conhecimento geoquímico é essencial para compreender a origem de substâncias químicas naturais nos solos e sedimentos é particularmente útil para fazer a distinção entre metais

naturais e os que podem ser associados à uma liberação química. (NAVFAC 2003 citado por Parra, 2006).

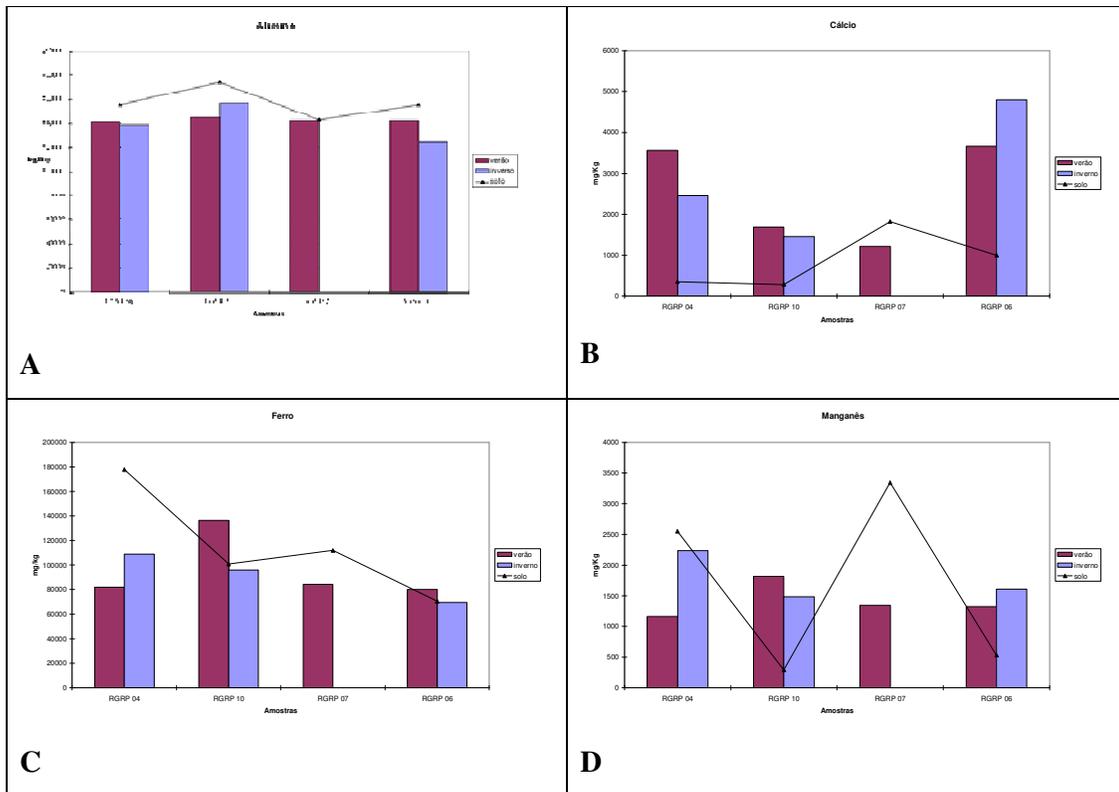
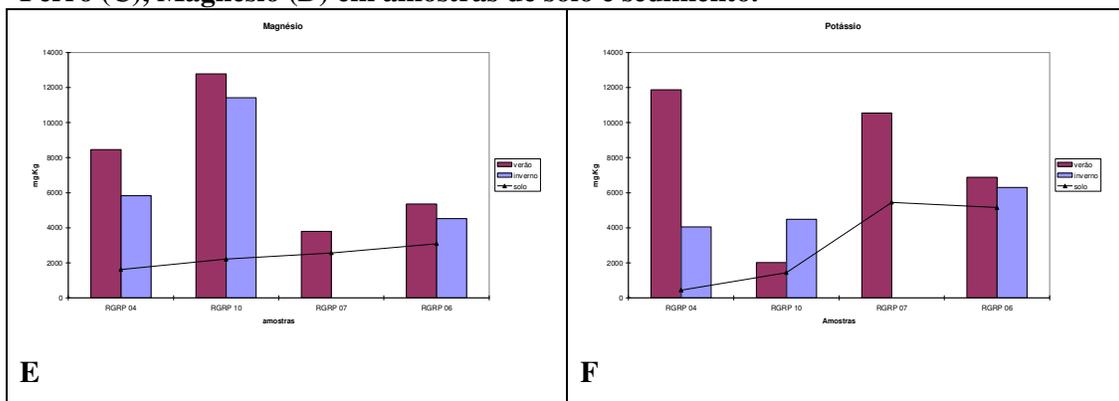


Figura 5.19 – Gráficos das concentrações dos elementos Alumínio (A), Cálcio (B), Ferro (C), Magnésio (D) em amostras de solo e sedimento.



Continuação Figura 5.19 - Gráficos das concentrações dos elementos Manganês (E) e Potássio (F), em amostras de solo e sedimento.

As amostras de solo e sedimento em A (alumínio) e C (ferro) indicam que a fonte é natural. As concentrações de cálcio, magnésio, manganês e potássio nos sedimentos da área estudada apresentam teores acima dos teores do solo, o que indica que suas fontes são

não naturais. As amostras B, D, E e F, apontam para outras fontes, como a contribuição antrópica destes elementos.

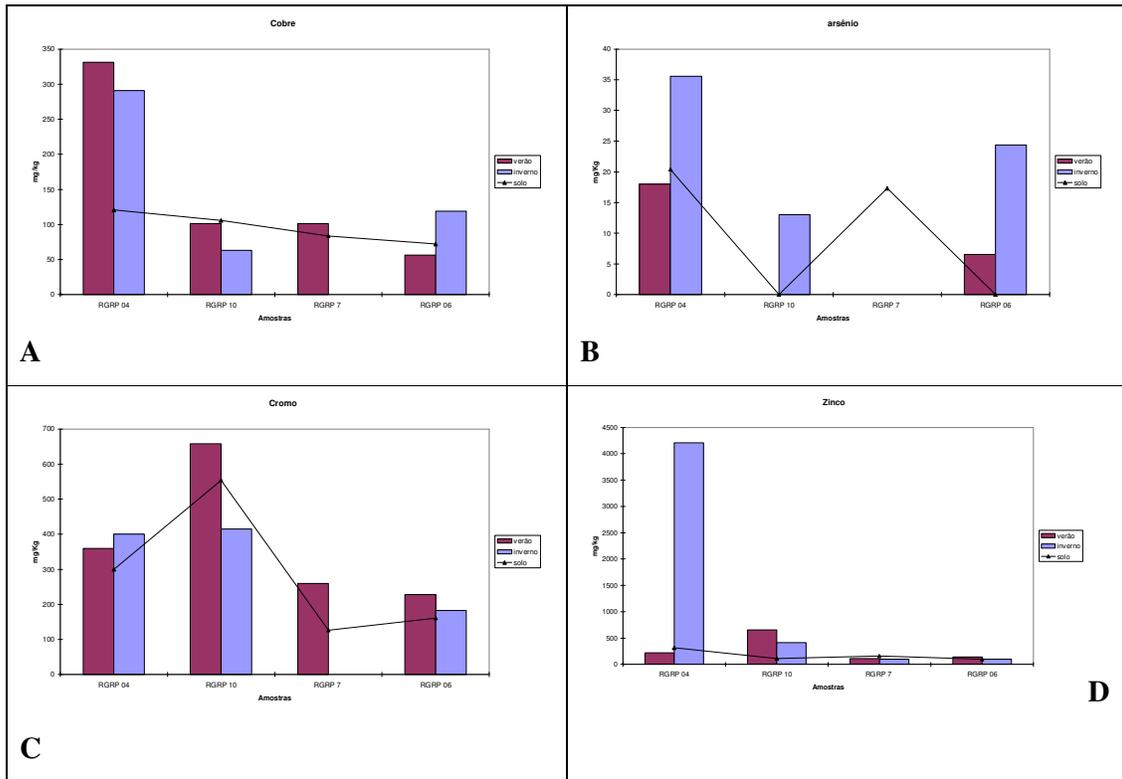


Figura 5.19 – Gráficos das concentrações dos elementos Cobre (A), Arsênio (B), Cromo (C) e Zinco, em amostras de solo e sedimento

As amostras de solo e sedimento em A (cobre), B (arsênio), C (cromo) e D (zinco) indicam fontes naturais, porém indicam também contribuição antrópica para todos os elementos

DISCUSSÕES

61. Qualidade da água do Rio Piranga e seus tributários

O resultado das análises realizadas nas amostras de água do Rio e seus tributários apresentaram parâmetros físico-químicos e geoquímicos com valores dentro dos limites estipulados pela Resolução CONAMA 357 para o uso descrito nas classes 1, 2 e 3.

Os elementos arsênio, berílio, cádmio, cromo, escândio, ítrio, lítio, molibdênio, níquel, e vanádio apresentaram concentrações menores que o limite de detecção do ICP-EOS.

6.2 - A classificação segundo Gibbs

A razão para se classificar um Rio é: determinar qual dos fatores ambientais naturais afeta a sua composição. Através de estudos de Rios bem conhecidos, é possível extrapolar os resultados para aqueles menos conhecidos. De acordo com a classificação de Gibbs (1970), os maiores mecanismos naturais que interferem na química das águas superficiais do mundo são: (1) precipitação atmosférica; tanto na composição quanto na quantidade; (2) intemperismo das rochas; (3) evaporação e a cristalização fracionada. Um diagrama na forma de “boomerang” é resultado de quando se plota a média de dois cátions principais nas águas superficiais do mundo, Ca^{++} , e Na^+ , plotado com $\text{Na}/(\text{Na}+\text{Ca})$, versus TDS. Os Rios são posicionados em áreas dominadas por cada um dos três mecanismos, em outras palavras, nos três cantos do boomerang, ou em áreas intermediárias, onde mais de um mecanismo influencia sua composição. O eixo TDS é quase inversamente proporcional à medida pluviométrica e a drenagem da chuva. A precipitação atmosférica interfere Rios localizados em áreas com elevada precipitação; evapo-cristalização, interfere em Rios localizados em regiões áridas; enquanto que o intemperismo interfere em Rios localizados em áreas de precipitação intermediárias. “Desta maneira, essa classificação se baseia em sua extensão na quantidade de chuva, e conseqüentemente, no escoamento.” Gibbs também encontrou localizações praticamente idênticas para quase todos os Rios se um diagrama similar fosse elaborado a partir de $\text{Cl}/(\text{Cl}+\text{HCO}_3)$ em substituição ao $\text{Na}/(\text{Na} + \text{Ca})$.

De acordo com Gibbs (1970, citado por Berner, 1987), nos Rios onde a composição é influenciada basicamente pela precipitação atmosférica são aqueles que apresentam composição semelhante à da chuva, isto é, baixo TDS e alto Na comparado à Ca (ou alto Cl se comparado ao HCO_3).

No canto inferior direito do boomerang estão localizados, geralmente, Rios tropicais da América do Sul, África e Rios das planícies da costa do atlântico dos EUA, em

áreas de elevada pluviometria, baixo relevo e elevada influencia do intemperismo ou erosão de rochas arenosas resultando baixo aporte de sais dissolvidos.

A porção média do boomerang, onde os valores de TDS são intermediários e os valores de $\text{Na}/(\text{Na}+\text{Ca})$ são baixos, é a posição dos rios que têm sua composição influenciada, segundo Gibbs, pelo intemperismo. Esta posição é a da maioria dos rios do mundo, para esses rios, o intemperismo promove o aporte de grande parte dos sais dissolvidos. Desde que as rochas sedimentares ocuparam cerca de 75% da superfície da Terra e o seu intemperismo é dominado pela dissolução de CaCO_3 , pode-se esperar que rios influenciados pelo intemperismo se constituíram principalmente de $\text{Ca}^{++} + \text{HCO}_3^-$ resultantes da dissolução do carbonato. Isso é porque tais rios são plotados com valores baixos de $\text{Na}/(\text{Na}+\text{Ca})$ e $\text{Cl}/(\text{Cl}+\text{HCO}_3^-)$.

Os dados das amostras de água no inverno foram utilizados para a elaboração dos gráficos inseridos nas figuras 6.1, 6.2 e 6.3.

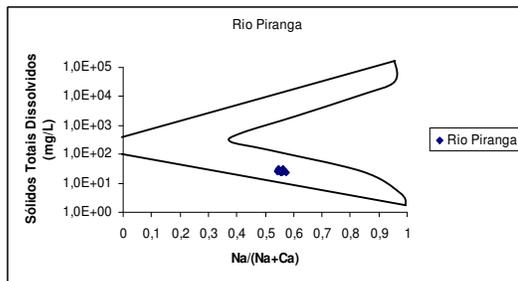


Figura 6.1 – Diagrama boomerang das amostras do Rio Piranga

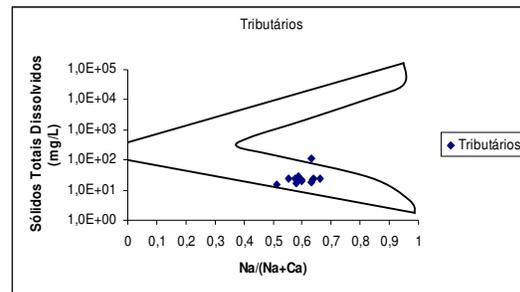


Figura 6.2 – Diagrama boomerang das amostras dos tributários do Rio Piranga

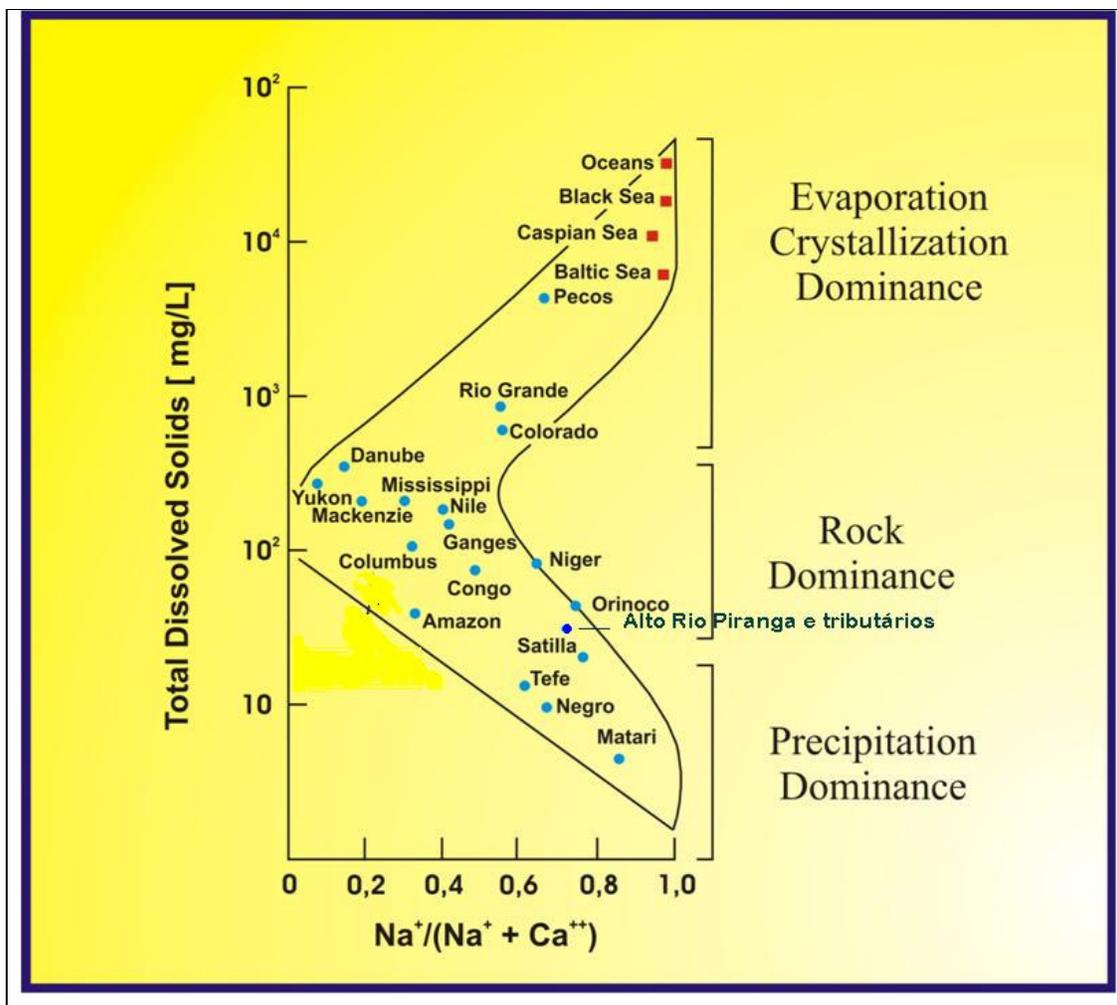


Figura 6.3 - Diagrama boomerang das amostras do Rio Piranga e seus tributários

A localização do alto Rio Piranga no diagrama boomerang evidencia a influência da litologia nas amostras analisadas e a sazonalidade comprovada pela diferença de concentração da maioria dos elementos quando comparados verão X inverno.

6.3 - Níveis de contaminação nos sedimentos

Para determinar a qualidade dos sedimentos, utilizaram-se duas metodologias.

A correlação entre os teores dos elementos alumínio, arsênio, cálcio, cobre, cromo ferro, magnésio, manganês, potássio e zinco, nas amostras de solo e sedimento, a presença destes elementos é natural para a área. Os elementos cálcio, cromo, cobre, potássio, magnésio e manganês e zinco apresentaram concentrações nos sedimentos de fundo de

corrente superiores aos teores dos solos, indicando que outras fontes contribuem para a elevação de suas concentrações.

E, a partir da comparação dos valores de concentração das amostras e índices de PEL, apontou-se que existe contaminação do sedimento capaz de provocar efeito adverso sobre a biota com destaque para o ponto 4, pois exceto para o chumbo, apresentou concentrações acima do PEL para todos os elementos. Existe contaminação difusa arsênio e cádmio, principalmente no inverno, contaminação pontual de zinco, cromo e cobre, não foi detectado contaminação por chumbo em nenhuma das amostras.

6.4 - Contaminação do solo

Para determinar a qualidade dos solos, foram comparados os teores dos elementos arsênio, chumbo, cobalto, cromo, cobre, molibdênio, níquel e zinco com os valores orientadores para solos da CETESB. Os elementos chumbo e molibdênio apresentaram valores abaixo dos valores de prevenção propostos. Os elementos arsênio, cobalto, cobre, níquel e zinco apresentam teores acima dos valores de prevenção, indicando um enriquecimento, fruto da influência antrópica.

A presença do arsênio na região é indício de contaminação provocada pela ação antrópica, há registros de exploração aurífera na área estudada.

6.5 - Diagramas de correlação

Muitos minerais, mesmo tendo uma composição definida, não são compostos estequiométricos, isto é, acontecem substituições de elementos químicos nos seus retículos cristalinos. Tais substituições, favorecidas por cargas e raios iônicos similares (regras de Goldschmidt), podem atingir poucas percentagens. Fala-se nesse caso de diadécia. Um exemplo disso: os teores de Ag na galena (PbS). Em outros casos, a substituição pode ser até completo. Fala-se neste caso de isomorfismo, exemplo: olivina com seus membros extremos Fayalita (Fe_2SiO_4) e Forsterita (Mg_2SiO_4). Ocorrem, além disso, muitos minerais contendo mais do que um cátion, numa relação quase constante, exemplo Dolomita ($\text{Ca Mg}(\text{CO}_3)_2$).

Tais minerais, sofrendo processos de desagregação, liberam sempre os seus constituintes em quantias similares. Ou seja, se, por exemplo, um dolomito, contendo principalmente o mineral dolomita, intemperiza-se, Ca e Mg são liberados simultaneamente. Se muita rocha é desintegrada, os teores de Ca e Mg crescem numa escala igual. Se só pouco material foi alterado, as considerações de Ca e Mg ficam baixas, mas sempre nas mesmas relações.

Tomando este princípio como base, foram elaborados alguns gráficos exemplificando as semelhanças na distribuição das concentrações existentes entre alguns elementos no Rio Piranga e seus tributários.

Cálcio e magnésio

O cálcio (Ca) e o magnésio (Mg) são dois elementos tipicamente litófilos no sentido da classificação de Goldschmidt (1937). Eles fazem parte dos elementos maiores na composição da crosta terrestre.

Favorecido por raios iônicos semelhantes, seguindo a regra das substituições de Goldschmidt, eles ocorrem em comum em muitos minerais formadores de rochas. Outra característica típica dos dois elementos é a possibilidade e a frequência da sua substituição em muitos minerais.

Participam, deste modo, na formação do grupo dos carbonatos (calcita = CaCO_3 , magnesita = MgCO_3 e, principalmente dolomita = $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$). Ocorrem como nesosilicatos (granadas $\text{X}^{2+}_3\text{Y}^{3+}_2(\text{SiO}_4)_3$ – com Ca e Mg na posição de X^{2+}), como olivina ($\text{Fe,Mg}(\text{SiO}_4)$) e, além disso, inosilicatos como piroxênios ($\text{X}_2\text{Si}_2\text{O}_6$) e anfibólios ($(\text{X}^{2+})_7[(\text{OH})_2\text{Si}_8\text{O}_{22}]$) incorporando esses elementos também nas posições de X^{2+} .

Assim não surpreende a correlação positiva destes dois elementos na região em estudo. Isso reflete, com certeza, uma ocorrência litológica em comum, já que muito dos minerais mencionados ocorrem em rochas do Grupo Dom Silvério, Evagelista & Roeser (1990), cuja litologia influencia grande parte da área em estudo. Parte do cálcio pode ser resultante do intemperismo dos feldspatos.

Toda essa discussão evidencia, assim, que estes elementos são oriundos de uma mesma fonte, neste caso as formações litológicas em que se encontram.

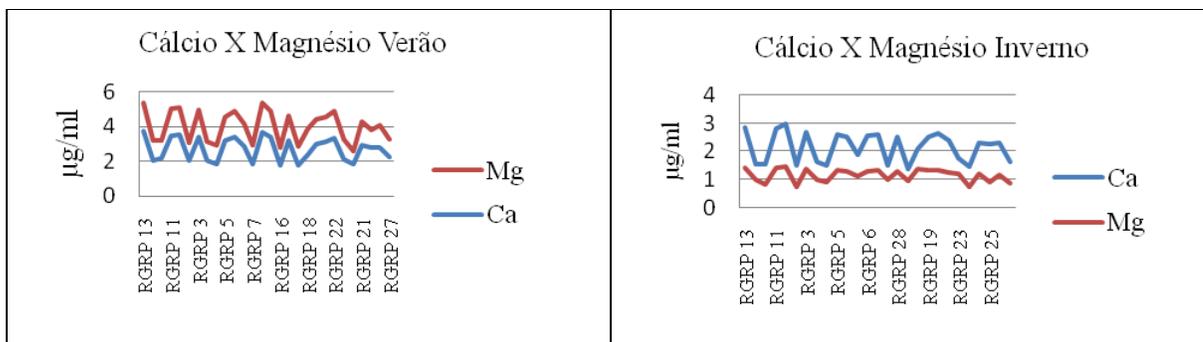


Figura 6.4. - Variação da concentração Ca/Mg na água durante o verão.

Figura 6.5 - Variação da concentração Ca/Mg na água durante o inverno

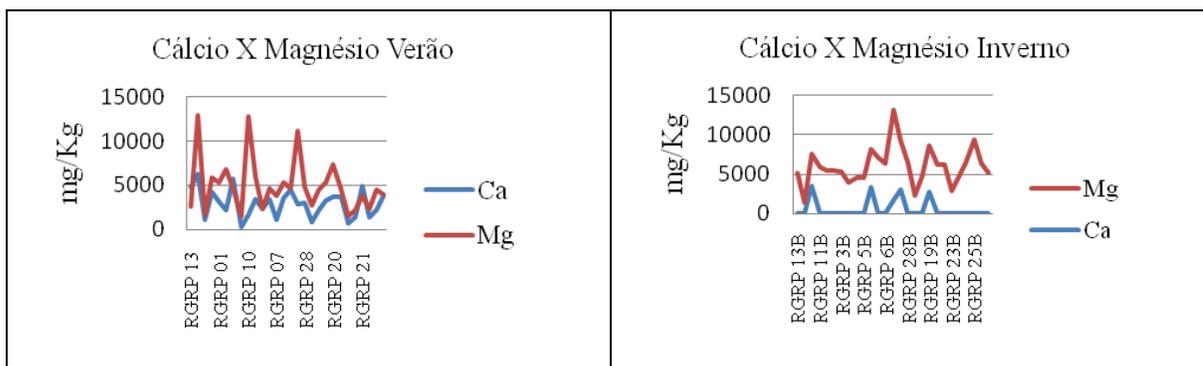


Figura 6.6 - Variação da concentração Ca/Mg no sedimento durante o verão

Figura 6.7 - Variação da concentração Ca/Mg no sedimento durante o inverno.

Como mostram as Figuras 6.4, 6.5, 6.6 e 6.7, cálcio e magnésio apresentam distribuições bastante semelhantes, indicando correlações positivas, tanto nas suas águas como nos sedimentos.

Potássio e sódio

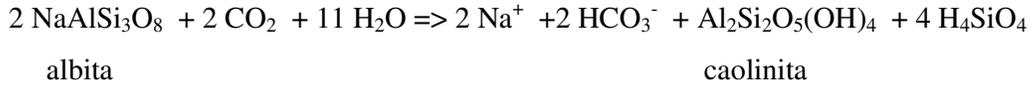
A distribuição de potássio e sódio deve-se, com certeza, à litologia local. Os dois elementos fazem parte dos dez elementos mais abundantes na crosta terrestre. Eles são fixados principalmente nos feldspatos.

O sódio forma juntamente com cálcio a solução sólida dos plagioclásios, e encontra-se na composição de albita ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$). O potássio ocorre na forma de um feldspato alcalino (ortoclásio KAlSi_3O_8).

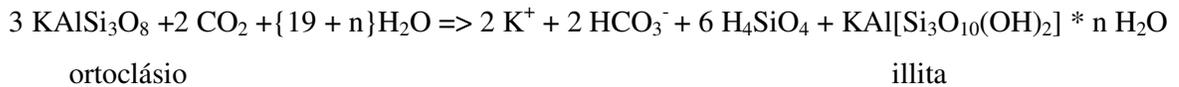
Os feldspatos fazem parte dos 6 grupos de minerais mais frequentes da crosta da Terra, os plagioclásios com 39 % Vol. e o ortoclásio com 12 % Vol. Durante processos do intemperismo, muito comuns na área em estudo, estes feldspatos desintegram-se sob a

influência dos componentes do intemperismo, basicamente H₂O e CO₂, conforme as equações:

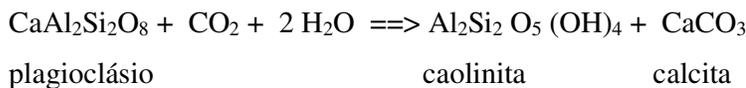
Equação (1):



Equação (2):

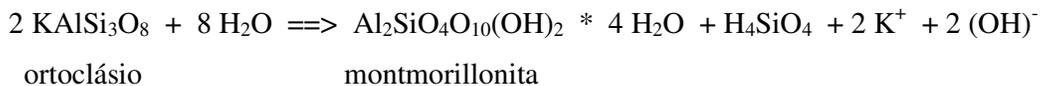


Equação (3):

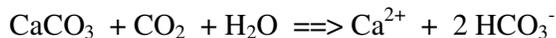


É interessante mencionar, neste sentido, que o intemperismo de 280g de ortoclásio gasta 88g de CO₂. Muito comuns também são os simples processos de hidrólise que atuam sem participação de CO₂, como mostra a equação seguinte:

Equação (4):



Como resultados destes processos, ocorrem neoformações de minerais de argila, liberando no mesmo momento os elementos em questão (Na, K e Ca), e, produzindo ácido silícico H₄SiO₄ (Equação (1), Equação (2) e Equação (4)), que por sua vez agora entra, e outros processos de intemperismo. Como o intemperismo atua sempre como um conjunto de vários processos, geralmente são formados nas rochas em questão também óxidos e hidróxidos de Fe e Al. A calcita neomformada durante a alteração do plagioclásio (Equação (3)), por sua vez, pode entrar nos valores de pH baixos, em desintegração através da equação:



Liberando assim íons de Ca²⁺.

Os resultados desse complexo grupo de reações do intemperismo refletem-se, como se pode observar, na semelhante distribuição destes elementos, contribuindo para a presença destes na água e sedimentos do Rio Piranga e seus tributários.

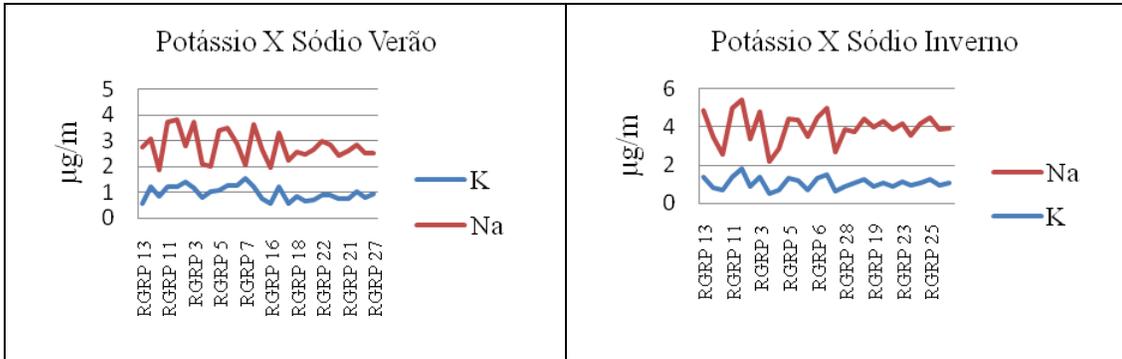


Figura 6.8 – Variação da concentração de K/Na nas águas durante o verão.

Figura 6.9 – Variação da concentração de K/Na nas águas durante o inverno.

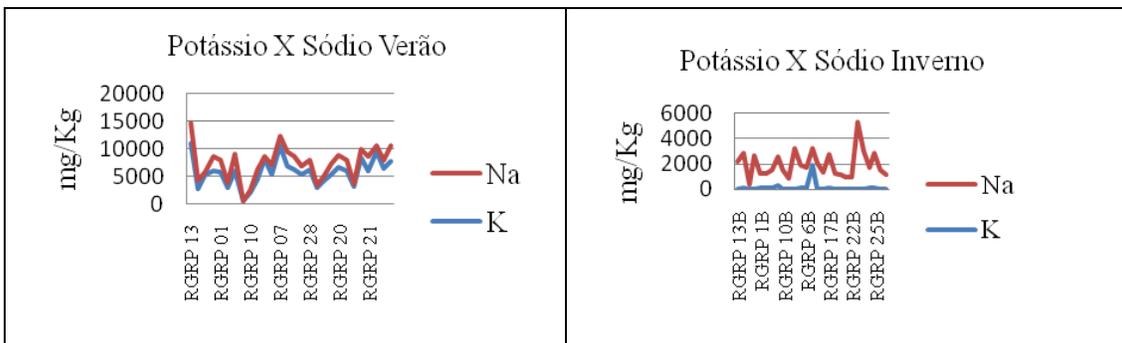


Figura 6.10– Variação da concentração de K/Na nos sedimentos durante o verão

Figura 6.11 – Variação da concentração de K/Na nos sedimentos durante o inverno

Observa-se que no ponto RGRP 15, localizado na cidade de Piranga há considerável elevação na concentração de sódio, indicando uma fonte não-natural para o elemento.

Zinco e cobre

O gráfico das figuras 6.12 e 6.13 evidenciam oscilação no teor de zinco, não acompanhando de forma proporcional o teor de cobre. O zinco, como elemento calcófilo, ocorre geralmente em conjunto com outros elementos deste tipo, como, por exemplo, Pb, Cu, As, Cd. Porém, na área estudada, o comportamento do zinco não caracteriza correlação positiva entre estes elementos nas amostras de água.

O cobre mostra-se menos problemático, com concentrações oscilando entre 5mg/Kg e 10mg/Kg durante o verão e abaixo do limite de detecção durante o inverno.

O zinco apresenta picos de concentrações nos pontos 3, 4, 5, 7, 9, 10, 23 e , 25, indicando que o enriquecimento pelo elemento zinco não é de fonte natural.

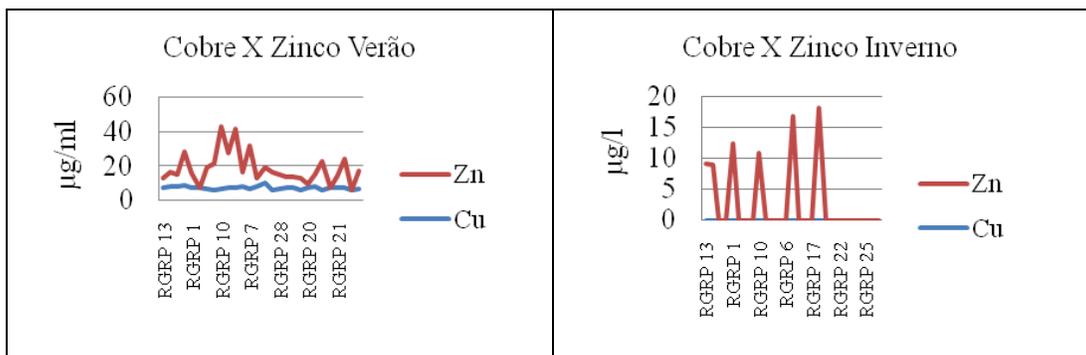


Figura 6.12 – Variação da concentração de Cu/Zn nas águas durante o verão.

Figura 6.13 - Variação da concentração de Cu/Zn nas águas durante o inverno

Nas amostras de sedimento podemos identificar correlação bastante positiva entre os elementos cobre e o zinco, Contrariando o que foi registrado nas amostras de água.

O cobre e o zinco são elementos tipicamente calcófilos, são derivados da mesma fonte, como mostram as correlações positivas entre eles (Fig. 6.14 e 6.15). Em estudos em outras regiões do Quadrilátero Ferrífero, como por exemplo, no baixo curso do Rio Conceição, onde se encontram as minas de ouro, a ocorrência destes elementos é ligada aos processos de drenagem ácida, conectadas geralmente com minas de ouro (Parra et. al., 2006).

Na região do Alto Rio Piranga, encontraram-se testemunhos para atividades de garimpeiros. Isso poderia levar á conclusão, de que onde há ouro, deveria ter elementos calcófilos, como Zn e Cu. Por outro lado, Roeser *et al.* e Polli *et al.* já mostraram em 1984, que especialmente os teores de Cu e Zn nos sedimentos do Rio Piranga e seus tributários poderiam ser correlacionados com rochas básicas como rochas verdes, anfíbolitos e anfíbólio xistos, encontrados como inclusões no Complexo Mantiqueira.

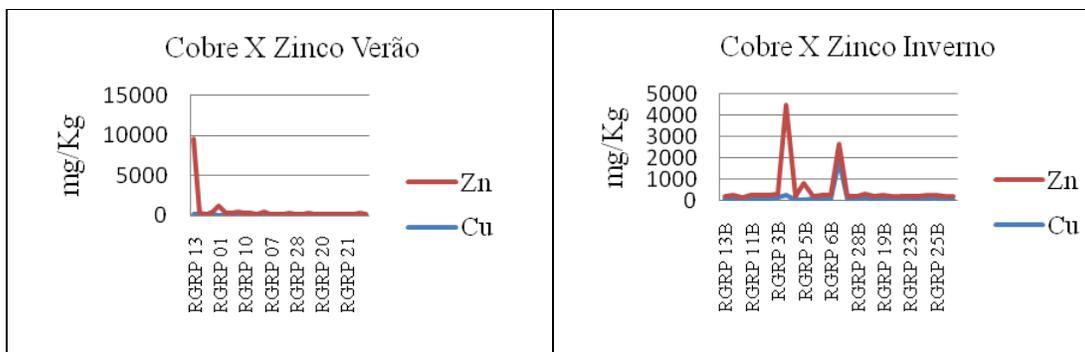


Figura 6.14 – Variação da concentração de Cu/Zn nos sedimentos durante o verão.

Figura 6.15 - Variação da concentração de Cu/Zn nos sedimentos durante o inverno.

É interessante frisar que estudos mais profundos devem ser feitos para confirmar a possibilidade de ocorrência natural (se o zinco neste caso não está ligado com algum tipo de sulfeto) ou se, eventualmente, temos nas águas uma fonte de poluição antropogênica.

Cromo e Níquel

Cromo e Níquel são classificados por Goldsmidt (1923/1937) como típicos elementos siderófilos (Cr parcialmente litófilo, White, 1977). A sua ocorrência como elementos traços, acontece principalmente em relação com rochas ultramáficas. Especialmente o Ni, que tem no seu estado 2+ um raio iônico igual do que Mg^{2+} (78 pm) está substituindo este elemento em rochas ricas em minerais ferro-magnesianos. Tais minerais máficos são os principais constituintes de rochas ultrabásicas - ultramáficas, que ocorrem na região em estudo (Roeser & Evangelista, 1980). São olivina, piroxênios, serpentina e talco que ocorrem nas unidades litológicas da região, quer dizer no Supergrupo Rio das Velhas. O Cr por sua vez é intimamente ligado com o Ni, como mostram os estudos em rochas metabásicas e metaultramáficas por Roeser & Müller, 1979 e Roeser, U. et al., 1980. Com base em relações positivas entre estes dois elementos, os autores puderam indicar uma origem “Orto” para anfibolitos e esteatitos pesquisados, da região do Quadrilátero Ferrífero e suas bordas orientais, incluindo partes da região e questão. Além disso, Cr anda junto com Fe, principalmente no estado 2+ como mostra o principal mineral de Cr, a Cromita ($Fe^{++}Cr_2O_4$). Nele Cr ocorre no estado 3+, que representa sua ocorrência principal na litosfera. Pela similaridade dos seus raios iônicos com Fe ($Fe^{2+}, Cr^{2+} = 82 - 84$ pm, $Fe^{3+}, Cr^{3+} = 67 - 64$ pm), Cr pode entrar nos lugares de Fe em outros compostos cristalinos. Assim se explica a relação positiva entre estes dois elementos, que foi observada em

sedimentos da área estudada (Figuras 6.16 e 1.17), indicando também para esses dois elementos uma origem natural litológica.

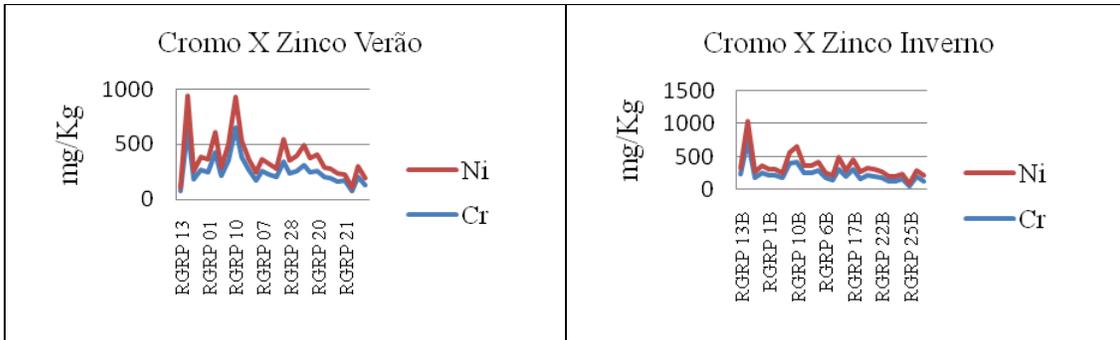


Figura 6.16 – Variação da concentração de Cr/Ni sedimentos durante o verão.

Figura 6.17 – Variação da concentração de Cr/Ni nos sedimentos durante o inverno.

Não foi detectado a presença de cromo ou níquel em nenhuma das amostras de água da área estudada.

A oscilação sistemática nas concentrações de cromo e zinco nos sedimentos, permite suspeitar que os elementos são provenientes de uma origem comum.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Para a elaboração das conclusões torna-se necessário uma retomada dos objetivos desta dissertação, que foi a caracterização e monitoramento dos parâmetros físico-químicos de qualidade das águas, determinação de contaminação natural por elementos metálicos nos sedimentos de corrente e quantificação de metais em água, sedimento e solo da parte superior do Rio Piranga.

Segundo os parâmetros estipulados pela Resolução CONAMA 357, utilizados para a caracterização ambiental das águas neste estudo, pôde-se classificar trechos do Rio Piranga e seus tributários como classe 1, 2 e 3. Os valores de TDS, pH, turbidez, cloreto, sulfato, bário, alumínio e zinco apresentaram concentrações que permitem classificar as águas do Rio e seus tributários para uso descrito para águas das classes 1 e 2. Os elementos: cobalto, cobre, manganês e ferro apresentaram concentrações que permitem classificar as águas do Rio e seus tributários para uso descrito para águas de classes 1, 2 e 3.

A sazonalidade dos parâmetros utilizados foi comprovada, exceto alguns elementos que apontaram aumento na sua concentração no inverno, como o alumínio nos pontos 1, 15 e 20, cloreto nos pontos 1, 2, 4, 6, 8, 10, 19 e 28, zinco nos pontos 1, 12, 13, e 18 e manganês nos pontos 2, 4 e 14.

A posição do Rio Piranga e seus tributários no diagrama “boomerang”, segundo a classificação de Gibbs, corrobora a sazonalidade e confirma a influência da litologia na qualidade da água.

Os critérios utilizados para classificar a qualidade do sedimento indicam que há moderado a elevado grau de contaminação pelos elementos cálcio, cromo, cobre, potássio, magnésio, manganês, zinco arsênio e cádmio, e que não há contaminação por chumbo.

A correlação das concentrações de elementos no solo e sedimento indica que a presença dos elementos ferro e o alumínio é natural, e que para os elementos cálcio, magnésio, manganês, potássio, cobre, arsênio, cromo e zinco, além do aporte natural, devido à sua presença no solo há também contribuição antrópica para seus elevados teores.

Os diagramas de correlação indicam que os elementos Cr/Ni, K/Na e Ca/Mg, possuem correlação positiva, concluindo-se que têm origem de uma fonte comum.

Nas amostras de sedimento e solo verifica-se a presença de Cu e Zn na área estudada. Porém, o resultado da correlação Zn/Cu, não indica correlação positiva,

evidenciando o enriquecimento por zinco, possivelmente como resultado das atividades antrópicas na região.

A presença humana nas mais variadas regiões é inevitável, a busca da qualidade de vida é incessante. Neste contexto, embora não tenha sido realizada determinação da qualidade biológica da água e sedimento neste estudo, acredita-se que vários elementos incorporados ao esgoto doméstico e industrial sejam despejados nas águas dos Rios sem qualquer tratamento prévio, influenciando sua qualidade. Para que a condição ambiental desta bacia seja menos impactada pela ação humana, sugere-se:

- A implantação de tratamento de esgoto, principalmente nos municípios de Piranga e Presidente Bernrdes.;
- Incentivar a construção de fossas sépticas, com suporte técnico especializado, nos locais onde o tratamento do esgoto doméstico é inviável; pois nos distritos visitados foram visullizados descargas domésticas diretamente nos rios;
- Ampliação dos estudos geoquímicos para detectar as fontes de contaminação antrópicas dos diversos elementos químicos;
- Ampliação dos estudos geoquímicos para detectar as fontes de aporte natural dos elementos e maneiras para mitigar seus efeitos na natureza.

- AGUDO, E.G. *Guia de coleta e preservação de amostra de água*. 1 ed. CETESB, São Paulo. 1987. 150 p.
- ALLOWAY, B. J. *Heavy Metals in Soils*. Blackie: Chapman & Hall, New York. 1990. 139p.
- BERNER, E.K. *The global water cycle: geochemistry and environment*. Englewood Cliffs, Prentice-Hall. 1987. 397p.
- CETESB, Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, <<http://www.cetesb.sp.gov.br/Agua/Rios/variaveis.asp>>. Acesso em 05 nov 2008.
- CETESB, *Introdução ao controle de poluição* (1992).
- COMITÊ DE BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DOCE CBH- Rio Doce, (2009) <http://www.ana.gov.br/cbhriodoce/bacia/caracterizacao.asp>. Acesso em 22/01/2009
- CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente) 2005. Resolução do CONAMA N° 357 de 17 de março de 2005. <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>
- CRUZ, L. V. *Avaliação geoquímica ambiental da estação ecológica do Tripuí e adjacências, Sudeste do Quadrilátero Ferrífero, MG. Dissertação de Mestrado, Departamento de Geologia, Universidade Federal de Ouro Preto*. 2002. 147 p.
- ESTEVES, F.A. *Fundamentos de Liminologia*. 2 ed. Rio de Janeiro. Editora Interferência Ltda. 1998. 602 p.
- EVANGELISTA, H.J.; ROESER, H.M.P. *Sobre O Manganês No Distrito de Saúde e Suas Rochas Encaixantes (Grupo Dom Silvério), Minas Gerais*. Revista da Escola de Minas. 1990. 43: 36 – 43p.
- FÖRSTNER, U. *Traceability of sediments analysis. Trends in Analytical Chemistry*. 2004. 23(3):217-236.
- GOLDSCHMIDT, V.M. *Geochemische Verteilungsgesetze der Elemente. Videnskapsselskapets Skrifter I, Mat. Naturw. Kl. No. 3 /4*. 1937.
- GREENBERG, A.E.; CLESCERI, L.S.; EATON A.D. (Ed.). *Standard methods for the examination or water and wastewater. 18 ed. Ed. American Public Health Association*. 1992.
- GUIMARÃES, A.T.A. *Avaliação Geoquímica Ambiental da Barragem do Ribeirão da Cachoeira, Ouro Preto, Sudeste do Quadrilátero Ferrífero, MG. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Departamento de Geologia. Programa de Pós-graduação em Evolução Crustal e Recursos Naturais*. 2005.

- JESUS, G.D. *Geologia da Região de Paracatu - Sumidouro, Setor SE. Escala 1:10.000, Município de Piranga, MG. Trabalho acadêmico (Monografia). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas . Departamento de Geologia. 2002.*
- MASON, B.H., MOORE, C.B. *Principles of Geochemistry*. 4a. Ed., John Wiley & Sons. 1982. 350 p. New York
- MELO, R.J. *Geologia do setor NW da região de Paracatu - Sumidouro, Município de Piranga, MG, Trabalho acadêmico (Monografia). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas . Departamento de Geologia. 2002.*
- NAVFAC. *Guidance for Enviromental Background Analysis*. Washington, Naval Facilities Enfineering Command, DC 20374 – 5062. 2003. 217p.
- PARRA, R.R. *Análise geoquímica de água e sedimentos afetados por minerações na bacia hidrográfica do Rio Conceição, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais- Brasil. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Departamento de Geologia. Programa de Pós- Graduação em Evolução Crustal e Recursos Naturais. 2006.*
- PARRA, R.R., ROESER, H.M.P., LEITE, M.G.P. NALINI JR., H.A. GUIMARÃES, A.T.A., PEREIRA, J.C., FRIESE, K. *Influência Antrópica na Geoquímica de Água e Sedimentos do Rio Conceição, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil* *Geochimica Brasiliensis*. 21(1) 036 – 049. 2007.
- POLLI, G.O.; ROESER, H. M. P.; KRISOTAKIS, K. *Prospecção Geoquímica no Embasamento SE do Quadrilátero Ferrífero, M.G. (Folha de Ponte Nova)*. In Anais XXXIII Congresso Brasileiro de Geoquímica, Rio de Janeiro. 1984. 4561-4569p.
- PHILIPPI JR, A. *Saneamento, saúde e ambiente: fundamentos para um desenvolvimento sustentável*. Editora Manole, Barueri, São Paulo. 2005. 864p.
- ROESER U. F., ROESER H. M. P., MUELLER G., TOBSCHALL H. J. *Petrogênese dos Esteatitos do Sudeste do Quadrilátero Ferrífero*. In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 31, Santa Catarina, Anais. 1980. 4:2230-2241.
- ROESER, H. M. P. ; MÜLLER, G. *Variation And Different Ages Of Precambrian Amphibolites, Mariana District, Minas Gerais, Brazil*. NEUES JAHRBUCH MINERALOGIE ABH., Stuttgart. 1977. v. 130, n. 1-2, p. 39-48.
- ROESER, H.M.P. & EVANGELISTA H.J. *Zur lithofaziellen Entwicklung des Raumes Piranga – Ponte Nova, Beispiel einer präkambrischen Basemententwicklung* 7. Gew. Lateinamerikakolloquium. 1980. Tagungsheft 71 – 72, Heidelberg.
- ROESER, H.M.P.; MÜLLER, G. *Variation And Different Ages Of Precambrian Amphibolites, Mariana District, Minas Gerais, Brazil* *N. Jb. Min. Abh. Stuttgar*. 1977. 130, 39 – 48p.
- ROESER, H.M.P.; POLLI, G. O.; KRISOTAKIS, K.: *Prospecção Geoquímica No Embasamento SE do Quadrilátero Ferrífero, MG. (Folha Barra Longa)*. In Anais XXXIII Congresso Brasileiro de Geoquímica, Rio de Janeiro, 1984. 4552-4560p.

SANTOS, A.C.: *Noções de hidrogeoquímica*. In: F. A. C. Feitosa & Manoel Filho J. *Hidrogeologia conceitos e aplicações*. CPRM, Fortaleza, 1997. 81-108 p.

SIAM - Sistema Integrado de Informação Ambiental. 2007.
<http://www2.siam.mg.gov.br/webgis/semadmg/viewer.htm>

SIEGEL, F.R. *Environmental Geochemistry of Potentially Toxic Metal*. Berlin, Springer. 2002. 412p.

WEDEPOHL, K. H. *Handbook of Geochemistry*. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg. 1978. New York, V 1, 2,3,4 e 5.

WHITE, W.M. *Geochemistry (mirror site) IMWA, International Mine Water Association*. 2007. <http://www.imwa.info/geochemistry>

Coordenadas UTM dos pontos amostrais

Tabela I.1 - Coordenadas UTM dos pontos amostrados na bacia hidrográfica do Rio Piranga.

Pontos de amostragem	Coordenadas UTM	
*13	661862	7707968
12	662005	7707885
14	662689	7708576
*11	663541	7708561
*1	666768	7710434
2	666772	7710434
*3	668494	7711440
4	668496	7711490
10	670077	7713379
*5	670855	7712994
*9	672733	7712988
8	673471	7713180
7	673700	7712930
*6	676201	7011640
*15	676999	7711450
16	679734	7711201
*28	680847	7710981
17	682529	7710135
18	682652	7708853
*19	682652	7708853
*20	682665	7707757
*22	684503	7705764
23	684770	7705691
24	685974	7704489
*21	688915	7702367
25	694754	7702306
*26	694754	7702306
27	696797	7701292

***Rio Piranga – Tributários**

Tabela indicando a temperatura em cada um dos pontos amostrais

Tabela II.1 – Temperatura

Pontos de Amostragem	Temperatura °C verão	Temperatura °C Inverno
*13	23,5	15,9
12	19,9	15,9
14	23,1	15,2
*11	22	15,8
*1	*N.A.	16,4
2	*N.A.	15,6
*3	*N.A.	16,8
4	*N.A.	15,7
10	19,4	16,8
*5	*N.A.	18,7
*9	21,4	16,9
8	19,8	16,6
7	19,4	*N.A.
*6	21,1	16,6
*15	23	17,5
16	24	17,2
*28	*N.A.	18,4
17	25	18
18	23	19,3
*19	23	18,9
*20	24	19,1
*22	25	19,2
23	23	18,8
24	24	18
*21	24,9	20,8
25	24,5	18,5
*26	25,5	20,8
27	26	20,9
*Rio Piranga – Tributários		

N.A. = Não amostrado

Tabela indicando a turbidez em cada um dos pontos amostrais

Tabela III.1 - Turbidez

Pontos de amostragem	Turbidez verão	Turbidez Inverno
*13	7,5	5
12	4,2	4
14	8,3	3,4
*11	5,1	5,3
*1	4,85	5,2
2	3,4	2,8
*3	4,4	5
4	3,5	2,8
10	2,8	2,3
5	4,6	4,7
9	4,4	5
8	3,1	1,5
7	4,5	N.A.
*6	4,3	4,9
*15	7,3	4,7
16	7,8	3,5
28	5	4,7
17	6,5	4,05
18	7	4,45
*19	9,5	4,9
*20	8,5	4,2
*22	14	4,8
23	13	1,2
24	7,5	3,5
*21	13	5,5
25	6	2
*26	14	6,1
27	16	6,2
*Rio Piranga – Tributários		

N.A. = Não amostrado

Tabela indicando pH em cada um dos pontos amostrais

Tabela IV.1 - Potencial hidrogeniônico pH

Ponto de amostragem	pH verão	pH Inverno
*13	6,75	6,81
12	7,78	6,71
14	7,07	6,49
*11	8,14	7,22
*1	7,75	6,81
2	7,6	7,28
*3	7,85	7,03
4	7,85	6,75
10	7,82	6,9
*5	8,02	6,9
9	8,13	7,08
8	8,35	6,9
7	7,8	*N.A.
*6	8,06	7,03
*15	7,26	7,12
16	7,15	6,3
28	7,78	6,5
17	7,21	6,7
18	7,3	6,4
*19	6,94	7,3
*20	7,06	7,2
*22	7,5	6,49
23	7,11	6,28
24	7,02	6,28
*21	7,27	6,7
25	7,16	6,46
*26	7,11	6,5
27	7,13	6,6
*Rio Piranga - Tributários		

N.A. - não amostrado

Resultados das amostras de água do Rio Piranga e tributário no verão e inverno

Tabela V.1 - Teores dos elementos Al, Ba, Ca e Co nas 56 amostras de água analisadas

AMOSTRAS	Al (167) µg/l	Al (396) µg/l	Ba µg/l	Ba µg/l	Ca µg/l	Ca µg/l	Co µg/l	Co µg/l
RGRP 13	<LQ	14.02	24.37	18.24	3.76	2.833	40.21	11.72
RGRP 12	<LQ	<L.Q.	16.37	12.01	2.093	1.542	63.5	19.9
RGRP 14	28.21	<L.Q.	18.7	11.25	2.231	1.536	28.83	23.68
RGRP 11	13.73	14.25	18.74	18.9	3.504	2.793	65.6	15.76
RGRP 1	<LQ	25.54	21.76	19.81	3.571	2.955	28.83	23.73
RGRP 2	<LQ	<L.Q.	16.37	11.58	2.084	1.48	35.91	42.3
RGRP 3	<LQ	<L.Q.	18.87	18.6	3.439	2.669	53.4	35.16
RGRP 4	<LQ	<L.Q.	9.74	8.24	2.085	1.601	49.22	16.76
RGRP 10	24.36	<L.Q.	15.29	9.98	1.888	1.507	79.1	23.42
RGRP 5	22.17	<L.Q.	17.28	15.48	3.209	2.592	82.4	52.1
RGRP 9	23.24	14.21	18.58	16.14	3.456	2.492	78	49.9
RGRP 8	<LQ	<L.Q.	9.28	7.1	2.853	1.852	84.3	33.75
RGRP 7	<LQ		12.47		1.876		64.3	
RGRP 6	<LQ	<L.Q.	20.92	16.14	3.716	2.554	78.8	29.08
RGRP 15	9.59	21.98	20.14	16.71	3.393	2.595	33.53	19.43
RGRP 16	10.32	<L.Q.	11.85	9.56	1.822	1.513	47.75	<L.Q.
RGRP 28	24.36	<L.Q.	18.83	13.98	3.199	2.499	92.7	<L.Q.
RGRP 17	<LQ	<L.Q.	24.3	17.07	1.805	1.369	25.14	41.83
RGRP 18	<LQ	<L.Q.	26.21	24.43	2.439	2.097	26.39	<L.Q.
RGRP 19	83.5	<L.Q.	19.04	16.3	3.047	2.5	89.6	25.62
RGRP 20	<LQ	16.45	17.89	15.61	3.165	2.64	38.46	20.27
RGRP 22	<LQ	<L.Q.	19.39	13.32	3.327	2.356	19.7	35.37
RGRP 23	<LQ	<L.Q.	31.03	25.22	2.126	1.762	27.64	18.59
RGRP 24	<LQ	<L.Q.	34.35	25.89	1.845	1.456	29.45	<L.Q.
RGRP 21	<LQ	<L.Q.	16.91	14.67	2.965	2.307	41.23	58.8
RGRP 25	<LQ	<L.Q.	31.35	24.87	2.835	2.236	17.1	13.51
RGRP 26	<LQ	24.64	16.52	14	2.83	2.304	42.31	71
RGRP 27	14.22	21.84	17.77	15.89	2.267	1.64	10.87	27.72
LQ	7.5	13.77	0.5	0.41	0.1	0.01	15	10.84

ANEXO V

Resultados das amostras de água do Rio Piranga e tributário no verão e inverno

Tabela V.2 - Teores dos elementos Cu, Fe, K e Mg nas 56 amostras de água analisadas

AMOSTRAS	Cu µg/l	Cu µg/l	Fe µg/l	Fe µg/l	K µg/l	K µg/l	Mg µg/l	Mg µg/l
RGRP 13	7.3	<L.Q.	715	428.9	0.553	1.375	1.591	1.394
RGRP 12	7.76	<L.Q.	240.4	539	1.177	0.799	1.163	0.962
RGRP 14	8.17	<L.Q.	856	316	0.831	0.657	0.979	0.794
RGRP 11	8.77	<L.Q.	603	412.3	1.181	1.38	1.547	1.384
RGRP 1	7.17	<L.Q.	536	527	1.195	1.815	1.542	1.436
RGRP 2	7.1	<L.Q.	508	266.6	1.38	0.893	0.987	0.723
RGRP 3	6.27	<L.Q.	596	541	1.133	1.364	1.498	1.332
RGRP 4	5.99	<L.Q.	423	317.6	0.771	0.5	1.079	0.967
RGRP 10	6.65	<L.Q.	437.4	262.3	0.993	0.701	1.049	0.898
RGRP 5	7.11	<L.Q.	560	278.9	1.068	1.292	1.36	1.313
RGRP 9	7.18	<L.Q.	749	384.2	1.268	1.167	1.455	1.275
RGRP 8	7.85	<L.Q.	302.7	360.2	1.226	0.71	1.332	1.12
RGRP 7	6.78		504		1.529		1.084	
RGRP 6	7.73	<L.Q.	740	509	1.201	1.338	1.645	1.288
RGRP 15	10.05	<L.Q.	627	479.4	0.751	1.52	1.469	1.313
RGRP 16	5.79	<L.Q.	513	407.5	0.563	0.629	0.995	0.994
RGRP 28	6.61	<L.Q.	696	476	1.176	0.883	1.408	1.271
RGRP 17	7.34	<L.Q.	636	430.8	0.54	1.059	1.072	0.944
RGRP 18	7.16	<L.Q.	978	941	0.819	1.264	1.427	1.361
RGRP 19	5.77	<L.Q.	1039	517	0.65	0.895	1.41	1.315
RGRP 20	7.05	<L.Q.	619	489.8	0.692	1.073	1.395	1.325
RGRP 22	7.62	<L.Q.	632	468	0.88	0.898	1.539	1.219
RGRP 23	5.91	<L.Q.	241	111.1	0.884	1.131	1.141	1.176
RGRP 24	7.25	<L.Q.	637	481.6	0.737	0.969	0.781	0.725
RGRP 21	7.27	<L.Q.	657	440.1	0.728	1.064	1.34	1.193
RGRP 25	7.17	<L.Q.	284.4	174.2	1.002	1.246	1.001	0.881
RGRP 26	5.74	<L.Q.	450.9	425.6	0.784	0.94	1.278	1.156
RGRP 27	6.5	<L.Q.	496.7	486.6	0.903	1.058	1.001	0.834
LQ	2.5	3.32	6.0	6.74	0.085	0.08	0.05	0.002

Verão

Inverno

Resultados das amostras de água do Rio Piranga e tributário no verão e inverno

Tabela V.3 - Teores dos elementos Mn, Na, Sr e Zn nas 56 amostras de água analisadas

AMOSTRAS	Mn µg/l	Mn µg/l	Na µg/l	Na µg/l	Sr µg/l	Sr µg/l	Zn µg/l	Zn µg/l
RGRP 13	24.63	13.56	2.734	3.448	45.49	38.01	5.56	9.09
RGRP 12	12.12	29.44	3.086	2.666	22.54	19	8.62	8.96
RGRP 14	78	48.45	1.869	1.901	16.15	12.61	6.67	<L.Q.
RGRP 11	18.17	13.51	3.717	3.579	41.85	37.07	19.14	<L.Q.
RGRP 1	36.74	17.04	3.813	3.582	41.39	38.74	8.14	12.33
RGRP 2	22.88	41.37	2.779	2.478	24.04	19	<L.Q.	<L.Q.
RGRP 3	17.96	12.57	3.74	3.421	39.83	36.16	12.8	<L.Q.
RGRP 4	43.56	52.4	2.092	1.685	13.02	10.95	14.96	<L.Q.
RGRP 10	9.21	20.92	2.005	2.155	11.44	9.6	36.27	10.88
RGRP 5	48.53	14.49	3.401	3.1	35.54	32.83	20.05	<L.Q.
RGRP 9	22.21	15.7	3.509	3.168	38.63	32.76	34.04	<L.Q.
RGRP 8	38.17	31.08	2.873	2.769	15.4	11.85	8.45	<L.Q.
RGRP 7	16.37		2.074		14.1		25.2	
RGRP 6	35.2	16.42	3.629	3.116	41.21	32.53	4.933	<L.Q.
RGRP 15	25.66	16.23	2.661	3.415	39.22	33.41	8.97	16.82
RGRP 16	42	36.26	1.951	2.069	13.86	13.23	10.82	<L.Q.
RGRP 28	35.97	22.35	3.324	2.998	34.22	30.02	7.93	<L.Q.
RGRP 17	322	81.1	2.226	2.678	22.31	17.35	6.12	<L.Q.
RGRP 18	25.9	14.16	2.579	3.132	32.14	31.1	6.53	18.14
RGRP 19	37.11	22.35	2.463	3.103	33.67	30.27	6.74	<L.Q.
RGRP 20	28.34	22.57	2.642	3.222	34.8	30.76	2.321	<L.Q.
RGRP 22	26.39	21.85	2.96	2.963	35.67	28.39	7.34	<L.Q.
RGRP 23	101.9	49.03	2.822	3.047	35.78	35.29	16.46	<L.Q.
RGRP 24	135.4	41.8	2.405	2.6	25.53	22.1	<L.Q.	<L.Q.
RGRP 21	19.21	15.53	2.626	3.101	32.93	28.58	6.67	<L.Q.
RGRP 25	131.8	45.84	2.844	3.21	25.86	23.21	16.98	<L.Q.
RGRP 26	12.78	13.15	2.501	2.913	31.11	27.28	<L.Q.	<L.Q.
RGRP 27	6.43	9.76	2.504	2.856	25.2	20.75	10.16	<L.Q.
LQ	2.0	2.33	0.05	0.02	0.5	0.14	5.0	5.27

ANEXO VI

Resultados das amostras de sedimento do Rio Piranga e tributário no verão e inverno

Tabela VI.1 - Teores dos elementos Al, As, Ca e Co nas amostras de sedimento analisadas

Amostra	Al mg/kg	Al mg/kg	As mg/kg	As mg/kg	Ca mg/kg	Ca mg/kg	Co mg/kg	Co mg/kg
RGRP 13	44073	122119	6.83	35.97	4890	4371	85.8	50.1
RGRP 12	137226	141122	<L.Q.	13.12	6316	1945	62.7	61.7
RGRP 14	174273	184969	<L.Q.	19.37	1139	584	33.44	27.65
RGRP 11	125790	109069	11.4	26.7	4246	5578	61.9	61.2
RGRP 01	153460	113691	13.59	32.05	3190	4558	43.85	44.05
RGRP 02	158064	113196	<L.Q.	29.77	2205	4473	60.2	43.58
RGRP 03	111256	115161	7.38	23.03	5763	5016	53.5	44.55
RGRP 04	141338	138525	18.02	35.56	3565	2456	56.5	69.7
RGRP 10	144959	156717	<L.Q.	13.03	1686	1456	53.7	47.84
RGRP 05	135889	144489	5.31	29.39	3432	5843	56.3	41.47
RGRP 09	135389	135473	12.81	29.11	3427	3464	52.8	54.8
RGRP 08	164235	151648	<L.Q.	19.86	2341	2671	37.01	53.8
RGRP 07	141906		<L.Q.		1212		50.3	
RGRP 06	142242	124297	6.51	24.36	3667	4800	43.92	49.83
RGRP 15	124461	92896	4.255	22.24	4565	6241	53.7	39.61
RGRP 16	92048	124908	<L.Q.	24	2896	2127	108.9	63.4
RGRP 28	140999	128060	22.22	19.77	3114	3492	48.4	45.7
RGRP 17	147089	126080	14.3	48.44	933	1013	62.4	85.6
RGRP 18	161670	79482	17.44	26.06	2262	5419	67.7	61.6
RGRP 19	127575	139513	5.62	26.98	3365	2959	63	44.32
RGRP 20	129641	129534	<L.Q.	20.95	3808	3318	52.4	45.25
RGRP 22	117161	107601	<L.Q.	17.02	3799	3701	60.5	48.05
RGRP 23	182603	145362	<L.Q.	15.77	790	771	37.65	73.9
RGRP 24	174408	149067	<L.Q.	11.6	1465	1122	36.89	62.3
RGRP 25	155532	107525	<L.Q.	19.69	1505	3693	38.83	54.2
RGRP 21	81763	134695	<L.Q.	16.63	4986	1918	75.9	54.2
RGRP 26	159146	140606	<L.Q.	24.9	2188	2690	41.31	42.78
RGRP 27	143992	174931	<L.Q.	17.17	3895	1964	47.44	35.05
L.Q.	0.249237	0.25	0.07306	0.07	0.342508	0.34	0.007291	0.007

Verão - Inverno

ANEXO VI

Resultados das amostras de sedimento do Rio Piranga e tributário no verão e inverno

Tabela VI.2 - Teores dos elementos Cr, Cu, Fe e K nas amostras de sedimento e solo analisadas

Amostra	Cr mg/kg	Cr mg/kg	Cu mg/kg	Cu mg/kg	Fe mg/kg	Fe mg/kg	K mg/kg	K mg/kg
RGRP 13	75.1	230.4	245.1	85.6	68039	84661	10941	5127
RGRP 12	643	744	151.6	111.8	103094	123876	2587	1411
RGRP 14	183.9	190.4	47.31	44.66	82447	77677	5223	4090
RGRP 11	274.3	257.2	231.2	88.9	84481	77958	5813	5931
RGRP 01	250.4	223.5	79.5	113.5	93462	77275	5674	5521
RGRP 02	428.9	223.6	68	112.7	98599	77019	2889	5501
RGRP 03	210.2	178.3	100.2	128.7	75019	64771	5923	5330
RGRP 04	359.2	400.7	331.2	291	81989	108961	11865	4037
RGRP 10	658	414.7	101	63	136448	95928	2015	4490
RGRP 05	386.2	259.6	87.8	63.9	106895	92374	4280	4503
RGRP 09	265.6	253.9	224.2	76.8	87971	89207	5225	4835
RGRP 08	173.5	293.9	67.2	97.4	82212	97439	8012	7178
RGRP 07	259.3		101.2		84226		10554	
RGRP 06	227.9	183	56.2	118.9	80124	69498	6879	6295
RGRP 15	200	156.2	55.7	1892	70512	53838	6188	11486
RGRP 16	349	304.4	82.6	78.3	111579	85250	5331	6112
RGRP 28	239.3	201	59.1	52.5	83111	65555	6140	6469
RGRP 17	254.9	317	68.1	139	118762	148179	2821	2317
RGRP 18	317.1	167.1	90.1	47.82	94314	73280	4124	4785
RGRP 19	252.7	216.8	54.4	83.7	84164	78570	5360	5884
RGRP 20	258.1	209.3	74.8	73.7	76858	75004	6637	6177
RGRP 22	199.7	186.3	50	52.2	75952	62405	5806	6225
RGRP 23	198.6	135.6	75.4	57.1	94707	142437	3119	2963
RGRP 24	164.3	128.2	61.3	73.3	83805	153029	8400	4737
RGRP 25	75.7	164.5	75.9	94.9	81952	63170	9446	6506
RGRP 21	167.4	58.6	27.79	142.9	74690	110170	5996	9356
RGRP 26	202.2	200.1	54.9	60.1	78026	73485	6348	6360
RGRP 27	126.8	138.5	39.95	55.2	68081	62980	7766	5223
L.Q.	0.010765	0.01	0.005962	0.006	0.659918	0.66	0.061731	0.06

Verão - Inverno

ANEXO VI

Resultados das amostras de sedimento do Rio Piranga e tributário no verão e inverno

Tabela VI.3 - Teores dos elementos Li, Mg, Mn e Ni nas amostras de sedimento e solo analisadas

Amostra	Li mg/Kg	Li mg/Kg	Mg mg/Kg	Mg mg/Kg	Mn mg/Kg	Mn mg/Kg	Ni mg/Kg	Ni mg/Kg
RGRP 13	5.22	13.65	2604	4613	1917	2092	36.56	94.8
RGRP 12	13.23	8.96	12858	9434	2539	2761	297.4	298
RGRP 14	7.55	6.77	1727	1799	830	334.1	71.9	76.3
RGRP 11	14.22	11.17	5831	5814	1789	2532	117.5	105.2
RGRP 01	19.64	12.06	5347	4589	2005	1154	113.6	88.7
RGRP 02	13.44	11.93	6822	4564	2836	1153	184.8	89.2
RGRP 03	11.9	10.45	4693	3931	1594	1430	81.6	70.7
RGRP 04	12.3	7.89	8456	5815	1160	2232	149.2	163.2
RGRP 10	4.907	6.34	12774	11422	1819	1483	270.9	242.2
RGRP 05	11.39	13.07	6052	6161	1783	824	150.6	110.8
RGRP 09	12.51	13.32	4645	4816	2114	3173	105.3	108.3
RGRP 08	10.54	11.48	2372	4699	985	1789	75.4	127.7
RGRP 07	29.36		3795		1344		104.9	
RGRP 06	17.24	12.45	5352	4523	1320	1608	101.4	74.6
RGRP 15	12.6	11.05	4651	5958	1876	1350	82.1	63.5
RGRP 16	19.38	17.28	11099	8352	2003	2004	200.2	188.3
RGRP 28	18.11	14.27	4812	4850	1438	1279	114.9	94.4
RGRP 17	15.97	14.67	2787	2448	1599	2622	138.8	148
RGRP 18	18.1	15.21	4569	5084	1228	1224	181.2	112.8
RGRP 19	14.36	16.14	5325	5144	1311	1069	123	110.5
RGRP 20	16.85	15.42	7407	5106	1260	853	149.2	102.9
RGRP 22	15.42	13.11	4542	4841	1296	937	92.6	88.6
RGRP 23	11.18	9.08	1560	1314	701	5252	86	69.4
RGRP 24	10.34	9.9	2259	1775	607	2935	79.2	71.7
RGRP 25	14.83	13.65	2312	3914	581	1642	38.51	75.9
RGRP 21	10.71	11.91	3850	2472	1505	2677	64.6	33.5
RGRP 26	17.38	17.77	4527	4614	896	1496	103.9	99.7
RGRP 27	18.02	21.53	3942	2985	1135	1118	67.8	76.4
L.Q.	0.003369	0.003	0.013292	0.01	0.009722	0.01	0.01596	0.02

Verão - Inverno

Resultados das amostras de sedimento do Rio Piranga e tributário no verão e inverno

Tabela VI.4 - Teores dos elementos Pb, V e Zn nas amostras de sedimento e solo analisadas

Amostra	Pb mg/Kg	Pb mg/Kg	V mg/Kg	V mg/Kg	Zn mg/Kg	Zn mg/Kg
RGRP 13	29.28	<L.Q.	471.7	272.3	9336.0	127.6
RGRP 12	3.942	<L.Q.	304	317	140.9	117.7
RGRP 14	<L.Q.	<L.Q.	264.6	250.7	83.8	86.9
RGRP 11	<L.Q.	<L.Q.	279.6	312.1	187.9	150.4
RGRP 01	<L.Q.	4,236	246.9	262.3	1039.0	133.2
RGRP 02	4.732	4,321	258.1	259.4	261.7	133.7
RGRP 03	<L.Q.	<L.Q.	298.4	246.9	166.9	147.2
RGRP 04	<L.Q.	<L.Q.	303.6	321.6	221	4210
RGRP 10	<L.Q.	<L.Q.	402.9	248.4	112	101.1
RGRP 05	<L.Q.	<L.Q.	339	255.2	121	738
RGRP 09	<L.Q.	<L.Q.	296.9	262.9	174.4	122.1
RGRP 08	<L.Q.	<L.Q.	283.3	293.9	91.5	121.9
RGRP 07	<L.Q.		302.4		88.2	
RGRP 06	<L.Q.	<L.Q.	239.6	251.6	101.5	139.3
RGRP 15	<L.Q.	40.23	272.7	164.3	98.7	759
RGRP 16	11.16	<L.Q.	537	278.3	155.8	127.1
RGRP 28	<L.Q.	<L.Q.	17.01	239.7	1013	108.5
RGRP 17	4.046	<L.Q.	296.7	329.9	108.4	160.4
RGRP 18	2.724	<L.Q.	307	279.7	122.7	153.7
RGRP 19	<L.Q.	<L.Q.	325.3	219.6	107.5	132.6
RGRP 20	<L.Q.	<L.Q.	265.3	238.8	108.6	133
RGRP 22	3.028	<L.Q.	333.9	264.8	106.5	119.3
RGRP 23	5.51	9.4	258	200.1	99	106.6
RGRP 24	7.2	5.31	253.3	213.1	81.3	111.8
RGRP 25	3.926	4,776	238.1	242	100.2	153.7
RGRP 21	10.59	<L.Q.	431.5	179.1	102.8	116.8
RGRP 26	<L.Q.	<L.Q.	245.5	217.2	165.4	137.9
RGRP 27	<L.Q.	<L.Q.	277.9	199	106.7	126.6
L.Q.	0.065237	0.07	0.098757	0.10	0.027045	0.03

Verão – Inverno

G694a Goulart, Regina de Morais.
Análise da qualidade da água e dos sedimentos do alto Rio Piranga
[manuscrito] / Regina de Morais Goulart - 2008.
xiv, 93f. : il., color; graf.; tabs.; mapas.

Orientador: Prof. Dr. Hubert Mathias Peter Roeser.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Ouro Preto.
Instituto de Ciências Exatas e Biológicas. Mestrado em Engenharia
Ambiental.

Área de concentração: Recursos hídricos.

1. Água - Qualidade - Teses. 2. Elementos traços - Teses.
3. Parâmetros físico-químicos - Teses. I. Universidade Federal de
Ouro Preto. II. Título.

CDU: 626.812(815.1)

Catálogo: sisbin@sisbin.ufop.br