



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

**INFLUÊNCIA DA LITOLOGIA NAS ÁGUAS E  
SEDIMENTOS DO RIO PIRANGA – FORMADOR DO RIO  
DOCE**

**AUTOR: CELINA MIKI FUKUZAWA**

**ORIENTADOR: PROF. DR. HUBERT MATHIAS PETER ROESER**

Ouro Preto, MG.

2008

# **Livros Grátis**

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.



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

**Celina Miki Fukuzawa**

**“INFLUÊNCIA DA LITOLOGIA NAS ÁGUAS E SEDIMENTOS DO  
RIO PIRANGA – FORMADOR DO RIO DOCE”**

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

**F961i      Fukuzawa, Celina Miki.**

Influência da litologia nas águas e sedimentos do Rio Piranga – formador do Rio Doce [manuscrito] / Celina Miki Fukuzawa. – 2008. xiv, 88 f. : 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. Programa de Mestrado em Engenharia Ambiental.

Área de concentração: Recursos hídricos.

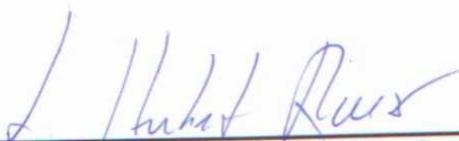
1. Piranga, Rio, Bacia - Teses.
2. Água - Qualidade - Teses.
3. Geoquímica ambiental - Teses. I. Universidade Federal de Ouro Preto. II. Título.

 <b>UFOP</b> <small>Universidade Federal de Ouro Preto</small>	<b>Ministério da Educação</b> <b>Universidade Federal de Ouro Preto</b> <b>Programa de Mestrado em Engenharia Ambiental</b> <b>ICEB - Campus – Morro do Cruzeiro</b> <b>Ouro Preto – MG – CEP 35.400-000</b> <b>Fone: (031)3559-1725</b> <b>E-mail: <a href="mailto:proagua@iceb.ufop.br">proagua@iceb.ufop.br</a></b>
---	--

***“Influência da Litologia nas Águas e Sedimentos do Rio Piranga –  
Formador do Rio Doce”***

***Autora: Celina Miki Fukuzawa***

Dissertação defendida e aprovada, em 28 de novembro de 2008, pela banca examinadora  
constituída pelos professores:



---

**Professor Dr. Hubert Mathias Peter Roeser - Orientador**  
**Universidade Federal de Ouro Preto**



---

**Professor Dr. Adolf Heinrich Horn**  
**Universidade Federal de Minas Gerais**



---

**Professora Dr.ª Ana Augusta Passos Rezende**  
**Universidade Federal de Ouro Preto**

## Agradecimentos

---

Primeiramente gostaria de agradecer a oportunidade de ingressar neste curso. Isso se estende a todos que contribuíram para que isso pudesse se concretizar.

Agradecimento, em especial, ao Prof. Dr. Hubert Roeser, por toda a orientação, dedicação, apoio e incentivo.

A Deus, por me conduzir nesta caminhada.

A meus pais, a quem devo tudo o que sou hoje, que desde cedo nos ensinaram (a respeitar a natureza) a lutar e não desanimar, por sempre me apoiarem nas minhas decisões e guiar-me para o bem.

Aos meus irmãos queridos pelo apoio, amizade, brigas e brincadeiras, sou fã de todos vocês.

Aos amigos de Viçosa, Regina, Valéria, Rafael, Déds, Lu, Ju, Scheila, Simone, Seinenkai-Viçosa, por serem exemplos e estarem tão presentes em minha vida.

À Dezza por ser minha família nesta caminhada e também sua mãe Mariza. Também a Ju, Tati, Shara, Cam, Vanessinha, Heitor e Vizim's por fazerem o dia-a-dia melhor.

Aos amigos de turma, Lillian, Bruna, Fred, Antônio Rosa, por acreditarmos no mesmo objetivo e por sempre me ajudarem.

Também a Regina G., Jeferson, Máximo, Tiago, Cléber, Christopher, Mariana e Fernanda por fazerem dos campos verdadeiras aventuras e por todo apoio recebido.

Aos amigos do LGqA, Prof. Hermínio, Adriana, Margareth, Celso, Vândir, Gilberto, João Paulo, Geraldo, Cristiano, Wellington e Jael. Pelo apoio, ensinamento e amizade.

Aos professores Carlos Eduardo, Ana Augusta, Antenor Barbosa, Adilson Leite e Auxiliadora Maria pela aprendizagem, apoio e amizade.

À UFOP pela bolsa concedida, pela oportunidade de ingressar no curso e pelos bons momentos que pude desfrutar.

À vida e a natureza, que merecem agradecimentos e aplausos a cada instante.

E por fim, a todos que de alguma forma contribuíram para que esta etapa fosse cumprida com sucesso. Muito obrigada!

# Índice

---

Agradecimentos .....	ii
Índice .....	iv
Resumo .....	xiii
Abstract .....	xiv
1 – INTRODUÇÃO .....	1
1.1 – OBJETIVOS .....	2
1.2 – Resolução CONAMA Nº 357 .....	3
1.3 – IQA - Índice de Qualidade da Água .....	4
2 – ÁREA DE ESTUDO .....	12
2.1 – LOCALIZAÇÃO .....	12
2.2 – ASPECTOS LOCAIS .....	13
2.3 – GEOLOGIA .....	13
2.3.1 – Complexo Acaiaca .....	14
2.3.2 – Complexo Mantiqueira .....	14
2.3.3 – Grupo Dom Silvério .....	15
3.1 – AMOSTRAGEM .....	16
3.1.1 – Águas .....	18
3.1.2 – Sedimentos .....	18
3.2.1 – Água .....	19
3.2.2 – Sedimentos .....	20
4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	22
4.1 – PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA .....	22
4.1.1 – Parâmetros físicos e químicos .....	22
4.1.1.1 – Temperatura .....	22
4.1.1.2 – Turbidez .....	23
4.1.1.3 – Potencial Hidrogeniônico (pH) .....	24
3.1.1.4 – Alcalinidade .....	25
3.1.1.5 – Cloretos .....	26
4.1.1.6 – Condutividade elétrica .....	27

4.1.1.7 - Sólidos Totais Dissolvidos .....	28
4.1.1.8 – Sulfato .....	29
4.1.2 – ELEMENTOS QUÍMICOS .....	31
4.1.2.1 – Alumínio .....	31
4.1.2.2 – Arsênio .....	32
4.1.2.3 – Bário.....	33
4.1.2.4 – Cádmio.....	34
4.1.2.5 – Cálcio .....	34
4.1.2.6 – Cobalto.....	35
4.1.2.7 – Cobre.....	36
4.1.2.8 – Cromo .....	37
4.1.2.9 – Ferro .....	38
4.1.2.10 – Lítio.....	39
4.1.2.11 – Magnésio.....	39
4.1.2.12 – Manganês .....	40
3.1.2.13 – Níquel.....	42
4.1.2.14 – Vanádio .....	42
4.1.2.15 – Potássio .....	43
4.1.2.16 – Sódio .....	44
4.1.2.17 – Zinco .....	45
4.2 – A CLASSIFICAÇÃO DAS ÁGUAS DO RIO PIRANGA SEGUNDO A RESOLUÇÃO CONAMA 357/05 .....	47
4.2.1 – Lançamento de efluentes.....	48
4.3 – DIAGRAMAS DE CORRELAÇÃO .....	49
4.3.1 – Cálcio e magnésio .....	50
4.3.2 – Potássio e sódio .....	52
4.3.3 – Zinco e cobre.....	54
4.3.4 – Ferro e manganês .....	55
4.4 – CARACTERIZAÇÃO GEOQUÍMICA DOS SEDIMENTOS.....	56
4.4.1 – Elementos maiores .....	56
4.4.1.1 – Cálcio .....	56
4.4.1.2 – Potássio .....	57
4.4.1.3 – Sódio .....	58
4.4.2 – Metais pesados e traço .....	59

4.5 - CORRELAÇÕES .....	62
4.5.1 – Sódio, cálcio e potássio .....	62
4.5.2 – Cobre e zinco .....	64
4.5.3 - Cromo e níquel.....	65
4.6 – CLASSIFICAÇÃO QUÍMICA DOS RIOS .....	67
CONCLUSÕES .....	70
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	71
Anexo I .....	76
Coordenadas UTM, localização dos pontos amostrados e material coletado .....	76
Anexo II .....	79
Parâmetros físico-químicos determinados nas amostras de água .....	79
Anexo III.....	82
Concentração dos elementos químicos nas amostras de água .....	82
Anexo IV.....	85
Concentração dos elementos químicos nas amostras de sedimento .....	85

## Lista de Figuras

---

Figura 1.1- Pontos amostrados pelo IGAM descritos no Relatório Anual MONITORAMENTO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS NA BACIA DO RIO DOCE EM 2006.....	7
Figura 1.2 - Ocorrência de coliformes termotolerantes nas estações de amostragem ao longo do Rio Piranga, no ano de 2006.....	8
Figura 1.3 - Ocorrência de fósforo total nas estações de amostragem ao longo do rio Piranga, no ano de 2006.....	9
Figura 1.4 - Ocorrência de ferro dissolvido nas estações de amostragem ao longo do rio Piranga, no ano de 2006.....	9
Figura 1.5 - Ocorrência de cobre dissolvido nas estações de amostragem ao longo do rio Piranga, no ano de 2006.....	10
Figura 1.6: Ocorrência de coliformes termotolerantes no rio Xopotó, próximo a sua foz no Rio Piranga (RD004), no período de 2000 a 2006..	11
Figura 2.1 - Bacia do Rio Doce, em destaque trecho estudado.	12
Figura 3.1 – Pontos de amostragem e características litológicas da região estudada. Mapa modificado segundo Torres, 2007.....	17
Figura 3.2 – Tributários das margens direita e esquerda do Rio Piranga.	17
Figura 4.1 – Temperatura no inverno e verão nas águas do Rio Piranga	23
Figura 4.2 – Temperatura no inverno e verão nas águas dos tributários.	23
Figura 4.3 – Turbidez no inverno e verão nas águas do Rio Piranga.	24
Figura 4.4 – Turbidez no inverno e verão nas águas dos tributários.	24
Figura 4.5 – pH no inverno e verão nas águas do Rio Piranga.....	25
Figura 4.6 – pH no inverno e verão nas águas dos tributários.....	25
Figura 4.7 – Alcalinidade no inverno e verão nas águas do Rio Piranga	26
Figura 4.8 – Alcalinidade no inverno e verão nas águas dos tributários.	26
Figura 4.9 – Concentração de cloretos no inverno e verão nas águas do Rio Piranga.	27
Figura 4.10 – Concentração de cloretos no inverno e verão nas águas dos tributários.	27
Figura 4.11 – Condutividade elétrica no inverno nas águas do Rio Piranga.....	28
Figura 4.12 – Condutividade elétrica no inverno nas águas dos tributários.....	28

Figura 4.13 – Sólidos totais dissolvidos no inverno nas águas do Rio Piranga.....	29
Figura 4.14 – Sólidos totais dissolvidos no inverno nas águas dos tributários.....	29
Figura 4.15 – Concentração de sulfatos no inverno e verão nas águas do Rio Piranga.....	30
Figura 4.16 – Concentração de sulfatos no inverno e verão nas águas dos tributários.....	30
Figura 4.17 – Concentração de alumínio no inverno e verão nas águas do Rio Piranga.....	32
Figura 4.18 – Concentração de alumínio no inverno e verão nas águas dos tributários.....	32
Figura 4.19 – Concentração de bário no inverno e verão nas águas do Rio Piranga.....	33
Figura 4.20 – Concentração de bário no inverno e verão nas águas dos tributários.....	33
Figura 4.21 – Concentração de cálcio no inverno e verão nas águas do Rio Piranga. ....	35
Figura 4.22 – Concentração de cálcio no inverno e verão nas águas dos tributários. ....	35
Figura 4.23 – Concentração de cobalto no inverno e verão nas águas do Rio Piranga. ....	36
Figura 4.24 – Concentração de cobalto no inverno e verão nas águas dos tributários. ....	36
Figura 4.25 – Concentração de cobre no verão nas águas do Rio Piranga. ....	37
Figura 4.26 – Concentração de cobre no verão nas águas dos tributários. ....	37
Figura 4.27 – Concentração de ferro no inverno e verão nas águas do Rio Piranga. ....	39
Figura 4.28 – Concentração de ferro no inverno e verão nas águas dos tributários. ....	39
Figura 4.29 – Concentração de magnésio no inverno e verão nas águas do Rio Piranga....	40
Figura 4.30 – Concentração de magnésio no inverno e verão nas águas dos tributários.....	40
Figura 4.31 – Concentração de manganês no inverno e verão nas águas do Rio Piranga. ...	41
Figura 4.32 – Concentração de manganês no inverno e verão nas águas dos tributários. ...	41
Figura 4.33 – Concentração de potássio no inverno e verão nas águas do Rio Piranga.....	43
Figura 4.34 – Concentração de potássio no inverno e verão nas águas dos tributários.....	43
Figura 4.35 – Concentração de sódio no inverno e verão nas águas do Rio Piranga. ....	45
Figura 4.36 – Concentração de sódio no inverno e verão nas águas dos tributários. ....	45
Figura 4.37 – Concentração de zinco no inverno e verão nas águas do Rio Piranga. ....	46
Figura 4.38 – Concentração de zinco no inverno e verão nas águas dos tributários. ....	46
Figura 4.39 – Variação da concentração de Ca e Mg no verão na águas do Rio Piranga. ..	51
Figura 4.40 – Variação da concentração de Ca e Mg no inverno nas águas do Rio Piranga. .....	51
Figura 4.41 – Variação da concentração de Ca e Mg no verão nas águas dos tributários...51	51
Figura 4.42 – Variação da concentração de Ca e Mg no inverno nas águas dos tributários. .....	51
Figura 4.43 – Variação da concentração de K e Na no verão nas águas do Rio Piranga. ...	53
Figura 4.44 – Variação da concentração de K e Na no inverno nas águas do Rio Piranga.	53

Figura 4.45 – Variação da concentração de K e Na no verão nas águas dos tributários. ....	54
Figura 4.46 – Variação da concentração de K e Na no inverno nas águas dos tributários. .	54
Figura 4.47 – Variação da concentração de Cu e Zn no verão nas águas do Rio Piranga. ...	54
Figura 4.48 – Variação da concentração de Cu e Zn no verão nas águas dos tributários. ....	54
Figura 4.49 – Variação da concentração de Fé e Mn no verão nas águas do Rio Piranga. .	55
Figura 4.50 – Variação da concentração de Fé e Mn no inverno nas águas do Rio Piranga. .....	55
Figura 4.51 – Variação da concentração de Fé e Mn no verão nas águas dos tributários. .	55
Figura 4.52 – Variação da concentração de Fé e Mn no inverno nas águas dos tributários. .....	55
Figura 4.53– Concentração de cálcio no inverno e verão nos sedimentos do Rio Piranga.	57
Figura 4.54 – Concentração de cálcio no inverno e verão nos sedimentos dos tributários.	57
Figura 4.57 – Concentração de potássio no inverno e verão nos sedimentos do Rio Piranga. .....	58
Figura 4.58 – Concentração de potássio no inverno e verão nos sedimentos dos tributários. .....	58
Figura 4.59 – Concentração de sódio no inverno e verão nos sedimentos do Rio Piranga.	58
Figura 4.60 – Concentração de sódio no inverno e verão nos sedimentos dos tributários. .	58
Figura 4.75 – Concentração de cobre no inverno e verão nos sedimentos do Rio Piranga.	59
Figura 4.76 – Concentração de cobre no inverno e verão nos sedimentos dos tributários. .	59
Figura 4.77 – Concentração de cromo no inverno e verão nos sedimentos do Rio Piranga. .....	60
Figura 4.79 – Concentração de níquel no inverno e verão nos sedimentos do Rio Piranga. .....	61
Figura 4.80 – Concentração de níquel no inverno e verão nos sedimentos dos tributários.	61
Figura 4.81 – Concentração de zinco no inverno e verão nos sedimentos do Rio Piranga.	61
Figura 4.82 – Concentração de zinco no inverno e verão nos sedimentos dos tributários. .	61
Figura 4.83 – Variação da concentração de Na e K no verão nas águas do Rio Piranga. ...	62
Figura 4.84 – Variação da concentração de Na e K no inverno nas águas do Rio Piranga.	62
Figura 4.85 – Variação da concentração de Na e K no verão nas águas dos tributários. ....	62
Figura 4.86 – Variação da concentração de Na e K no inverno nas águas dos tributários. .	62
Figura 4.87 – Variação da concentração de Ca e Na no verão nas águas do Rio Piranga. ...	63
Figura 4.88 – Variação da concentração de Ca e Na no inverno nas águas do Rio Piranga. .....	63

Figura 4.89 – Variação da concentração de Ca e Na no verão nas águas do Rio Piranga...	63
Figura 4.90 – Variação da concentração de Ca e Na no inverno nas águas do Rio Piranga. .....	63
Figura 4.91 – Variação da concentração de Cu/Zn no verão nas águas do Rio Piranga. ....	64
Figura 4.92 – Variação da concentração de Cu/Zn no inverno nas águas do Rio Piranga. .	64
Figura 4.93 – Variação da concentração de Cu/Zn no verão nas águas dos tributários. ....	64
Figura 4.94 – Variação da concentração de Cu/Zn no inverno nas águas dos tributários. ...	64
Figura 4.95 – Variação da concentração de Cr e Ni no verão nas águas do Rio Piranga....	66
Figura 4.96 – Variação da concentração de Cr e Ni no inverno nas águas do Rio Piranga.	66
Figura 4.97 – Variação da concentração de Cr e Ni no verão nas águas dos tributários.....	66
Figura 4.98 – Variação da concentração de Cr e Ni no inverno nas águas dos tributários..	66
Figura 4.100 – Diagrama bumerangue caracterizando os tributários do Rio Piranga .....	69
Figura 4.101 – Diagrama bumerangue caracterizando o Rio Piranga. ....	69

## Lista de Tabelas

---

Tabela 1.1: Descrição das estações de amostragem do Relatório Anual “MONITORAMENTO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS NA BACIA DO RIO DOCE EM 2006” .....	6
Tabela 4.1 – Comparativo entre resultados obtidos dos parâmetros de qualidade de água com a Resolução CONAMA 357/05 .....	47
Tabela 4.2 – Comparativo dos parâmetros entre o ponto de descarga e o ponto CFRP 7... ..	48
Tabela 4.3 – Comparativo entre concentrações de elementos entre os pontos de descarga, o ponto CFRP 7 e a Resolução CONAMA 357/05. ....	49
Tabela I.1 - Localização dos pontos amostrados no Rio Piranga. ....	76
Tabela I.2 – Material coletado nos pontos amostrados no Rio Piranga.....	76
Tabela I.3 - Localização dos pontos amostrados e nome dos tributários do Rio Piranga. ..	77
Tabela I.4 – Material coletado nos pontos amostrados nos tributários do Rio Piranga.....	78
Tabela II.2 - Parâmetros físico-químicos da água determinados na segunda campanha dos pontos amostrais do Rio Piranga. ....	79
Tabela II.3 - Parâmetros físico-químicos da água determinados na primeira campanha dos pontos amostrais dos tributários do Rio Piranga. ....	80
Tabela II.4 - Parâmetros físico-químicos da água determinados na segunda campanha dos pontos amostrais dos tributários do Rio Piranga. ....	81
Tabela III.1 - Concentração dos elementos químicos nas amostras de água do Rio Piranga na primeira campanha. ....	82
Tabela III.2 - Concentração dos elementos químicos nas amostras de água do Rio Piranga na segunda campanha. ....	82
Tabela III.3 - Concentração dos elementos químicos nas amostras de água dos tributários do Rio Piranga na primeira campanha. ....	83
Tabela III.4 - Concentração dos elementos químicos nas amostras de água dos tributários do Rio Piranga na segunda campanha. ....	84
Tabela IV.1 - Concentração dos elementos químicos nas amostras de sedimento do Rio Piranga na primeira campanha.....	85
Tabela IV.2 - Concentração dos elementos químicos nas amostras de sedimento do Rio Piranga na segunda campanha. ....	85

Tabela IV.3 - Concentração dos elementos químicos nas amostras de sedimento dos tributários do Rio Piranga na primeira campanha .....	86
Tabela IV.3 - Concentração dos elementos químicos nas amostras de sedimento dos tributários do Rio Piranga na segunda campanha .....	87

## Resumo

---

Neste trabalho foi estudada a poluição da água do Rio Piranga - MG. O trecho estudado abrange a parte do Rio Piranga que se inicia no encontro do Rio Piranga com o Rio Xopotó e termina logo após o encontro do Rio Piranga com o Rio do Carmo. O Rio Piranga, como muitos rios da região, também foi alvo da atividade aurífera no passado e atualmente passa por cidades como Guaraciaba, Porto Firme e Ponte Nova entre outras, além de pequenos conglomerados urbanos e propriedades rurais. Estas aglomerações urbanas são, muitas vezes, responsáveis pela poluição do Rio Piranga e seus tributários. A área de estudo está influenciada litologicamente pelas unidades do Grupo Dom Silvério e no Complexo Mantiqueira e também há presença de unidades litológicas do Complexo Acaiaca. Amostras de água foram submetidas às análises físico-químicas e também à determinação de elementos maiores e traços. Os resultados obtidos foram comparados com os valores propostos pela Resolução CONAMA 357/05 para a classificação das águas nas Classes 1, 2 e 3. As concentrações de cloretos, sódio e a condutividade elétrica apresentaram-se mais altas após o encontro do Rio Piranga com o Rio do Carmo. A concentração de sulfato alta nas proximidades das cidades é exemplo da provável contribuição antropogênica. Teores de alumínio, bário, cobalto, ferro, manganês também são exemplos desta contribuição antropogênica. Com base em diagramas de correlação, utilizando-se as concentrações de elementos maiores e elementos traços, litófilos, calcófilos e siderófilos, pode-se verificar que as concentrações de alguns elementos nas águas e nos sedimentos estão intimamente relacionadas com a litologia local, especialmente com as unidades rochosas do Complexo Mantiqueira. Isso vale para pares de elementos típicos litófilos (Ca – Mg; Na – K; Ca – Na), elementos calcófilos (Cu – Zn) e elementos siderófilos (Cr – Ni). Para algumas ocorrências, porém, não pode ser excluída a atividade antropogênica. O diagrama Bumerangue classifica o Rio Piranga e seus tributários como sendo principalmente influenciados pela litologia. Estão disponibilizados dados sobre a região de estudo e que assim venha a estimular o estudo e preocupação com a questão ambiental na bacia do Rio Piranga.

## Abstract

---

This study intends to investigate the Piranga River's pollution and its tributaries. The place where this study were carried out starts from the confluence with Xopotó River until the confluence with the Carmo River. In the past, gold mining activity was carried out in this place. Actually, Piranga River runs through cities like Guaraciaba, Porto Firme, Ponte Nova and many other small towns. These urban agglomerations are, most of the time, responsible for the Piranga River's pollution. This research is also lithologically influenced by the Grupo Dom Silvério (Dom Silverio Group), Complexo Mantiqueira (Mantiqueira Complex) and lithological units of Complexo Acaiaca (Acaiaca Complex). Water's samples were submitted to physicochemical analysis. We also established the concentration of main elements in the water and trace elements like lithophile, chalkophile and siderophile. After that, the results were compared with the ones proposed by the 357/05 CONAMA Resolution wich classifies rivers in Classes 1, 2 or 3. The concentration of chloride, sodium and electric conductivity were much higher in the confluence of Piranga River with Carmo River. The high concentration of sulphate around the cities is an example of the anthropogenic contribution. Concentrations of aluminum, bare, cobalt, iron, manganese, are also examples of it. Based on correlation diagrams, main elements concentration and trace elements like lithophile, chalkophile and siderophile, we can find out that some element's concentrations in the rivers' waters and in the sediments are intimately related to the local lithology, especially in the rocky units of the Complexo Mantiqueira (Mantiqueira's Complex). The affirmation above applies for pairs of typical lithophile elements (Ca - Mg; Na - K, Ca - Na), chalkophile elements (Cu - Zn) and siderophiles elements (Cr - Ni). In the case of some occurrences, however, a human influence cannot be excluded. The Boomerag Diagram classifies Piranga River and its tributaries influenced by lithology. Therefore, informations about this region were offered in order to stimulate studies and preoccupation about environmental questions in the Piranga Rivers basin.

Piorar a qualidade da água significa prejudicar a vida do homem e dos outros seres vivos que dela dependem. A água na natureza é um meio vivente, portador de elementos benéficos que contribuem para a qualidade. Contaminando-a, corre-se o risco de destruir esses organismos e assim, de transfigurar o processo de autodepuração e mesmo de modificar, de maneira desfavorável e irreversível o meio vivente. As águas superficiais e subterrâneas devem ser preservadas da contaminação. Toda diminuição importante da qualidade ou da quantidade de uma água corrente ou represada corre o risco de tornar-se nociva para o homem e para os outros seres vivos (Derísio, 2000).

Durante muito tempo a idéia de abundância serviu de suporte à cultura do desperdício da água, a não realização dos investimentos necessários para seu uso e proteção mais eficiente. Os problemas de escassez hídrica decorrem da combinação do crescimento exagerado das demandas e da degradação da qualidade das águas, principalmente a partir da década de 1950, com a aceleração do processo de urbanização, industrialização e expansão agrícola (Faria, 2004).

Paralelamente ao aumento da demanda hídrica, muitas das intervenções humanas contribuíram para a degradação e poluição ambiental, dentre estas intervenções pode-se citar as obras civis, as atividades de mineração e agrícola, entre outras formas de uso e ocupação do solo.

O crescimento desordenado das cidades e a freqüente falta de infra-estrutura têm ocasionado a destinação do esgoto doméstico bruto nos cursos d'água, causando a contaminação e, conseqüentemente, o comprometimento deste e a contaminação do solo e dos cursos d'água subterrâneos.

Assim, pode-se contextualizar a bacia do Rio Piranga, formador do Rio Doce.

Trabalhos geoquímicos ambientais mais detalhados começaram a ser realizados a partir da década de 1980 na região de Ouro Preto e Mariana, principalmente no Rio do Carmo com o objetivo de se conhecer a contaminação por metais pesados, principalmente por mercúrio, produto intensamente utilizado por garimpeiros de toda a região para o beneficiamento do ouro (Cruz, 2002).

Inicialmente este estudo deu-se em lagoas de rejeitos, minas e alguns rios que passam pelo Quadrilátero Ferrífero (QF). Nesta linha de pesquisa e paralelamente a isto, alguns rios vizinhos a região do QF vêm sendo estudados também. Como é de conhecimento geral, a região do QF, uma das áreas clássicas da mineração, especialmente de Fe (ferro), no Brasil, sofreu grandes e significativas modificações, e devido a este passado, muitos problemas ambientais. Não apenas a poluição dos rios que passam pelo QF, mas também os rios vizinhos foram explorados buscando-se ouro, e assim alguns sinais de poluição, por exemplo, de mercúrio, podem ser observados. O Rio Piranga é um destes rios, que foram explorados para a mineração aurífera no passado.

A Bacia Hidrográfica do Rio Piranga possui uma população estimada de 686.263 habitantes, distribuídos em 69 municípios, com predominância da população urbana sobre a rural, caracterizando um forte processo de êxodo rural, segundo dados do Instituto Mineiro de Gestão das Águas, IGAM (2007). Levando-se este fato em consideração necessita-se cada vez mais de informações sobre a qualidade de suas águas e eventuais fontes de poluição, assim como dos seus principais formadores.

## **1.1 – OBJETIVOS**

Este trabalho tem como um dos objetivos caracterizar a qualidade das águas do Rio Piranga e de alguns de seus tributários, e também estudar a geoquímica dos seus sedimentos de fundo, de modo que posteriormente seja possível indicar possíveis fontes de poluição e a influência da litologia nas águas e sedimentos.

Foram analisados os parâmetros físico-químicos da água, determinando elementos maiores e traços na água e nos sedimentos de fundo do Rio Piranga e de alguns dos seus tributários. Compararam-se, assim, os resultados obtidos com os valores propostos pela Resolução CONAMA 357/05, e possibilitando a identificação das prováveis fontes responsáveis pela contaminação do dito trecho. Assim foram disponibilizados dados sobre a região de estudo, e que dessa maneira venha a permitir o estudo e preocupação com a questão ambiental no Rio Piranga.

Especificamente, procurou-se atingir os seguintes objetivos:

- monitoramento hidrogeoquímico sazonal através da determinação de parâmetros físico-químicos de qualidade de água, entre eles: alcalinidade, turbidez, pH, temperatura, sulfato, cloreto, condutividade elétrica, sólidos totais dissolvidos,
- determinação dos elementos maiores e traços nas águas do Rio Piranga e dos tributários analisados.
- caracterização da geoquímica dos sedimentos de fundo, com determinação de elementos maiores e traços.

## **1.2 – Resolução CONAMA N° 357**

A Resolução CONAMA 357/05 de 17 de março de 2005 dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes.

Assim as águas doces, salobras e salinas do território nacional são classificadas, segundo a qualidade requerida para os seus usos preponderantes, em treze classes de qualidade.

As águas doces são classificadas em:

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 aquicultura 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.

Utilizando-se essas informações, tem-se como um dos objetivos deste trabalho, a classificação das águas pesquisadas com base nessa norma.

### **1.3 – IQA - Índice de Qualidade da Água**

O IQA foi desenvolvido pela National Sanitation Foundation dos Estados Unidos, através de pesquisa de opinião junto a vários especialistas da área ambiental, quando cada técnico selecionou, a seu critério, os parâmetros relevantes para avaliar a qualidade das águas e estipulou, para cada um deles, um peso relativo na série de parâmetros especificados (IGAM, 2007).

Definiu-se um conjunto de 9 (nove) parâmetros considerados mais representativos para a caracterização da qualidade das águas: oxigênio dissolvido, coliformes

termotolerantes, pH, demanda bioquímica de oxigênio, nitrato, fosfato total, temperatura da água, turbidez e sólidos totais. A cada parâmetro foi atribuído um peso de acordo com a sua importância relativa no cálculo do IQA e traçadas curvas médias de variação da qualidade das águas em função da concentração do mesmo.

Tabela 1.1 – Parâmetros utilizados no cálculo do IQA e respectivos pesos.

<b>Parâmetro</b>	<b>Peso - w<sub>i</sub></b>
Oxigênio dissolvido – OD (%ODSat)	0,17
Coliformes termotolerantes (NMP/100mL)	0,15
pH	0,12
Demanda bioquímica de oxigênio – DBO (mg/L)	0,10
Nitratos (mg/L NO <sub>3</sub> -)	0,10
Fosfato total (mg/L PO <sub>4</sub> -)	0,10
Variação na temperatura (°C)	0,10
Turbidez (UNT)	0,08
Resíduos totais (mg/L)	0,08

As metodologias para o cálculo do IQA consideram duas formulações, uma aditiva e outra multiplicativa. O IGAM no Projeto “Águas de Minas” adotou o IQA multiplicativo, que é calculado pela seguinte equação:

Equação (1):

$$IQA = \prod_{i=1}^9 q_i^{w_i}$$

Onde:

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

q<sub>i</sub> = qualidade do parâmetro i obtido através da curva média específica de qualidade;

w<sub>i</sub> = peso atribuído ao parâmetro, em função de sua importância na qualidade, entre 0 e 1.

Os valores do índice variam entre 0 e 100, conforme especificado a seguir:

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

Em Minas Gerais, o IGAM vem desenvolvendo o Projeto “Águas de Minas” e anualmente são lançados relatórios do Monitoramento da Qualidade das Águas Superficiais das bacias. Nestes relatórios estão também contemplados os resultados do IQA das bacias.

O último relatório disponível no sítio do IGAM refere-se ao ano de 2006. Neste relatório tem-se a caracterização do Rio Piranga segundo o IQA.

Segundo o Relatório Anual “MONITORAMENTO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS NA BACIA DO RIO DOCE EM 2006” foram definidas 3 (três) estações de monitoramento no Rio Piranga e 1 estação de monitoramento no Rio Xopotó, estações pertencentes à região de estudo (Tab. 1.2):

Tabela 1.2 – Descrição das estações de amostragem do Relatório Anual “MONITORAMENTO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS NA BACIA DO RIO DOCE EM 2006”

Estação	Descrição	Latitude	Longitude	Altitude (m)
RD001	Rio Piranga no município de Piranga	-20° 41’ 31’’	-43° 18’ 05’’	600
RD004	Rio Xopotó próximo a sua foz no Rio Piranga	-20° 47’ 07’’	-43° 06’ 57’’	678
RD007	Rio Piranga no município de Porto Firme	-20° 40’ 19’’	-43° 05’ 31’’	600
RD013	Rio Piranga a jusante de Ponte Nova	-20° 23’ 02’’	-42° 54’ 14’’	508

(Fonte: IGAM, 2007)

Dentre estes pontos três encontram-se na área de estudo, conforme é apresentado a Figura 1.1.

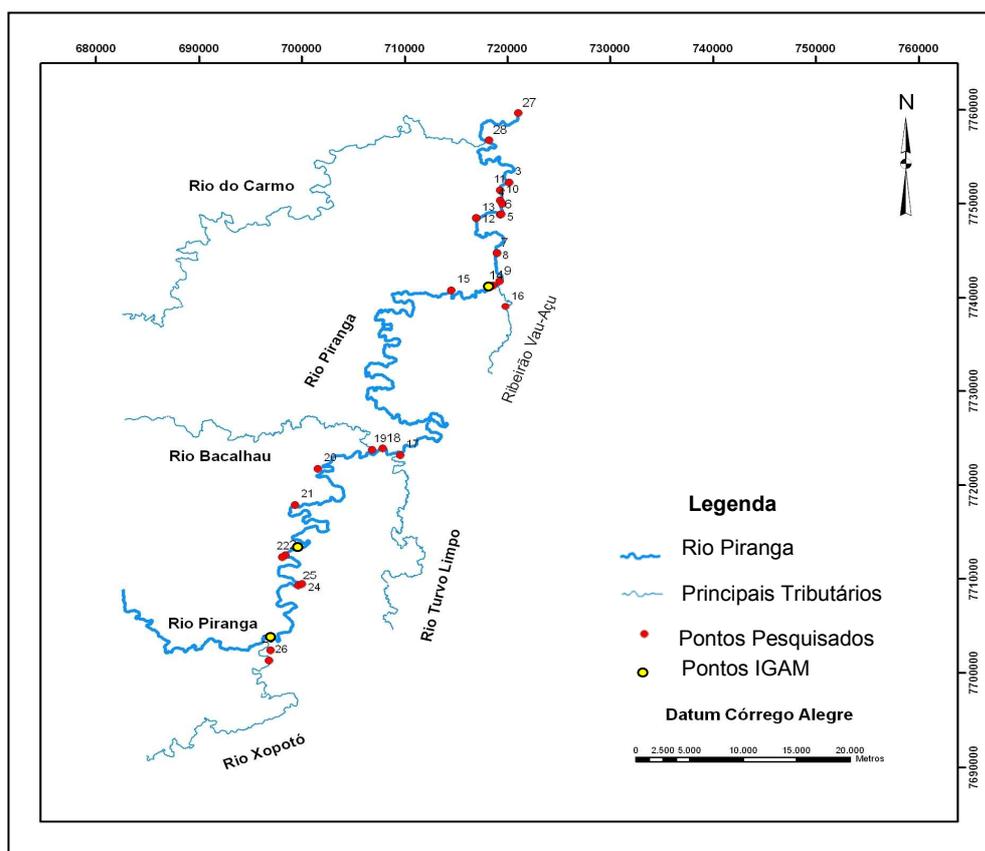


Figura 1.1- Pontos amostrados pelo IGAM descritos no Relatório Anual MONITORAMENTO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS NA BACIA DO RIO DOCE EM 2006.

Segundo o IGAM (2007), as amostragens e análises são contratadas junto à Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais – CETEC, órgão vinculado à Secretaria de Estado de Ciência e Tecnologia, sendo realizadas a cada trimestre, com um total anual de 4 (quatro) campanhas de amostragem por estação. As amostras coletadas são do tipo simples, de superfície, tomadas preferencialmente na calha principal do corpo de água, tendo em vista que a grande maioria dos pontos de coleta localiza-se sobre pontes.

Foram definidos dois tipos de campanhas de amostragem: completas e intermediárias. As campanhas completas, realizadas em janeiro/fevereiro/março e em julho/agosto/setembro, caracterizam respectivamente os períodos de chuva e estiagem, enquanto as intermediárias, realizadas nos meses abril/maio/junho e outubro/novembro/dezembro, caracterizam os demais períodos climáticos do ano.

De acordo com o Relatório têm-se os seguintes resultados:

## Estações de Amostragem: RD001, RD007 e RD013

- A média anual do Índice de Qualidade das Águas no rio Piranga, em 2006, apresentou o mesmo resultado do ano de 2005 nos pontos de amostragem localizados no município de Piranga (RD001) e a jusante de Ponte Nova (RD013), ou seja, IQA Médio. Os parâmetros que mais influenciaram esta condição, em 2006, foram os coliformes termotolerantes e a turbidez;
- No município de Porto Firme (RD007), o Rio Piranga passou de IQA Médio em 2005 para IQA Bom em 2006;
- O parâmetro coliformes termotolerantes extrapolou o limite da legislação no trecho do Rio Piranga localizado no município de Piranga (RD001) e a jusante de Ponte Nova (RD013) na época chuvosa, sugerindo poluição difusa (Fig. 1.2);
- A contagem de coliformes foi mais representativa à jusante de Ponte Nova (RD013), estação que recebe a influência dos municípios: Porto Firme, Paula Cândido, Coimbra, Viçosa, Guaraciaba, Teixeira e Ponte Nova;
- O fósforo total apresentou concentração acima do limite legal apenas à jusante de Ponte Nova (RD013), na quarta campanha de 2006 (Fig. 1.3). Esta estação de amostragem é influenciada pela ocupação urbana nesse trecho do Rio Piranga. Destaca-se a presença de vários frigoríficos no município de Ponte Nova, os quais contribuem consideravelmente para o aumento do fósforo no ambiente aquático. Esta contribuição se dá através de resíduos orgânicos, ricos em fósforo, liberados pelos frigoríficos e que, em grande parte, acabam chegando ao rio.

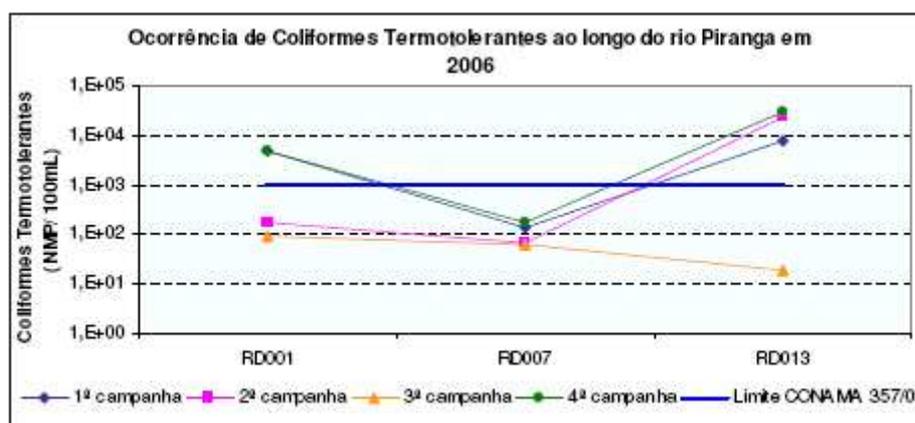


Figura 1.2 - Ocorrência de coliformes termotolerantes nas estações de amostragem ao longo do Rio Piranga, no ano de 2006. Fonte: IGAM, 2007

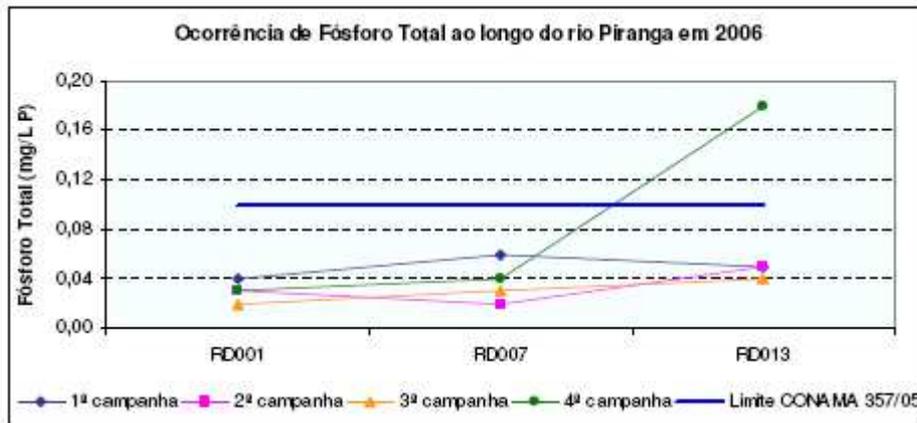


Figura 1.3 - Ocorrência de fósforo total nas estações de amostragem ao longo do rio Piranga, no ano de 2006. Fonte: IGAM, 2007

- Valores de ferro dissolvido, acima do limite aceitável pela legislação, são uma constante na série histórica dos pontos de amostragem situados ao longo do Rio Piranga. Este fenômeno parece ser natural, haja vista a ocorrência de ferro nos solos da região (Fig. 1.4).
- O Rio Piranga apresentou Contaminação por Tóxicos (CT) Alta no trecho localizado no município de Piranga (RD001), no município de Porto Firme (RD007) e a jusante de Ponte Nova (RD013), na quarta campanha de 2006.

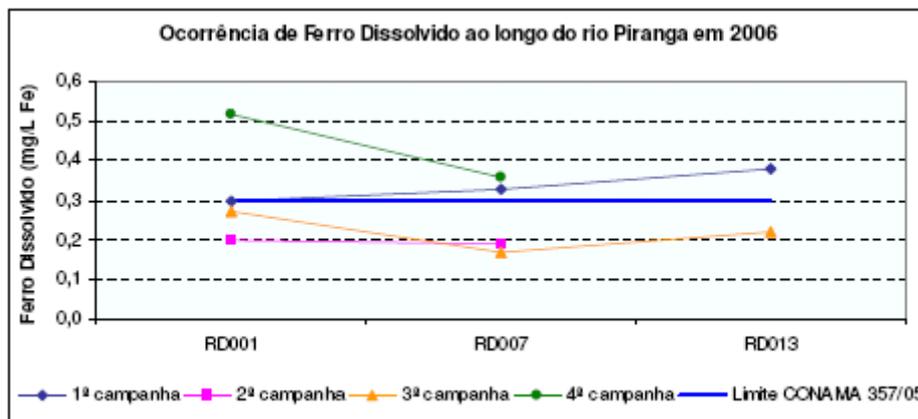


Figura 1.4 - Ocorrência de ferro dissolvido nas estações de amostragem ao longo do rio Piranga, no ano de 2006. Fonte: IGAM, 2007

- O parâmetro que influenciou a CT nos três pontos de monitoramento foi o cobre dissolvido (Fig. 1.5). A ocorrência deste metal pode estar relacionada à produção de aguardente nos três municípios onde os pontos de coleta estão localizados.

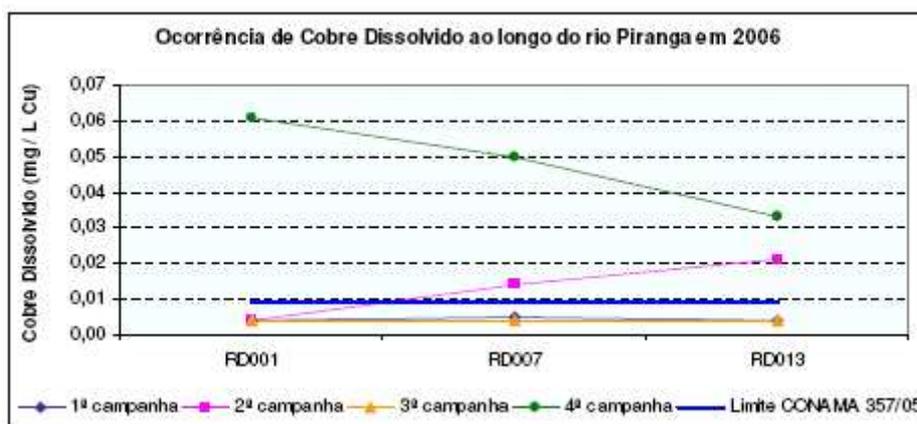


Figura 1.5 - Ocorrência de cobre dissolvido nas estações de amostragem ao longo do rio Piranga, no ano de 2006. Fonte: IGAM, 2007.

Estação de Amostragem: RD004

- Apesar do Índice de Qualidade das Águas (IQA) ter sido Médio na primeira e terceira campanhas de 2006, o Rio Xopotó, monitorado próximo à sua foz no rio Piranga (RD004), apresentou média anual deste índice no estado Bom. Em 2005 a média anual do IQA permitiu que o Rio Xopotó fosse classificado com IQA Médio havendo, portanto, melhora em 2006.
- A contagem de coliformes termotolerantes esteve acima do limite estabelecido na legislação ambiental na terceira campanha de 2006, época seca (Figura 1.6). Além disso, a maior parte dos valores da relação entre coliformes termotolerantes e estreptococos fecais (CT/EF), obtidos na série histórica, ficou acima de 4 (quatro), caracterizando origem humana para os coliformes. Acredita-se que os efluentes sanitários dos municípios de Desterro do Melo, Alto Rio Doce, Cipotânea, Brás Pires e Senador Firmino, os quais estão na área de drenagem da bacia do Rio Xopotó, estejam colaborando fortemente com os resultados de coliformes obtidos nas águas desse rio.

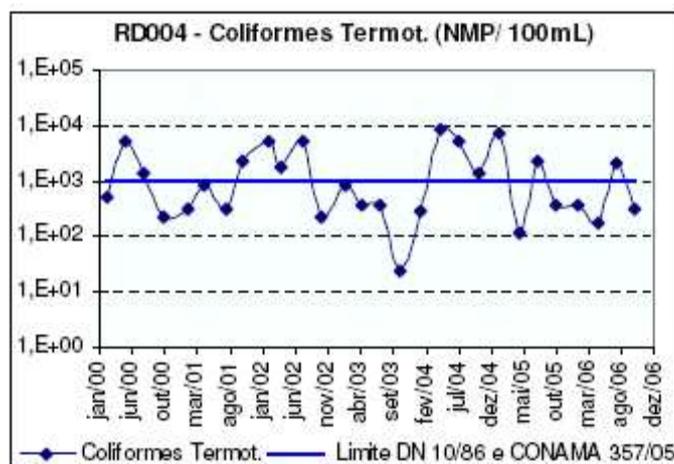


Figura 1.6: Ocorrência de coliformes termotolerantes no rio Xopotó, próximo a sua foz no Rio Piranga (RD004), no período de 2000 a 2006. Fonte: IGAM, 2007.

- Os resultados das análises de metais indicaram a ocorrência de cobre dissolvido acima do limite definido na legislação no Rio Xopotó, próximo a sua foz no Rio Piranga (RD004), no ano de 2006 (Fig. 1.7 ). Esse metal é constituinte dos solos da região e as maiores concentrações foram observadas na segunda e quarta campanhas de amostragem.
- Também o cobre dissolvido foi o responsável pela Contaminação por Tóxicos Alta, no Rio Xopotó, na última campanha de 2006 (Figura 1.7).

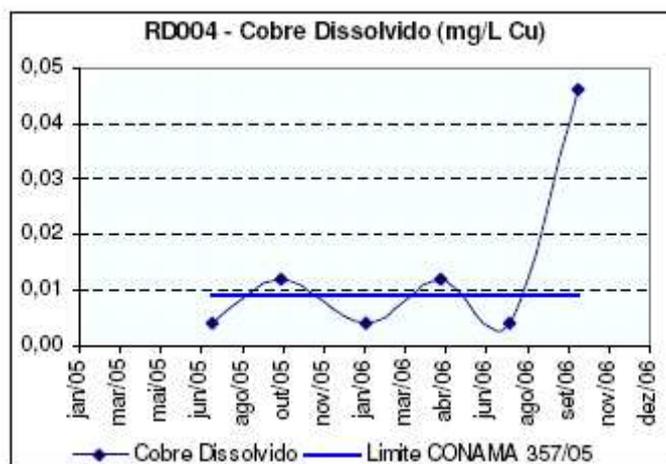


Figura 1.7: Ocorrência de cobre dissolvido no rio Xopotó, próximo a sua foz no rio Piranga (RD004), no período de 2005 a 2006. Fonte: IGAM, 2007.

### 2.1 – LOCALIZAÇÃO

O Rio Piranga é o principal formador do Rio Doce (Fig. 2.1). A nascente fica na Fazenda Morro Queimado, na chamada Serra da Trapizonga, município de Ressaquinha-MG, pequena cidade de aproximadamente 4600 habitantes situada na Serra das Vertentes, onde as Serras da Mantiqueira e do Espinhaço se encontram, Pêgo citado por Faria (2004).

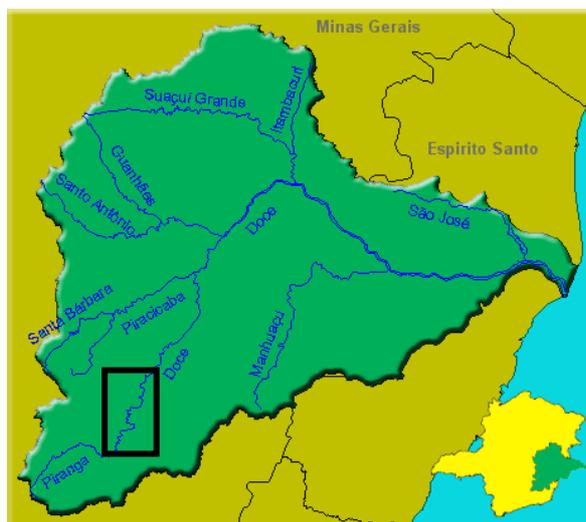


Figura 2.1 - Bacia do Rio Doce, em destaque trecho estudado. Fonte: IGAM, 2007.

A foz do Rio Piranga situa-se no Rio Doce, no município de Santa Cruz do Escalvado. Possui uma extensão de 310,89km e área de drenagem de aproximadamente 17631,42km<sup>2</sup>, segundo dados do IGAM (2007).

A bacia hidrográfica do Rio Doce situa-se entre os paralelos 18°45' e 21°15' de latitude sul e os meridianos 39°55' e 43°45' de longitude oeste e abrange uma área de drenagem de cerca de 83.400 km<sup>2</sup> nos Estados de Minas Gerais e do Espírito Santo (CBH-Doce, 2008).

O presente trabalho abrange parte do Rio Piranga, que se inicia no encontro do Rio Piranga com o Rio Xopotó e termina logo após o encontro do Rio Piranga com o Rio do Carmo, de onde passa a se chamar Rio Doce. O Rio Piranga passa por cidades como Porto Firme, Ponte Nova, Guaraciaba e inúmeras pequenas propriedades rurais.

Grande parte do percurso é feita pela rodovia que liga Ouro Preto a Rio Doce, mas também alguns pontos foram feitos a partir de pequenas estradas vicinais.

## **2.2 – ASPECTOS LOCAIS**

Os aspectos florais atuais refletem a atuação antrópica sobre o meio natural. Esses aspectos apresentam-se sob a forma de uma paisagem combinada de pastagens e capoeiras, havendo predomínio significativo das primeiras (Raposo, 1991).

A indústria de caulim, desde a década de 70, vem trazendo melhorias ao município de Brás Pires, sendo a garimpagem do ouro uma atividade incrementada nos últimos anos, principalmente nos municípios de Piranga e Guaraciaba. A elevada densidade demográfica atingida no ciclo aurífero ainda pode ser testemunhada pelo grande número de pequenos municípios e distritos, com distâncias relativamente curtas entre si (Raposo, 1991).

Segundo o IGAM (2007) os principais problemas da bacia do Rio Piranga são: a poluição; a redução da recarga do lençol freático; os problemas de drenagem das estradas rurais; o extrativismo ambiental, feito através do desmatamento, 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.

## **2.3 – GEOLOGIA**

A ocorrência natural dos elementos químicos em quantidades variáveis se deve ao intemperismo físico e químico da rocha e depende, principalmente, da composição das rochas que formam a crosta terrestre e dos processos geoquímicos que transportam e redistribuem esses elementos no ambiente geológico (NAVFAC, 2003; Alloway, 1990; Siegel, 2002, citados por Guimarães, 2005).

A litologia é um fator essencial na determinação das características químicas dos rios (Drever, 1988, 1994 citados por Meybeck, 2003), especialmente em escala local (Miller, 1961; Meybeck, 1986, 2003). Em escala regional, geralmente é uma mistura de vários tipos de rochas, embora em algumas grandes bacias possa conter um tipo predominante de rocha como um escudo granítico ou uma plataforma sedimentar (Meybeck, 2003).

A área em estudo está inserida litologicamente no Grupo Dom Silvério e no Complexo Mantiqueira, e também há presença de unidades litológicas do Complexo Acaiaca.

### **2.3.1 – Complexo Acaiaca**

Esta unidade é caracterizada por quartizitos-anfibólio-piroxênio-plagioclásio-gnaiss granulítico, diopsídio-anfibolioplagioclásio-gnaiss, hiperstênio-gabro e gabro anfibolitizado. Ocorrem também corpos graníticos de granulações muito grossas e corpos de pegmatóides (Jesus, 2002).

### **2.3.2 – Complexo Mantiqueira**

Este grupo é formado por granitóides, gnaisses e migmatitos, graníticos ou tonalítico com intercalações de metassedimento, xisto magnesianos e anfibolitos (SIAM, 2007).

Os principais litotipos dessa unidade são gnaisses bandados em zonas de cisalhamento, podendo observar corpos de anfibolitos intrusivos, com espessura de no máximo 2 m, concordantes com a foliação. Afloram entre as litologias desse complexo rochas calcissilicáticas e quartizitos (Raposo, 1991).

As principais rochas desta unidade são gnaisses bandados de composição tonalito-trochmítica e granito-granodiorítica com intercalações de corpos tabulares de metabasitos com migmatizações pré e sin-deformacionais em maior ou menor grau. Subordinadamente tem-se rochas cálcio-silicáticas, metaultrabasitos, metagabros e quartizitos.

Segundo a denominação de Brandalise (1990), citado por Baltazar e Raposo (1993), o Complexo Mantiqueira é designado como uma seqüência de gnaisses

dominantemente ortoderivados, de composições diversas, migmatizados ou não, com intercalações frequentes de anfibolitos e metagabros e eventuais enclaves tectônicos de quartzitos, xistos e rochas calcossilicáticas de seqüência supracrustais e rochas de alto grau metamórfico correlacionáveis com litologias agrupadas no Complexo Acaiaca.

Essas rochas são de maneira geral gnáissicas, classificadas geologicamente como ácidas, principais fornecedores dos elementos Ca, K, Na, Al e Si tendo eles como minerais principais os feldspatos. Por outro lado, elas são pobres em Ni, Cr, Co, Cu, Zn e As.

### 2.3.3 – Grupo Dom Silvério

O grupo Dom Silvério é basicamente formado por mica xistos, quartzitos, anfibolitos, tremolititos e gonditos, principais fornecedores dos elementos As, Cd, Co, Cr, Ni, V e Zn, (Roeser *et al.*, 1984; Polli *et al.*, 1984).

Esta unidade é representada, sobretudo por quartzo-mica-xisto que ocorre ora de forma subordinada, ora de forma dominante com o mica-xisto marcado pela presença de plagioclásio. A deformação nessas rochas é intensa, caracterizando-as como protomilonitos e milonito-xistos (Raposo, 1991).

Machado Filho *et al.* (1983), citado por Jesus (2002), identificaram, além dos litotipos citados acima: rochas metabásicas, metaultrabásicas, xistos grafitosos e gonditos, caracterizando-o como uma possível seqüência tipo greenstone-belt.

Em resumo:

Litologia	Principais formadores
Complexo Acaiaca	Quartzitos-anfibólio-piroxênio-plagioclásio-gnaiss granulítico, diopsídio-anfibolioplagioclásio-gnaiss, hiperstênio-gabro e gabro anfibolitizado.
Complexo Mantiqueira	Granitóides, gnaisses e migmatitos, graníticos ou tonalítico com intercalações de metassedimento, xisto magnesianos e anfibolitos
Grupo Dom Silvério	Mica xistos, quartzitos, anfibolitos, tremolititos e gonditos

### 3.1 – AMOSTRAGEM

Para o presente trabalho foram realizadas duas campanhas de amostragem de água e sedimentos, durante as estações chuvosas (verão) e secas (inverno), ao longo do Rio Piranga e nos seus principais tributários (Fig. 3.1). Sendo possível determinar as variações sazonais dos parâmetros estudados.

A amostragem durante a estação chuvosa ocorreu no período compreendido entre dezembro de 2006 e março de 2007. Já a amostragem na estação seca foi realizada no mês de agosto de 2007.

Os pontos de amostragem e o número de pontos foram definidos através de visitas a área de estudo e também de acordo com as condições favoráveis à coleta. As coordenadas destes pontos foram estabelecidas por meio de GPS e em seguida marcadas no mapa da região.

Definiram-se assim 25 pontos de amostragem durante a estação chuvosa, sendo 7 ao longo do Rio Piranga e 18 pontos em seus principais tributários (Fig. 3.1). Os pontos marcados na primeira campanha foram repetidos na segunda campanha, no período seco, e também se acrescentaram 2 pontos ao longo do Rio Piranga, totalizando 27 pontos na segunda campanha.

Para cada ponto de amostragem foram coletadas amostras de água e sedimento. Em alguns pontos não foi possível a coleta de sedimentos por não haver material suficiente disponível para coleta. Na estação chuvosa foram coletadas 25 amostras de água e 20 de sedimentos, e na época seca, 27 amostras de água e 24 amostras de sedimentos.

Os nomes dos tributários das margens direita e esquerda são apresentados na Figura 3.2.

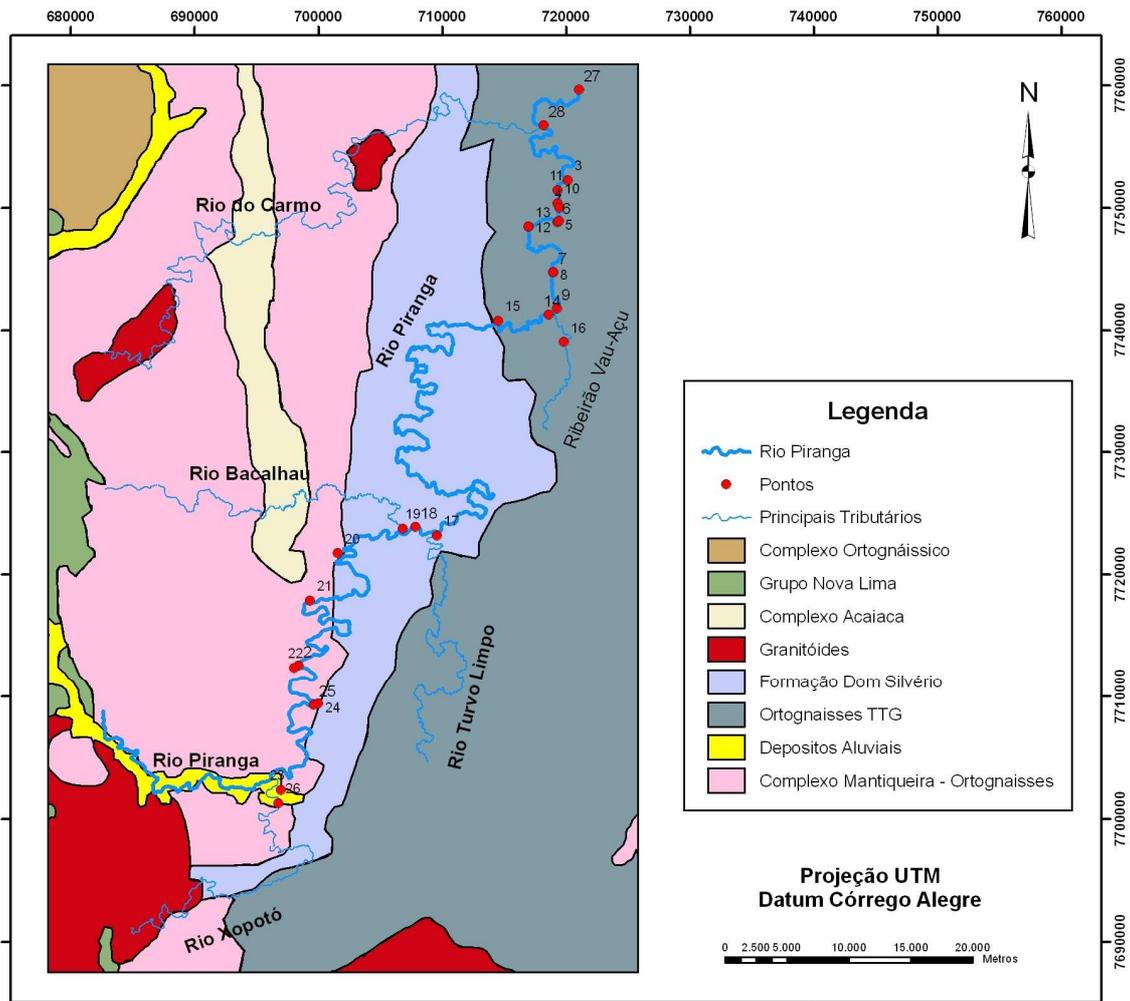


Figura 3.1 – Pontos de amostragem e características litológicas da região estudada. Mapa modificado segundo Torres, 2007.

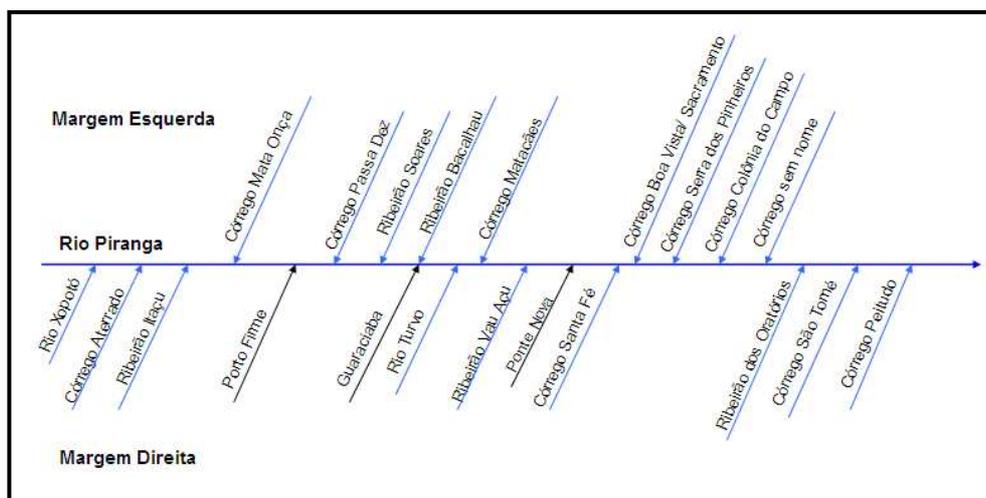


Figura 3.2 – Tributários das margens direita e esquerda do Rio Piranga.

### 3.1.1 – Águas

Os frascos a serem utilizados para a coleta das amostras de água foram devidamente lavados com água destilada e secos no laboratório. Assim, as amostras de água foram coletadas de acordo com a metodologia proposta por Agudo (1987), que proponha tais procedimentos para evitar a contaminação das amostras.

Foram coletadas para cada ponto duas amostras de água:

- a primeira amostra era coletada em frascos de 1000mL para a determinação de alcalinidade, turbidez, teor de sulfatos e o teor de cloretos a serem feitos no laboratório.
- no campo, a segunda amostra passava pelo processo de filtração por bomba a vácuo e membranas de filtro de 0,45µm de porosidade, em seguida era acidificada com ácido nítrico concentrado (HNO<sub>3</sub> 65%) em pH menor do que 2, para evitar troca iônica e precipitação dos hidróxidos. Esta amostra era acondicionada em frascos de 60mL para a determinação de elementos maiores e traços (Greenberg *et al.*, 1992).

Foram utilizados dois tipos de amostradores neste procedimento: o primeiro amostrador consiste de um frasco de 2 litros acoplado em uma haste para a coleta na margem do rio, o segundo refere-se a um amostrador vertical tipo *Limmus* com capacidade de 2,5L para coletas de locais suspensos, como pontes.

### 3.1.2 – Sedimentos

Entende-se por sedimentos os materiais insolúveis que se depositam no fundo dos corpos de água. Os sedimentos constituem um fator muito importante do sistema aquático, por sua participação no equilíbrio dos poluentes solúveis/insolúveis e por sua maior permanência no corpo de água, sendo, em geral, integradores das cargas poluentes recebidas pelas águas (Agudo, 1987).

Geralmente os sedimentos de interesse ambiental são aqueles que permanecem nas camadas superficiais e estão finamente divididos (fração < 200µm). Assim, em muitos casos, a retirada de alguns centímetros da camada superficial basta para atender à maioria dos estudos (Agudo, 1987).

O procedimento de coleta dos sedimentos variou de ponto para ponto, de acordo com as condições de acesso dos locais. Para alguns pontos as coletas foram realizadas com o auxílio de um tubo de PVC a, aproximadamente, 1 (um) metro da margem do rio, fazendo-se a 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 (três) metros de comprimento

Alguns pontos de amostragem foram definidos em travessias de pontes, assim as amostras foram coletadas utilizando-se uma draga tipo Birge-Ekman, equipamento apropriado para o procedimento. O material coletado era acondicionado em saco plástico, lacrado e identificado.

## **3.2 – MEDIÇÕES *IN SITU* E ANÁLISES EM LABORATÓRIO**

### **3.2.1 – Água**

Durante a primeira campanha foram feitas determinações de temperatura e pH *in situ* utilizando termômetro e pH-metro.

Durante a segunda campanha foram determinados outros parâmetros *in situ*, como condutividade elétrica, sólidos totais dissolvidos, Eh e salinidade, além de pH e temperatura. Através de multiparâmetro portátil da marca Myron L. Company, modelo 6P. Este aparelho foi calibrado previamente em laboratório.

As demais análises foram feitas no Laboratório de Geoquímica Ambiental (LGqA) do Departamento de Geologia da Universidade Federal de Ouro Preto.

A turbidez foi determinada com o auxílio do Turbidímetro marca Micronal, modelo B250. A determinação de alcalinidade, teor de cloretos e teor de sulfatos foram realizadas de acordo com a metodologia proposta por Greenberg *et al.* (1992). A alcalinidade e o teor de cloretos foram determinados pelo método titulométrico e a determinação do teor de sulfatos pelo método turbidimétrico.

As amostras de água para a determinação do teor de cloretos e sulfatos foram previamente filtradas utilizando membranas de 0,45 µm e sistema a vácuo, para que a turbidez não influenciasse nas análises.

As análises dos elementos químicos nas amostras de água foram feitas por Espectroscopia de Emissão Atômica com Plasma Indutivamente Acoplado (ICP-OES). marca SPECTRO/ modelo *Ciros* CCD. Os elementos maiores e traços determinados foram Al, As, Ba, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, Li, Mg, Mn, Na, V e Zn.

### 3.2.2 – Sedimentos

Para a preparação das análises químicas, os sedimentos foram colocados em bacias plásticas protegidos com sacos plásticos e em seguida secos em capela, a aproximadamente 40 °C com auxílio de lâmpadas de 200 W, para que não houvesse perda de elementos voláteis de acordo com Forstner (2004).

O material seco passou por um processo de quarteamento e em seguida pelo peneiramento, utilizando malhas de 35 mesh, 65 mesh, 115 mesh, 250 mesh e >250 mesh. Obtendo-se, assim, frações granulométricas de 500µm, 210µm, 149µm, 063µm e <63µm.

A fração com granulometria menor que 63µm de cada amostra foi separada para as análises químicas. Como vários estudos indicam, considera-se que os metais e metalóides estão preferencialmente associados às frações mais finas, devido a adsorção de íons metálicos pelos minerais de argila (Förstner & Wittman 1981; Förstner 2004).

Estas amostras foram submetidas à digestão total utilizando água régia e ácido fluorídrico. Para a digestão total, pesou-se cerca de 250mg de amostra, no interior de frascos Savillex de peso conhecido.

Em seguida, foram realizadas as seguintes etapas, cada etapa consiste em adições de ácidos até a secura do líquido em placa aquecedora:

- adição de 3mL de ácido clorídrico 10 ml/L seguido de 1mL de ácido nítrico 10mol/L, frasco aberto com a mistura até a secura, temperatura de 100°C;
- adição de 2mL de ácido fluorídrico concentrado, frasco foi levado à secura á 140°C;
- adição de 2mL de ácido fluorídrico concentrado, frasco fechado mantido sobre placa aquecedora á 140°C por cerca de 30 horas;
- frasco retirado da placa, resfriado e aberto, em seguida recolocado sobre a placa aquecedora à cerca de 110°C até a secura;

- adição de 2mL de ácido nítrico 10mol/L, frasco aberto colocado sobre a placa aquecedora até sua secura à cerca de 110°C;
- adição de 2mL de ácido nítrico 10mol/L, frasco aberto à temperatura constante de 110°C até sua secura; e
- adição 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.

Com a solução resultante desse processo determinou-se os teores de Al, As, Ba, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na, Ni, V e Zn via ICP-OES, marca SPECTRO/ modelo *Ciros* CCD.

## 4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

---

### 4.1 – PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA

Águas naturais possuem um valor inestimável para indicar as condições ambientais de um determinado sistema. A avaliação dos recursos hídricos, bem como seu gerenciamento e planejamento ambiental não pode ser realizada sem este tipo de trabalho/dado (Pimentel, 2001).

A qualidade da água pode ser representada através de diversos parâmetros, que traduzem suas principais características físicas, químicas ou biológicas.

#### 4.1.1 – Parâmetros físicos e químicos

##### 4.1.1.1 – Temperatura

A temperatura é uma medida de intensidade de calor. Elevações da temperatura podem acarretar aumento da taxa das reações químicas e biológicas, diminuição da solubilidade dos gases (ex: oxigênio dissolvido) e aumento da taxa de transferência de gases (von Sperling, 2008).

Variações de temperatura constituem parte do regime climático normal, e corpos de água naturais apresentam variações sazonais e diurnas, bem como estratificação vertical. A temperatura superficial é influenciada por fatores tais como latitude, altitude, estação do ano, período do dia, taxa de fluxo e profundidade. A elevação da temperatura em um corpo d'água geralmente é provocada por despejos industriais (indústrias canavieiras, por exemplo) e usinas termoelétricas (CETESB, 2007).

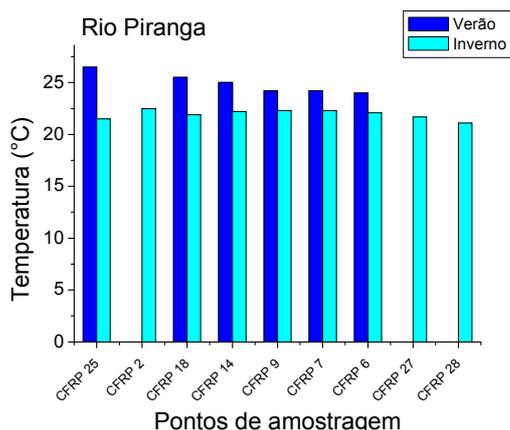


Figura 4.1 – Temperatura no inverno e verão nas águas do Rio Piranga.

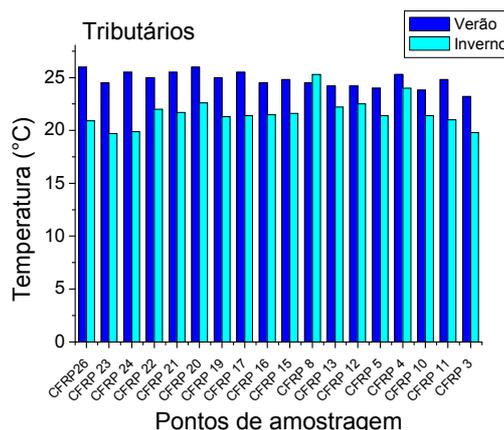


Figura 4.2 – Temperatura no inverno e verão nas águas dos tributários.

O Rio Piranga apresentou temperaturas variando de 21,1 a 26,5°C no período chuvoso e 21,1 a 22,5°C no período seco (Fig. 4.1). Os tributários apresentaram temperaturas entre 19,4 e 26°C e entre 19,7 e 25,3°C nos mesmos períodos (Fig. 4.2).

#### **4.1.1.2 – Turbidez**

A turbidez representa o grau de interferência com a passagem da luz através da água, conferindo uma aparência turva à mesma, causado pelos sólidos em suspensão que podem ser de origem natural como as partículas de rocha, argila e silte, as algas e outros microrganismos, ou então, devido aos despejos domésticos e industriais (von Sperling, 2008).

A erosão das margens dos rios em estações chuvosas é um exemplo de fenômeno que resulta em aumento da turbidez das águas e que exigem manobras operacionais, como alterações nas dosagens de coagulantes e auxiliares, nas estações de tratamento de águas. A erosão pode decorrer do mau uso do solo em que se impede a fixação da vegetação. Este exemplo mostra também o caráter sistêmico da poluição, ocorrendo inter-relações ou transferência de problemas de um ambiente (água, ar ou solo) para outro (CETESB, 2007).

Na amostragem no Rio Piranga do período chuvoso a turbidez variou de 4,3 a 70,75FTU, e no período seco de 3,5 a 6,6FTU (Fig. 4.3). Pode-se observar comportamento semelhante nos tributários, em que as variações foram de 2,8 a 93FTU (chuva) e 2,49 a 14FTU (seca), (Fig. 4.4). No período da seca foi observada uma turbidez de 42,5FTU no

Córrego Colônia do Campo (CFRP 10), tal fato deve ter ocorrido devido a alguma alteração momentânea da turbidez do córrego como a passagem de animais ou qualquer ação que tenha provocado o movimento da água, pois está muito acima do que foram registrados nos demais córregos para este período.

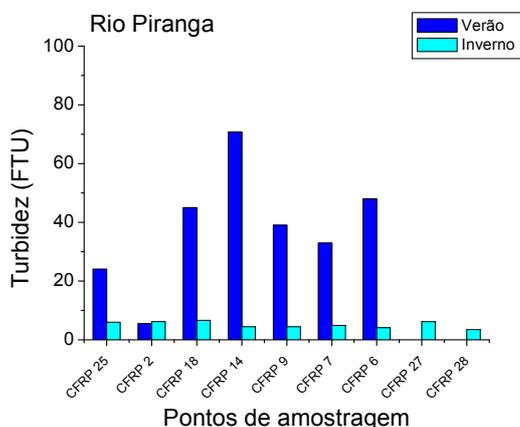


Figura 4.3 – Turbidez no inverno e verão nas águas do Rio Piranga.

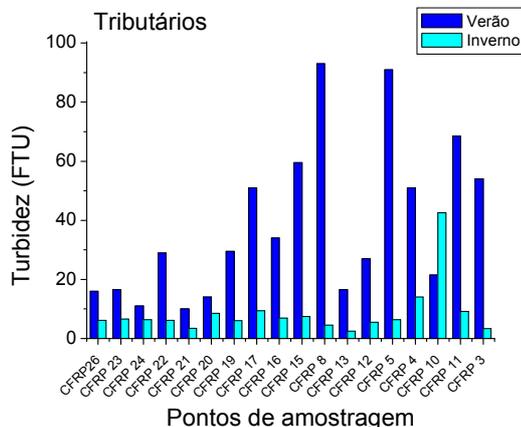


Figura 4.4 – Turbidez no inverno e verão nas águas dos tributários.

#### **4.1.1.3 – Potencial Hidrogeniônico (pH)**

Como definição, o pH representa a concentração de íons hidrogênio H<sup>+</sup> (em escala anti-logarítmica), dando uma indicação sobre a condição de acidez, neutralidade ou alcalinidade da água. (von Sperling, 2008) É a relação numérica que expressa o equilíbrio entre íons H<sup>+</sup> e íons OH<sup>-</sup>. As maiores alterações do ponto de vista desse indicador nas coleções de água podem ser provocadas por despejos industriais (Derísio, 2000).

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. (CETESB, 2007)

O Rio Piranga apresentou valores de pH variando de 6,8 a 8,14 no verão (Fig. 4.5). No inverno a maioria da amostras apresentaram pH variando de 6,44 a 7,45, porém um dos pontos apresentou o pH igual a 5,17, tal fato possivelmente poderia ser momentâneo, uma vez que o ponto mais próximo a este apresentou pH igual a 7,14. Esta alteração no pH

poderia ser devido a alguma ação antrópica mais forte. Outras investigações seriam necessárias para apurar o caso.

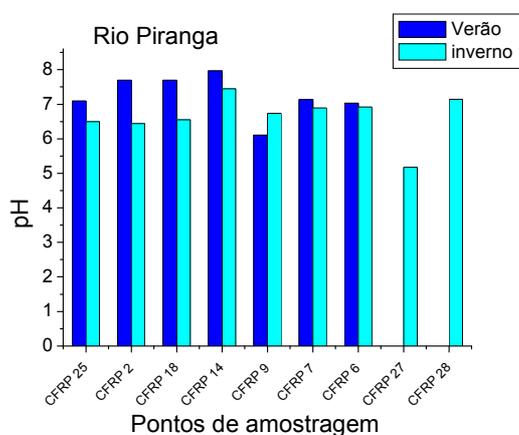


Figura 4.5 – pH no inverno e verão nas águas do Rio Piranga.

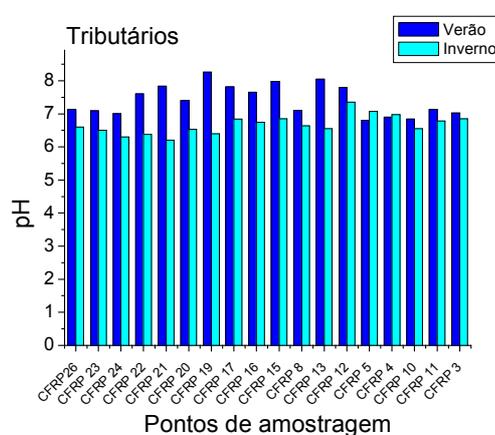


Figura 4.6 – pH no inverno e verão nas águas dos tributários.

Os tributários apresentaram pH variando de 6,8 a 8,35 e de 6,2 a 7,35 no verão e inverno, respectivamente (Fig. 4.6).

### **3.1.1.4 – Alcalinidade**

Segundo von Sperling (2008), alcalinidade é a quantidade de íons na água que reagirão para neutralizar os íons hidrogênio. É uma medição 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, carbonatos e hidróxidos. A distribuição entre as três formas é função do pH.

A alcalinidade poderá ser devido à dissolução das rochas (intemperismo), à reação do CO<sub>2</sub> com a água ou devido aos despejos industriais. Este parâmetro apresentou variações de 10 a 45,14mg/L no período de chuvoso, e 17,13 a 25,03mg/L no período das secas para o Rio Piranga. Frisando que o valor 45,14mg/L, referente ao ponto CFRP 7 no período chuvoso, trata-se de um valor muito acima do apresentado pelas outras amostras, tal fato poderá ser atribuído a uma provável poluição antropogênica, uma vez que foi constatada na segunda campanha a descarga de efluentes no mesmo ponto (Fig. 4.7).

Os tributários apresentaram valores em torno de 17,69 a 55,82mg/L no período de chuvoso, e 14,5 a 80,37mg/L no período da seca (Fig. 4.8). Observa-se que o valor 80,37mg/L, referente ao ponto CFRP 22 (Córrego Mata Onça), está em evidência dentre as

amostras. Este ponto está situado nas proximidades da cidade de Porto Firme, o que implica uma possível poluição de origem antropogênica. O ponto CFRP 11, referente a um córrego sem denominação apresentou também valores de alcalinidade mais elevados em relação aos outros pontos, pode-se inferir também que seja oriunda de alguma atividade antropogênica.

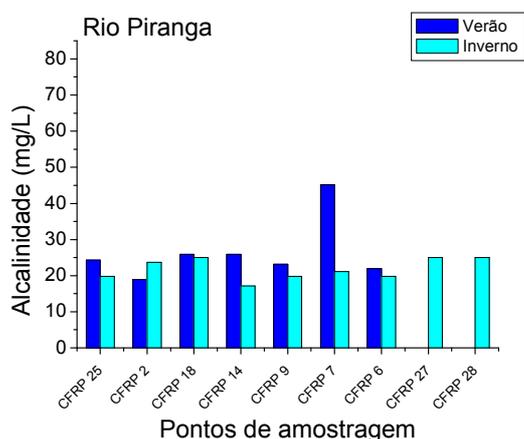


Figura 4.7 – Alcalinidade no inverno e verão nas águas do Rio Piranga.

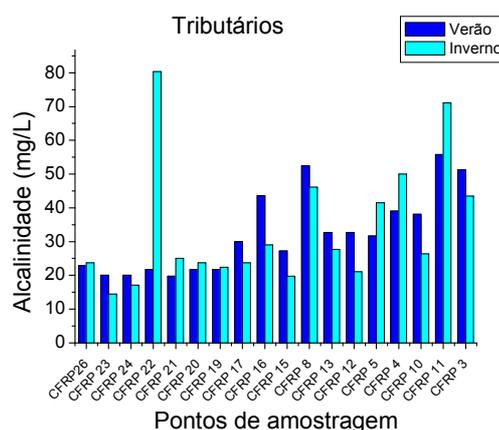


Figura 4.8 – Alcalinidade no inverno e verão nas águas dos tributários.

### 3.1.1.5 – Cloretos

Cloretos ocorrem em águas naturais devido a fontes naturais (dissolução mineral) e a atividade antropogênica (von Sperling, 2008).

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. Eram utilizados como indicadores da contaminação por esgotos sanitários, podendo-se associar a elevação do nível de cloreto em um rio com o lançamento de esgotos sanitários. O cloreto apresenta também influência nas características dos ecossistemas aquáticos naturais por provocarem alterações na pressão osmótica em células de microrganismos (CETESB, 2007).

A concentração de cloreto para as amostras do Rio Piranga variaram de 1,95 a 4,4mg/L no período de chuvas e de 0,49 a 32,51mg/L no período das secas (Fig. 4.9). Como pode ser observado no gráfico a seguir, o valor 32,51mg/L está muito além do que foi apresentado pela maioria das amostras. Trata-se da amostra de um ponto situado logo

após o encontro do Rio Piranga com o Rio do Carmo, o que remete à provável contribuição do Rio do Carmo para este resultado.

Já para os tributários esta variação foi de 1,46 a 9,31mg/L no período de chuvas e de 0,49 a 14,29mg/L no período das secas (Fig. 4.10). A amostra que apresentou o resultado 14,29mg/L no período das secas corresponde a amostra colhida no ponto CFRP 5 (Ribeirão dos Oratórios), embora não esteja em uma área de grandes aglomerações urbanas e não havendo algum tipo de atividade maior (como uma indústria), este valor poderá ser atribuído a um lançamento de esgoto doméstico de algum sítio ou casa que esteja nas proximidades.

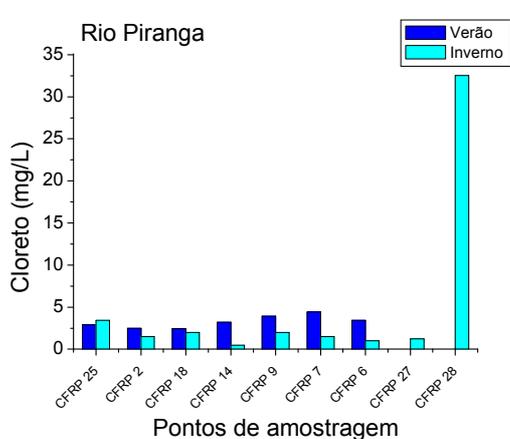


Figura 4.9 – Concentração de cloretos no inverno e verão nas águas do Rio Piranga.

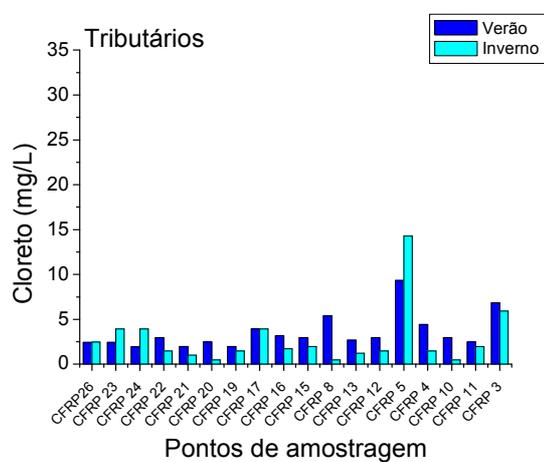


Figura 4.10 – Concentração de cloretos no inverno e verão nas águas dos tributários.

#### 4.1.1.6 – Condutividade elétrica

Trata-se de uma expressão numérica da capacidade da água conduzir a corrente elétrica que depende de suas concentrações iônicas e da temperatura (CETESB, 2007). As águas potáveis apresentam condutividade entre 50 e 1500µS/cm (McCutcheon *et al.* citado por Costa, 2001 ).

A condutividade é uma boa indicadora das modificações na composição da água, especialmente na sua concentração mineral, mas não fornece nenhuma indicação das quantidades relativas dos vários componentes. À medida que mais sólidos dissolvidos são adicionados, a condutividade específica da água aumenta. Altos valores podem indicar características corrosivas da água. A condutividade indica a quantidade de sais existentes

na coluna d'água, além de variações de pH e, portanto, pode representar uma medida indireta da concentração de poluentes (CETESB, 2007).

A condutividade elétrica foi medida apenas no inverno (seca), devido à disponibilidade do equipamento. Assim, as leituras apresentaram resultados com variações de 32,96 a 36,88  $\mu\text{S}/\text{cm}$  para a maioria dos pontos de amostragem no Rio Piranga (Fig. 4.11). Porém, em dois pontos os resultados ficaram muito acima desta faixa, 1729 e 4058  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Estes dois pontos situam-se após o encontro do Rio Piranga com o Rio do Carmo. Assim sendo, pode-se concluir que as águas do Rio do Carmo influenciam estes teores, considerando, que ele traz em termos de poluição antropogênica uma carga bem maior, passando por muitas cidades e vilas da região (Ouro Preto, Mariana, Ribeirão do Carmo, Furquim, Barra Longa). Porém, para investigar este aspecto seriam necessárias novas e detalhadas pesquisas na área de estudo para que se tenha uma posição definitiva para tal fato.

Na maioria dos tributários a condutividade elétrica para este mesmo período apresentou variações de 7,06 e 68,65  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (Fig. 4.12). Em três dos tributários este valor foi acima de 100  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , o que pode indicar uma provável concentração de poluentes de origem antropogênica.

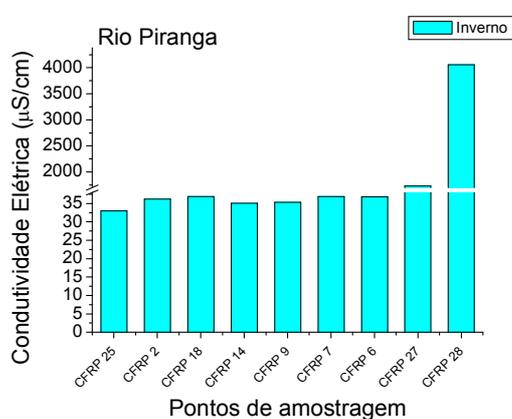


Figura 4.11 – Condutividade elétrica no inverno nas águas do Rio Piranga.

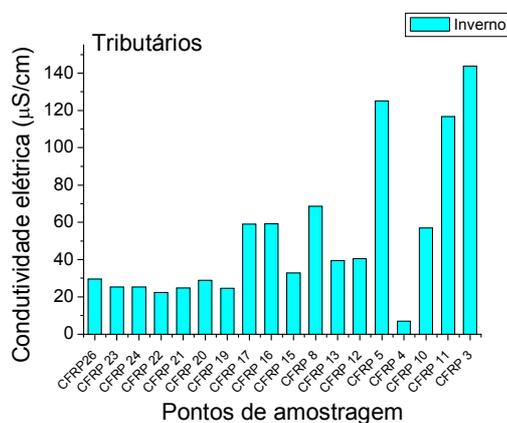


Figura 4.12 – Condutividade elétrica no inverno nas águas dos tributários.

#### **4.1.1.7 - Sólidos Totais Dissolvidos**

Referem-se ao peso total dos constituintes minerais presentes na água, por unidade de volume. Representa a concentração de todo o material dissolvido na água, se ou não

volátil. Comumente os sólidos totais dissolvidos são um pouco superiores ao resíduo seco, em função do  $HCO_3^-$  (bicarbonato) que em altas temperaturas ( $> 100^\circ C$ ) se decompõe em parte como  $CO_3^{2-}$  e em parte como  $CO_2$ , que se volatiliza e evapora da amostra. (Santos, 1997)

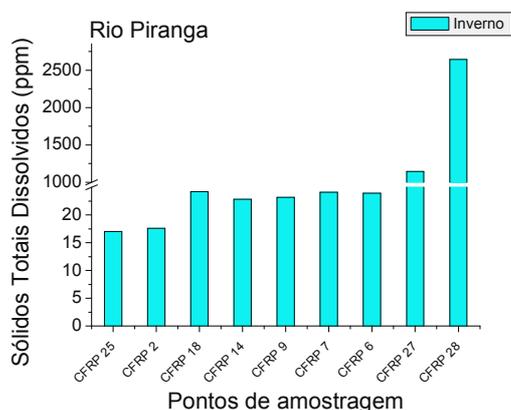


Figura 4.13 – Sólidos totais dissolvidos no inverno nas águas do Rio Piranga.

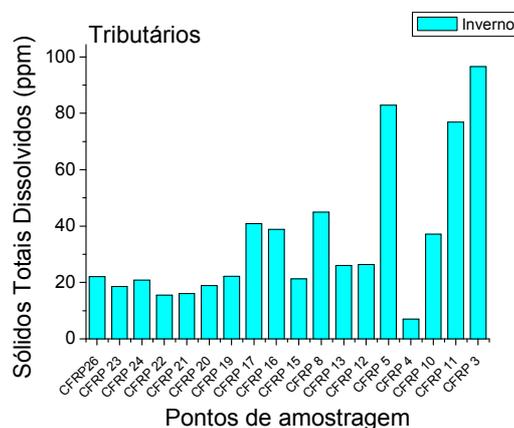


Figura 4.14 – Sólidos totais dissolvidos no inverno nas águas dos tributários.

A leitura deste parâmetro foi feita apenas no inverno, devido à disponibilidade do aparelho multiparâmetro. Os resultados obtidos para as amostras dos tributários ficaram entre 7,06 e 96,6ppm (Fig. 4.14). Os mesmos pontos que apresentaram condutividade elétrica alta, também apresentaram teores elevados de sólidos totais dissolvidos, uma vez que são duas grandezas diretamente ligadas. Considera-se também a provável concentração de poluentes de origem antropogênica nestes pontos.

A maioria das amostras do Rio Piranga tiveram seus resultados entre 17,01 e 24,24ppm (Fig. 4.13), dois pontos situados logo após o encontro do Rio Piranga com o Rio do Carmo apresentaram resultados muito elevados em relação a maioria das amostras, 1148 e 2645ppm. Como foi frisado para os altos valores de condutividade elétrica, uma influência antropogênica maior poderá ser considerado nestes dois pontos para o teor de sólidos totais dissolvidos.

#### **4.1.1.8 – Sulfato**

O sulfato origina-se da oxidação do enxofre presente nas rochas, na maioria dos casos na forma de minerais sulfetos, e da lixiviação de compostos sulfatados (gipsita –

$\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$ , e anidrita-  $\text{CaSO}_4$ ). São sais moderadamente solúveis a muito solúveis, exceto os sulfatos de estrôncio ( $\text{SrSO}_4$ ) e os de bário ( $\text{BaSO}_4$ ), satura a 1500mg/L e podem chegar até 7200mg/L em águas salinas. Em meio redutor, com abundante matéria orgânica, pode sofrer uma redução bacteriana a S ou  $\text{S}^{-2}$ , porém em geral é estável (Santos 1997).

A maior parte do sulfato vem, com certeza, dos sulfetos como piritita ( $\text{FeS}_2$ ), abundante em rochas da região (xistos, anfíbolitos). A atividade antropogênica também pode ser considerada como uma das fontes de sulfato nas águas.

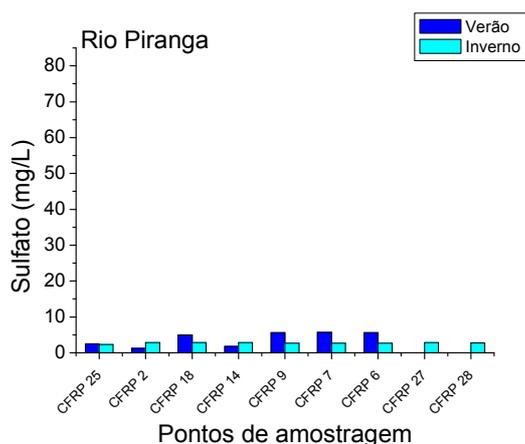


Figura 4.15 – Concentração de sulfatos no inverno e verão nas águas do Rio Piranga.

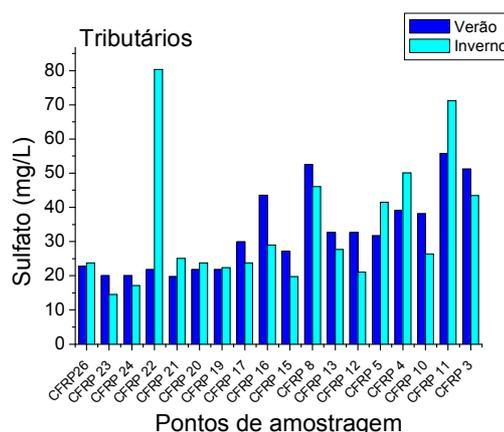


Figura 4.16 – Concentração de sulfatos no inverno e verão nas águas dos tributários.

O Rio Piranga apresentou a concentração de sulfato variando de 1,17 a 5,68mg/L na amostragem de verão e de 2,29 a 2,86mg/L na amostragem de inverno (Fig. 4.15). Destaca-se os valores referentes aos pontos CFRP 6, 7, 9 e 18 nas amostras coletadas no verão. O ponto CFRP 9 encontra-se na cidade de Ponte Nova, o ponto CFRP 18 na cidade de Guaraciaba, e os pontos CFRP 6 e 7 nas proximidades da cidade de Ponte Nova, onde há pequenos conglomerados urbanos. Assim, estes valores podem ser atribuídos a atividade antropogênica nestas áreas.

Para os tributários estes valores foram: 1,08 a 7,60mg/L no verão, e 2,22 a 3,00mg/L no inverno (Fig. 4.16). Os resultados referentes aos pontos CFRP 22 e 11 no inverno apresentam-se em destaque em relação à maioria das amostras, o ponto CFRP 22 (Córrego Mata Onça) localiza-se bem próximo à cidade de Porto Firme, e o ponto CFRP 11 localiza-se após a cidade de Ponte Nova, onde há pequenas aglomerações. Novamente, pode-se inferir tais valores à atividade antropogênica.

## 4.1.2 – ELEMENTOS QUÍMICOS

### 4.1.2.1 – Alumínio

O alumínio é o terceiro elemento mais abundante na crosta terrestre, ocorrendo em minerais, rochas e solos (basicamente na forma de feldspatos, micas, e, argilominerais). Esta ampla distribuição é responsável pela presença do alumínio em quase todas as águas naturais como a concentração natural de um sal solúvel, um colóide, ou um composto insolúvel (Greenberg *et al.* 1992)

Na água, o alumínio é complexado e influenciado pelo pH, temperatura e a presença de fluoretos, sulfatos, matéria orgânica e outros ligantes. A solubilidade de Al é mais elevada em valores de pH inferiores a 4, 3 e por outro lado no campo alcalino. Assim, ela é baixa na faixa de pH entre 5,5 e 6,0. O alumínio deve apresentar maiores concentrações em profundidade, onde o pH é menor e pode ocorrer anaerobiose. Se a estratificação, e conseqüentemente a anaerobiose, não for muito forte, o teor de alumínio diminui no corpo de água como um todo, à medida que se distancia a estação das chuvas. O aumento da concentração de alumínio está associado com o período de chuvas e, portanto, com a alta turbidez (CETESB, 2007).

Parte das amostras dos tributários apresentou concentrações de alumínio abaixo do limite de quantificação (LQ) do aparelho utilizado. Durante o período chuvoso o valor máximo obtido para as amostras do Rio Piranga foi de 197,3µg/L e de 24,08µg/L no período seco. Para os tributários estes valores foram 107,4µg/L e 21,84µg/L.

Como se observa nas Figuras 4.17 e 4.18 são dois pontos que chamam atenção neste caso: o ponto CFRP 6, localizado no Rio Piranga e o ponto CFRP 4, localizado no Córrego Peitudo. Estes dois pontos apresentam concentrações de alumínio muito acima do registrado nos demais pontos e estão localizados próximo um do outro. Possivelmente se trata de uma fonte em comum de alumínio, mas maiores investigações deverão ser feitas para apurar a causa exata destas concentrações.

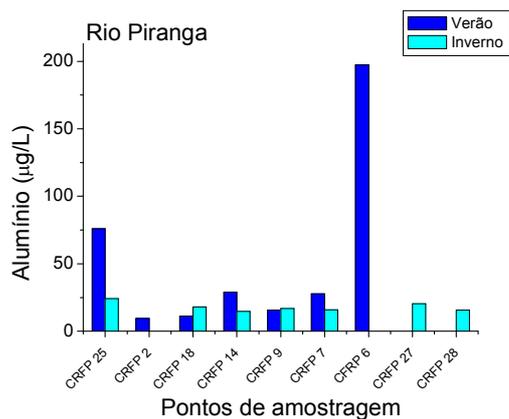


Figura 4.17 – Concentração de alumínio no inverno e verão nas águas do Rio Piranga.

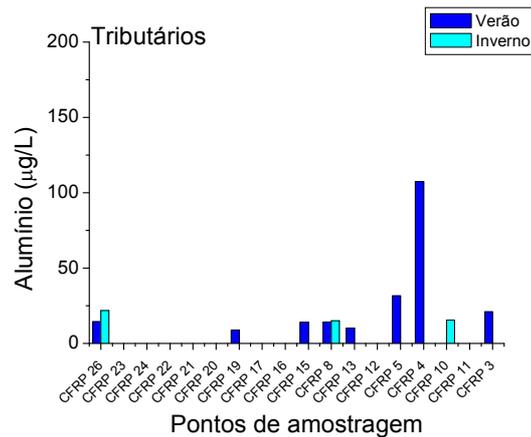


Figura 4.18 – Concentração de alumínio no inverno e verão nas águas dos tributários.

#### 4.1.2.2 – Arsênio

Severo envenenamento pode ocorrer devido à ingestão de tão pouco quanto 100mg de trióxido de arsênio; efeitos crônicos podem resultar da acumulação de compostos de arsênio no corpo por baixos níveis de consumo. Propriedades carcinogênicas também estão associadas aos compostos de arsênio. A concentração de arsênio na maioria das águas potáveis raramente excede 10µg/L, embora valores como 100µg/L já tenham sido constatados. A presença de arsênio, em alguma de suas formas, pode ser resultado da dissolução mineral, de descargas industriais ou de uso de herbicidas (Greenberg *et al.* 1992).

Todas as amostras apresentaram concentrações abaixo do limite de quantificação, tanto para o verão como para o inverno. O limite de quantificação para o verão foi de 85µg/L e para o inverno 215,97µg/L. O limite de quantificação refere-se ao limite de concentração mínimo possível de ser quantificado no aparelho em determinada leitura, assim, em dias diferentes, tem-se limites de quantificação diferentes.

Isso reflete a litologia da região estudada, que ao contrário, por exemplo, dos rios do Carmo e Conceição. Assim as águas e os sedimentos do Rio Piranga não são influenciados por minas de Au (ouro), e, minerais contendo As, como piritita (FeS<sub>2</sub>), calcopiritita (CuFeS<sub>2</sub>), e especialmente a arsenopiritita (FeAsS), sempre em paragênese com o Au ocorrem bem menos freqüentes nas rochas da área.

### 4.1.2.3 – Bário

O bário pode ocorrer naturalmente na água, na forma de carbonatos em algumas fontes minerais. A contribuição antropogênica decorre principalmente das atividades industriais e da extração da bauxita. Não possui efeito cumulativo, sendo que a dose fatal para o homem é considerada de 550 a 600mg. Provoca efeitos no coração, constrição dos vasos sanguíneos elevando a pressão arterial e efeitos sobre o sistema nervoso. O limite crítico para água potável é 0,7mg/L segundo Portaria 518/04 do Ministério da Saúde (MS, 2004). Os sais de bário são utilizados industrialmente na elaboração de cores, fogos de artifício, fabricação de vidro e inseticidas. Na perfuração de petróleo usa-se a barita ( $BaSO_4$ ), e, o mesmo composto químico desempenha ainda um certo papel na medicina, como meio de contraste para os raios-X. Em geral, Ba ocorre nas águas naturais em concentrações muito baixas, de 0,7 a 900 $\mu g/L$  (CETESB, 2007).

As concentrações de bário foram bastante baixas em todas as amostras. No Rio Piranga, tais concentrações estavam na faixa de 16,52 a 24,68 $\mu g/L$  durante o verão e de 14,15 e 17,94 $\mu g/L$  durante o inverno (Fig. 4.19). Nos tributários essas faixas foram de 13,64 a 69,3 $\mu g/L$  durante o verão e 11,02 a 65,2 $\mu g/L$  durante o inverno (Fig. 4.20). Dentre esses valores destacam-se os valores referentes aos pontos CFRP 8 e 11. Possivelmente essas concentrações estão relacionadas à atividade antropogênica exercida na região.

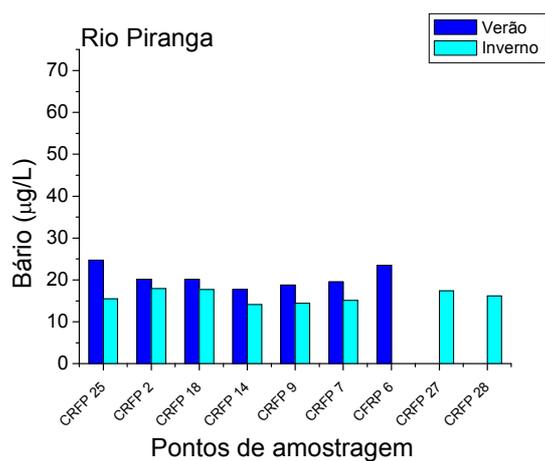


Figura 4.19 – Concentração de bário no inverno e verão nas águas do Rio Piranga.

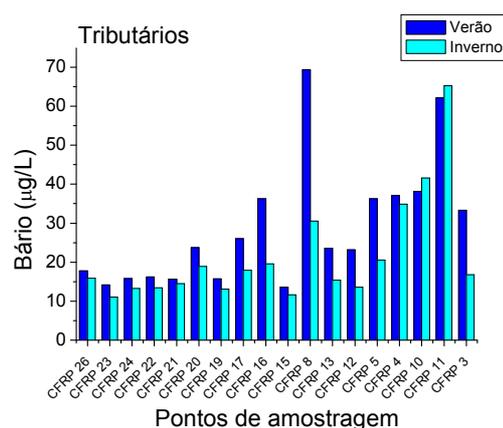


Figura 4.20 – Concentração de bário no inverno e verão nas águas dos tributários.

#### **4.1.2.4 – Cádmi**

A ocorrência natural de cádmio é ligada na maioria dos casos com mineralizações de sulfetos, isso significa na região do Quadrilátero Ferrífero, ligada a ocorrência de Au. Conhece-se nesta região muitos lugares com minas de Au, tanto antigas como ainda em atividades.

Entre as causas para poluições antropogênicas por cádmio em águas naturais podem-se citar as descargas de efluentes industriais, principalmente as galvanoplastias, produção de pigmentos, soldas, equipamentos eletrônicos, lubrificantes e acessórios fotográficos. Cd é também usado como inseticida. A queima de combustíveis fósseis, especialmente de carvão mineral e lignito, consiste também numa fonte de cádmio para o ambiente (CETESB, 2007).

O cádmio está presente em águas doces em concentrações traços, geralmente inferiores a 1µg/L. É um metal de elevado potencial tóxico, que se acumula em organismos aquáticos, possibilitando sua entrada na cadeia alimentar (CETESB, 2007).

Todas as amostras apresentaram concentrações abaixo do limite de quantificação do aparelho. O limite de quantificação para o verão foi de 8,0µg/L e para o inverno 4,91µg/L.

#### **4.1.2.5 – Cálci**

O cálcio está com cerca de 4% entre os cinco elementos mais abundantes, e, a presença deste nas coleções de água é na grande maioria dos casos resultado da passagem do rio através ou por cima de rochas calcárias (calcários – dolomitos – mármore).

Grandes quantidades de Ca são liberadas também durante os processos de intemperismo pela destruição de plagioclásios e outros silicatos, portadores de Ca (piroxênios, anfibólios). A concentração do cálcio pode variar de zero a alguns 100 miligramas por litro, dependendo da fonte e do tratamento da água. Pequenas concentrações de carbonato de cálcio combatem a corrosão das tubulações de metal. Sais de cálcio, por outro lado, precipitam com o aumento da temperatura, formando incrustações em caldeiras, e demais utensílios que estejam em contato. O cálcio é o principal elemento responsável para a dureza das águas (Greenberg *et al.* 1992).

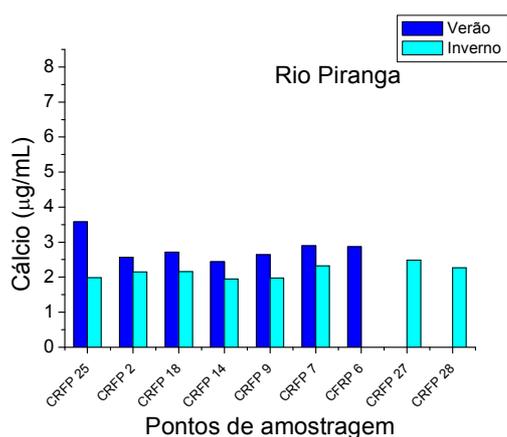


Figura 4.21 – Concentração de cálcio no inverno e verão nas águas do Rio Piranga.

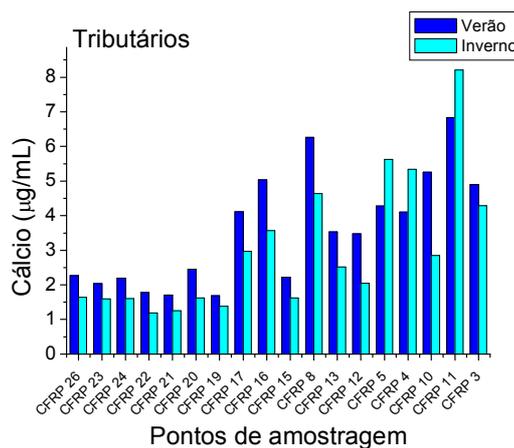


Figura 4.22 – Concentração de cálcio no inverno e verão nas águas dos tributários.

O Rio Piranga apresentou concentrações de cálcio variando de 2,44 a 3,58µg/mL no verão e de 1,95 a 2,49µg/mL no inverno. Os tributários apresentaram concentrações variando de 1,69 a 6,83µg/mL no verão e de 1,19 a 8,21µg/mL no inverno.

#### 4.1.2.6 – Cobalto

O cobalto normalmente ocorre em níveis abaixo de 10µg/L em águas naturais. Efluentes industriais podem conter grandes concentrações de cobalto (Greenberg *et al.* 1992).

Algumas amostras do Rio Piranga apresentaram concentrações abaixo do limite de quantificação. Os limites de quantificação foram de 15µg/L para o verão e para o inverno 10,84µg/L. O valor máximo observado no Rio Piranga para o verão foi de 65,8µg/L e para o inverno este valor foi de 71µg/L (Fig. 3.23).

Os tributários apresentaram todos os resultados acima do limite de quantificação. Assim, as variações das concentrações foram: 10,87 a 69,8µg/L no verão e 11,3 a 64,5µg/L no inverno (Fig. 3.24).

Considerando-se o que foi proposto por Greenberg *et al.* (1992), quase todas as amostras apresentam níveis acima de 10µg/L. Por outro lado a litologia dominante (gnáissica) da área impossibilita tais teores de Co, já que este elemento é muito mais ligado com rochas básicas e especialmente ultrabásicas. Assim sendo, uma possível poluição

antropogênica nestes cursos d'água não poderia ser desconsiderada. Este problema, como muitos outros, merece um cuidado especial em investigações futuras.

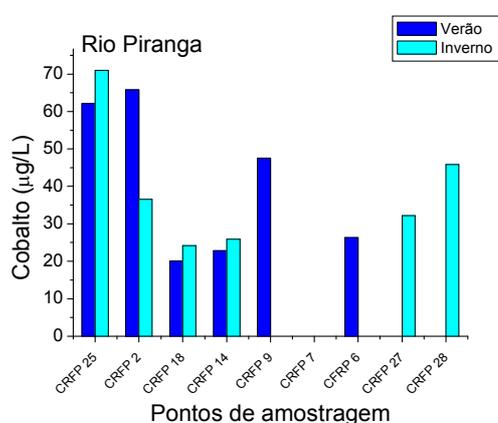


Figura 4.23 – Concentração de cobalto no inverno e verão nas águas do Rio Piranga.

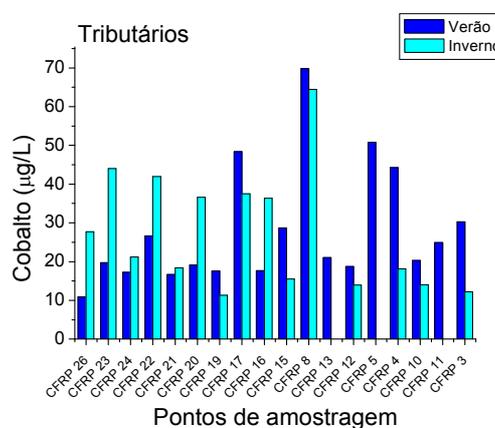


Figura 4.24 – Concentração de cobalto no inverno e verão nas águas dos tributários.

#### 4.1.2.7 – Cobre

O cobre, representado na crosta da Terra com cerca de 50 ppm e conseqüentemente também um elemento traço. Ele ocorre geralmente nas águas, naturalmente e em concentrações inferiores a 20µg/L. Quando em concentrações elevadas, é prejudicial à saúde e confere sabor às águas. Segundo pesquisas efetuadas, é necessária uma concentração de 20mg/L de cobre ou um teor total de 100mg/L por dia na água para produzir intoxicações humanas com lesões no fígado. No entanto, concentrações de 5mg/L tornam a água absolutamente impalatável devido ao gosto produzido (CETESB, 2007).

As fontes naturais de Cu para o meio ambiente incluem, como no caso de Zn, a desagregação de sulfetos como Covellita (CuS) calcopirita (CuFeS<sub>2</sub>), mas também óxidos e hidróxidos de Cu como cuprita (Cu<sub>2</sub>O), malaquita (Cu<sub>2</sub>[(OH)<sub>2</sub>/CO<sub>3</sub>]) e azurita Cu<sub>3</sub>[(OH)<sub>2</sub>/CO<sub>3</sub>]<sub>2</sub>. Já para os casos de poluições antropogênicas existem várias possibilidades. Assim conhece-se a corrosão de tubulações de latão por águas ácidas, efluentes de estações de tratamento de esgotos e o uso de compostos de cobre como algicidas aquáticos. Escoamento superficial e contaminação da água subterrânea a partir de usos agrícolas do cobre como fungicida e pesticida no tratamento de solos e efluentes, e precipitação atmosférica de fontes industriais também são bastante conhecidos. As

principais fontes industriais incluem indústrias de mineração, fundição e refinação (CETESB, 2007).

No Rio Piranga o cobre apresentou concentrações variando de 5,74 a 10,05µg/L no período chuvoso e durante o período seco todas as amostras apresentaram concentrações abaixo do limite de quantificação (LQ = 3,32µg/L). Nos tributários as concentrações variaram de 6,5 a 9,78µg/L no período chuvoso e no período seco algumas amostras apresentaram concentrações abaixo do limite de quantificação (LQ = 3,32µg/L), a maior concentração observada para as amostras dos tributários neste período foi de 4,096µg/L.

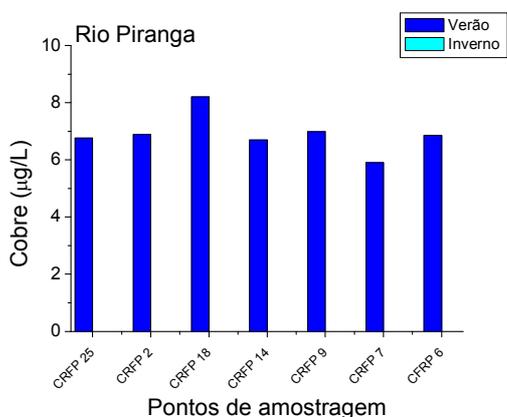


Figura 4.25 – Concentração de cobre no verão nas águas do Rio Piranga.

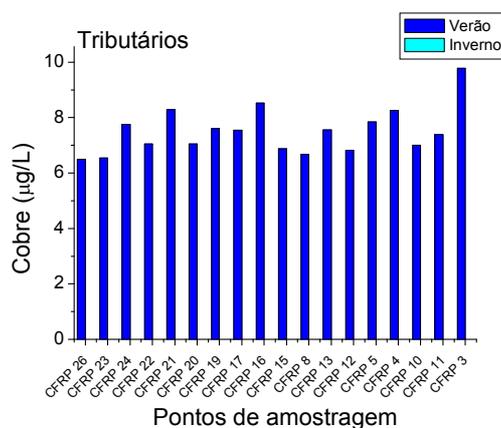


Figura 4.26 – Concentração de cobre no verão nas águas dos tributários.

Estas concentrações baixas explicam-se como no caso de outros elementos calcófilos, (Cd) pela ausência de ocorrências maiores de depósitos de sulfetos na região.

#### **4.1.2.8 – Cromo**

As concentrações de cromo em água doce são muito baixas, normalmente inferiores a 1µg/L. É um elemento traço na crosta terrestre, sua ocorrência é atribuída principalmente com rochas ultramáficas e rochas vulcano-clásticas, as primeiras pouco distribuídas e as últimas ausentes na região investigada. Cr é comumente utilizado em aplicações industriais e domésticas, como na produção de aço inoxidável, tintas, pigmentos, explosivos, papel, fotografias, e couro. Na forma trivalente o cromo é essencial ao metabolismo humano e, sua carência causa doenças. Na forma hexavalente é tóxico e cancerígeno. Os limites

máximos são estabelecidos basicamente em função do cromo hexavalente (CETESB, 2007).

Todas as amostras apresentaram concentrações abaixo do limite de quantificação. LQ igual a 10µg/L no período chuvoso e LQ igual a 7,39µg/L no período seco.

Isso se explica pela dominância de rochas gnáissicas na área. Cr igual Ni é muito mais ligado com rochas ultrabásicas - ultramáficas.

#### **4.1.2.9 – Ferro**

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. Além disso, nestas estações, as condições climáticas na região favorecem um intemperismo mais forte e rápido dos minerais de Fe. Também poderá ser importante a contribuição devido a efluentes industriais (CETESB, 2007).

O ferro, sendo um elemento essencial, de principio não se constitui em um tóxico, porém, em teores elevados, pode causar até câncer. Assim traz diversos problemas para o abastecimento público de água. Além disso, confere cor e sabor à água, provocando manchas em roupas e utensílios sanitários. Também traz o problema do desenvolvimento de depósitos em canalizações e de ferro-bactérias, provocando a contaminação biológica da água na própria rede de distribuição. Por estes motivos, o ferro constitui-se em padrão de potabilidade, tendo sido estabelecida a concentração limite de 0,3mg/L na Portaria 518 do Ministério da Saúde. Fe é também padrão para a emissão de esgotos e de classificação das águas naturais (CETESB, 2007).

O ferro apresentou concentrações variando de 145,5 a 1179µg/L no período chuvoso e de 234,5 a 434,7µg/L no período seco nas amostras do Rio Piranga (Fig. 4.27). Nos tributários estas concentrações variaram de 151,7 a 955µg/L nas chuvas e de 244,6 a 1920µg/L na seca (Fig. 4.28).

Como esperado, na maioria dos pontos do Rio Piranga e de seus tributários, a concentração de ferro aumentou no período chuvoso. Três pontos merecem destaque: Os pontos CFRP 25 e 6 no Rio Piranga, e o ponto CFRP 11 (Córrego "sem nome"), por apresentar concentrações elevadas em relação aos outros pontos de amostragem. A priori, possíveis causas seriam acelerações no intemperismo, acima citadas, mas atividades

antropogênicas também deveriam ser consideradas. Desta maneira, estudos mais detalhados são necessários para uma conclusão mais acertada.

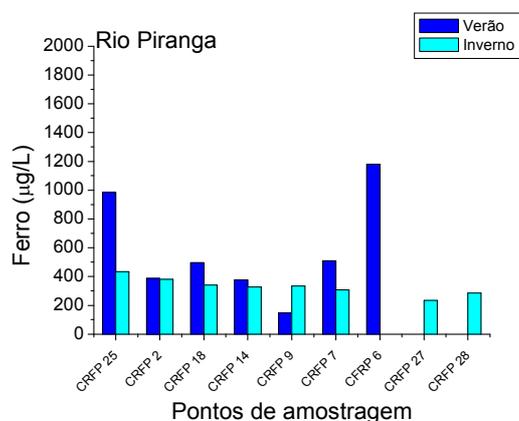


Figura 4.27 – Concentração de ferro no inverno e verão nas águas do Rio Piranga.

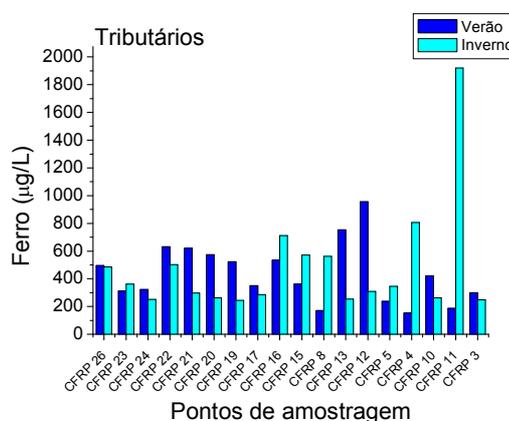


Figura 4.28 – Concentração de ferro no inverno e verão nas águas dos tributários.

#### **4.1.2.10 – Lítio**

O elemento traço Li é um constituinte que ocorre geralmente em minerais, substituindo Na ou K. Poucos são os minerais próprios de Li, como, por exemplo, os típicos constituintes de pegmatitos espodumênio ( $\text{LiAlSi}_2\text{O}_6$ ) ou lepidolita  $\text{K}(\text{Li},\text{Al})_3(\text{Si},\text{Al})_4\text{O}_{10}(\text{F},\text{OH})_2$ , por enquanto não descritos na região. O lítio está presente em águas naturais na concentração abaixo de 0,2mg/L. Águas termais podem conter níveis altos de lítio. O uso de lítio ou de seus sais em unidades desumidificadoras, águas medicinais, processos metalúrgicos, e na produção de alguns tipos de vidro e baterias contribuem para a presença deste elemento nas águas residuárias (Greenberg *et al.* 1992).

Todas as amostras apresentaram concentrações abaixo do limite de quantificação do aparelho. O limite de quantificação para o verão foi de 0,75µg/L e para o inverno 0,68µg/L.

#### **4.1.2.11 – Magnésio**

O magnésio, com 2,1% na crosta terrestre, apresentando só a metade do teor de Ca, coloca-se mesmo assim como o oitavo elemento em ordem de abundância e é um

constituente comum nas águas naturais. Mg contribui significativamente para a dureza das águas, precipitando-se em elevadas temperaturas, causando incrustações em tubulações de água quente, caldeiras e aquecedores. Concentrações maiores que 125mg/L podem ter efeitos laxativos. A concentração de magnésio pode variar de zero a alguns 100 miligramas por litro, dependendo da fonte e do tratamento da água (Greenberg *et al.* 1992).

O Rio Piranga apresentou concentrações de magnésio variando de 1,08 a 1,61µg/mL no verão e de 0,98a 1,26µg/mL no inverno (Fig. 4.29). Já os tributários apresentaram limites máximos um pouco maiores: no verão as concentrações variaram de 0,69 a 3,81µg/mL e no inverno de 0,54 a 4,37µg/mL (Fig. 4.30).

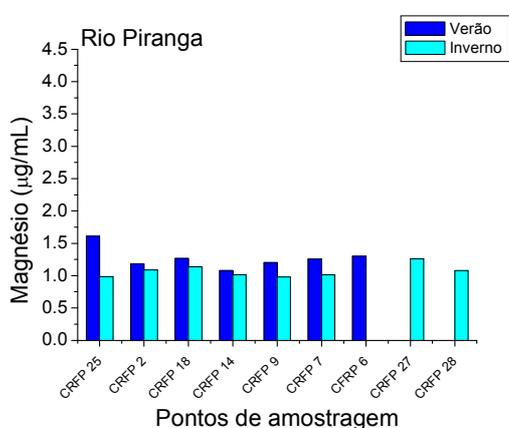


Figura 4.29 – Concentração de magnésio no inverno e verão nas águas do Rio Piranga.

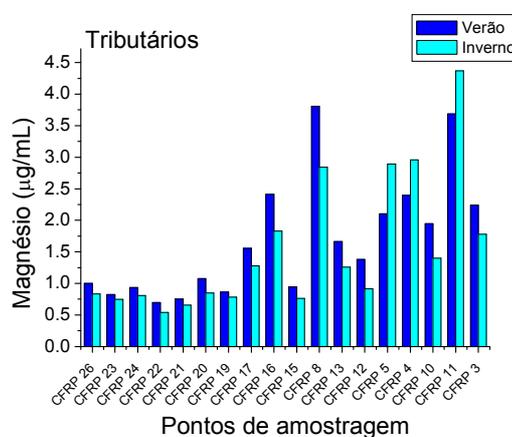


Figura 4.30 – Concentração de magnésio no inverno e verão nas águas dos tributários.

Esses valores são, sem dúvida, ligados à litologia regional, sendo Mg um elemento que ocorre nas rochas em questão principalmente na forma de piroxênios e anfibólios (Polli *et al.*, 1984).

#### 4.1.2.12 – Manganês

O comportamento do manganês nas águas é muito semelhante ao do ferro em seus aspectos os mais diversos, sendo que a sua ocorrência é mais rara. O manganês desenvolve coloração negra na água, podendo se apresentar nos estados de oxidação  $Mn^{+2}$  (forma mais solúvel) e  $Mn^{+4}$  (forma menos solúvel).

A concentração de manganês menor que 0,05mg/L geralmente é aceitável em mananciais, devido ao fato de não ocorrerem, nesta faixa de concentração, manifestações de manchas negras ou depósitos de seu óxido nos sistemas de abastecimento de água.

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, 2007).

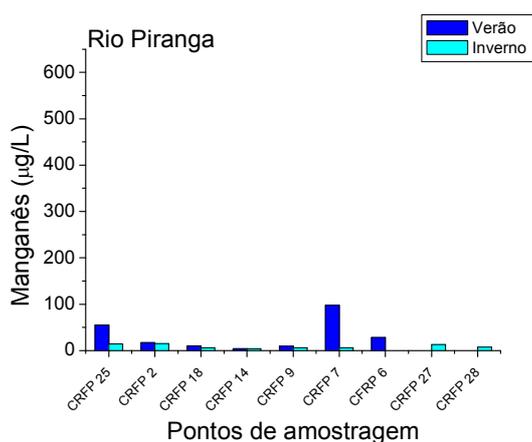


Figura 4.31 – Concentração de manganês no inverno e verão nas águas do Rio Piranga.

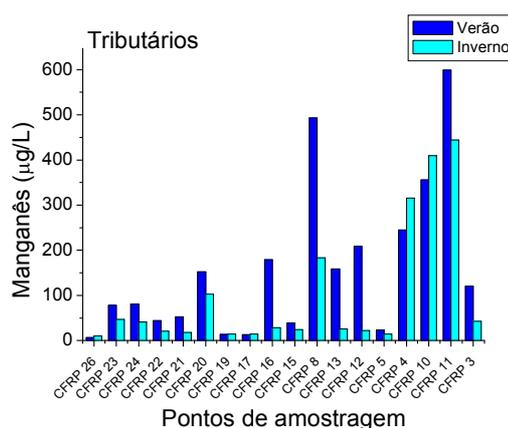


Figura 4.32 – Concentração de manganês no inverno e verão nas águas dos tributários.

As concentrações de manganês foram de 3,58 a 97,3µg/L no período chuvoso e de 3,73 a 14,72µg/L no período seco nas amostras do Rio Piranga (Fig. 4.31). Destacam-se dentre estes valores, os pontos CFRP 25 e 7, pela grande diferença existente entre os valores nas duas amostragens e por estarem muito acima da maioria das amostras. Pode ser isso um caso da contribuição das atividades antropogênicas, aspecto que merece em investigações futuras mais atenção.

As amostras dos tributários apresentaram variações maiores. Para o período chuvoso esta variação foi de 6,43 a 599µg/L e para o período seco, de 9,76 a 444,3µg/L (Fig. 4.32). Observam-se, no entanto que estas concentrações altas no verão e no inverno pertencem aos mesmos pontos de amostragem e que a maioria das amostras apresentaram concentrações abaixo de 50µg/L no período seco e abaixo de 150µg/L no período chuvoso. Os pontos CFRP 4, 10 e 11 estão em uma área próxima uma da outra, assim, possivelmente a origem é mesma para todos. Já o ponto CFRP 8 está próximo ao ponto

CFRP 7 (no Rio Piranga), e como observado este ponto apresenta também concentração mais elevada de manganês. Uma das explicações seria a contribuição na concentração de manganês do ponto CFRP 7 pelo ponto CFRP 8.

### **3.1.2.13 – Níquel**

Concentrações de níquel em águas superficiais naturais podem chegar a aproximadamente 0,1mg/L, embora concentrações de mais de 11,0mg/L possam ser encontradas, principalmente em áreas de mineração. A maior contribuição para o meio ambiente, pela atividade humana, é a queima de combustíveis fósseis. Outros contribuintes principais são os processos de mineração e fundição do metal, fusão e modelagem de ligas, indústrias de eletrodeposição e, como fontes secundárias, têm-se fabricação de alimentos, artigos de panificadoras, refrigerantes e sorvetes aromatizados (CETESB, 2007).

Todas as amostras apresentaram concentrações abaixo do limite de quantificação. LQ igual a 20µg/L no período chuvoso e LQ igual a 30,34µg/L no período seco.

Vale aqui a mesma discussão, já dada para o caso de Cr, quer dizer que os baixos valores se explicam pela dominância de rochas ácidas, na sua maioria gnaiesses na área. Mas Ni ocorre principalmente em rochas ultrabásicas – ultramáficas e mineralizações ligadas com elas.

### **4.1.2.14 – Vanádio**

Evidências laboratoriais e epidemiológicas indicam que o vanádio pode atuar em prevenção de doenças cardíacas. No estado do Novo México (EUA), que apresenta uma baixa incidência de doenças cardíacas, o vanádio pode ser encontrado em concentrações de 20 a 150µg/L. Nos estados americanos onde a incidência de doenças do coração é alta este elemento não é encontrado nas fontes de água. Contudo, o pentóxido de vanádio pode causar distúrbios respiratórios e gastrointestinais. A concentração média encontrada nas águas potáveis dos Estados Unidos é 6µg/L. Aplicações industriais do vanádio incluem atividades de cerâmica e tintas (Greenberg *et al.* 1992). Como muitos outros elementos, os minerais próprios de V são espécies muito raras. Por outro lado V é quase sempre ligado ao Fe, quer dizer está substituindo o Fe em rochas e minerais, mostrando muitas vezes uma

relação positiva com o Fe, como Parra *et al.*, (2006) a observaram em águas e sedimentos do Rio Conceição.

Todas as amostras apresentaram concentrações abaixo do limite de quantificação do aparelho, tanto no verão como no inverno. O limite de quantificação para as amostras coletadas no verão foi de 10,0µg/L e para as amostras coletadas no inverno 7,03µg/L.

#### 4.1.2.15 – Potássio

Os sais de potássio são largamente usados na indústria e em fertilizantes para agricultura e entram nas águas doces com descargas industriais e lixiviação das terras agrícolas. (CETESB, 2007).

Potássio é usualmente encontrado na forma iônica e os sais são altamente solúveis. Ele é pronto para ser incorporado em estruturas minerais, como feldspatos alcalinos e micas, e acumulado pela biota aquática, pois é um elemento nutricional essencial. Concentrações em águas naturais são usualmente menores que 10mg/L. Concentrações elevadas, da ordem de grandeza de 100 e 25000mg/L, podem indicar a ocorrência de fontes quentes e salmouras, respectivamente (CETESB, 2007).

As concentrações encontradas de potássio nos tributários foram na ordem de 0,63 a 6,74µg/mL no período chuvoso e de 0,85 e 9,01µg/mL no período seco (Fig. 4.34). No Rio Piranga as concentrações foram: 0,97 a 1,60µg/mL e de 1,04 a 1,34µg/mL no período chuvoso e seco (Fig. 4.33), respectivamente.

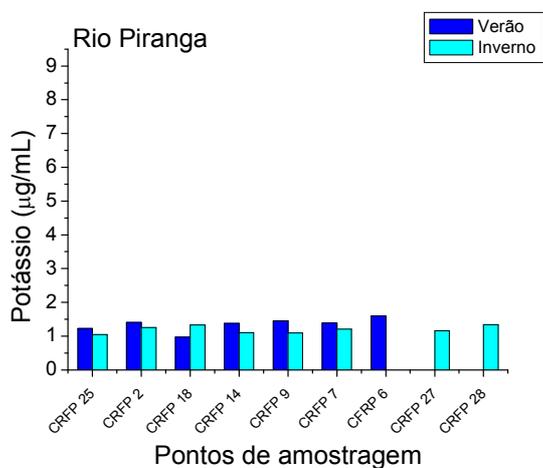


Figura 4.33 – Concentração de potássio no inverno e verão nas águas do Rio Piranga.

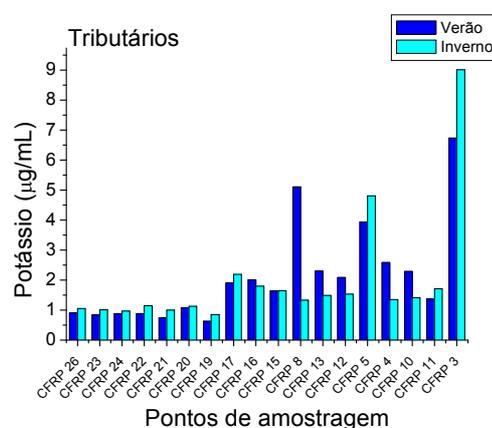


Figura 4.34 – Concentração de potássio no inverno e verão nas águas dos tributários.

Merecem destaque os pontos CFRP 3, 5 e 8 (Córrego São Tomé, Ribeirão dos Oratórios e Córrego Santa Fé), pelas elevadas concentrações de potássio em relação às outras amostras. O ponto CFRP 5 também apresenta concentração de sódio alto neste ponto, o que demonstra a correlação positiva entre esses dois elementos. Para os outros dois pontos tais concentrações possivelmente são oriundas de alguma atividade antropogênica, como a agricultura, já que a mistura NPK (Nitrogênio – Fósforo – Potássio) é uma das adubações mais utilizadas em todas as áreas de agricultura.

#### **4.1.2.16 – Sódio**

Considerado um dos elementos mais abundantes na Terra (Na = 2,8%) o sódio está presente na maioria das águas naturais. (Greenberg *et al.* 1992)

Concentrações de sódio na superfície natural das águas variam consideravelmente dependendo das condições geológicas do local, descargas de efluentes e, especialmente no hemisfério do Norte da nossa Terra, do uso sazonal de sais em rodovias. Valores podem estender-se de 1mg/L ou menos até 10mg/L ou mais em salmoura natural. O limite estabelecido pela WHO para sódio nas águas potáveis é 200mg/L (CETESB, 2007).

Muitas superfícies de água, incluindo aquelas que recebem efluentes, têm níveis bem abaixo de 50mg/L. Entretanto, as concentrações das águas subterrâneas frequentemente excedem 50mg/L (CETESB, 2007).

O sódio apresentou concentrações bastante baixas em todas as amostras. No Rio Piranga a concentração de sódio no período chuvoso foi de 2,15 a 3,53µg/mL e no período seco a concentração foi de 2,92 a 4,5µg/mL (Fig. 4.35). Nos tributários estas concentrações foram de 1,55 a 4,35µg/mL e de 1,60 a 12,13µg/mL no período chuvoso e seco (Fig. 4.36), respectivamente.

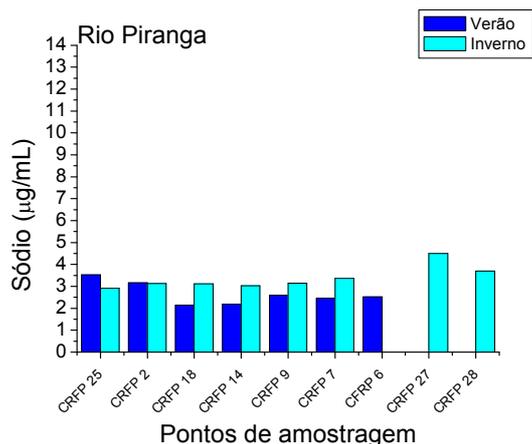


Figura 4.35 – Concentração de sódio no inverno e verão nas águas do Rio Piranga.

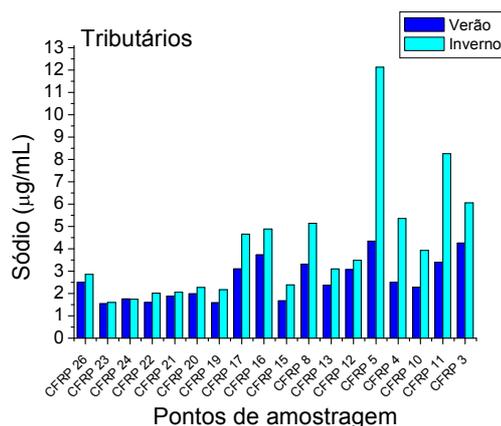


Figura 4.36 – Concentração de sódio no inverno e verão nas águas dos tributários.

Observa-se o aumento significativo da concentração de sódio nos pontos CFRP 27 e 28, trata-se dos pontos após o encontro do Rio Piranga do Rio do Carmo. Possivelmente este aumento é devido à contribuição do Rio do Carmo. Dois pontos nos tributários também chamam atenção, o ponto CFRP 5 e 11. O ponto CFRP 5 também apresentou teores de potássio alto, mostrando a correlação positiva entre estes dois elementos e assim a mesma fonte litológica. Já o ponto CFRP 11 não apresentou o mesmo comportamento, assim possivelmente a concentração é resultante de alguma atividade antropogênica.

#### **4.1.2.17 – Zinco**

O zinco é considerado um elemento traço, isto é, um elemento que ocorre na crosta terrestre em concentrações abaixo de 0,1 % (Zn = 75 ppm). A sua ocorrência natural é ligada geralmente com mineralizações de sulfetos, destacando-se a blenda (ZnS) como mineral principal do Zn. O zinco é também bastante utilizado em galvanoplastias na forma metálica e de sais tais como cloreto, sulfato, cianeto, etc. A presença de zinco é comum nas águas naturais, excedendo em um levantamento efetuado nos EUA a 20mg/L em 95 dos 135 mananciais pesquisados.

O zinco é um elemento essencial para a vida, especialmente para o crescimento podendo causar a sua carência acrodermatite, diarreia, infecções secundárias, nanismo, e, imaturidade sexual. Porém, em concentrações acima de 5,0mg/L, confere sabor à água e

uma certa opalescência a águas alcalinas, e, em doses de excesso o Zn cria problemas no crescimento e inanição.

Os padrões para águas reservadas ao abastecimento público indicam 5,0mg/L como o valor máximo permissível (CETESB, 2007).

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, 2007).

Muitas amostras apresentaram concentrações abaixo do limite de quantificação. No verão o limite de quantificação foi de 5,0µg/L, o Rio Piranga apresentou a concentração de 44,56µg/L como máxima, e os seus tributários apresentou 119µg/L como o valor máximo apresentado. No inverno o limite de quantificação foi de 5,27µg/L, o Rio Piranga apresentou concentrações de até 10,92µg/L e os tributários apresentaram concentrações de até 5,59µg/L (Fig. 4.37 e 4.38).

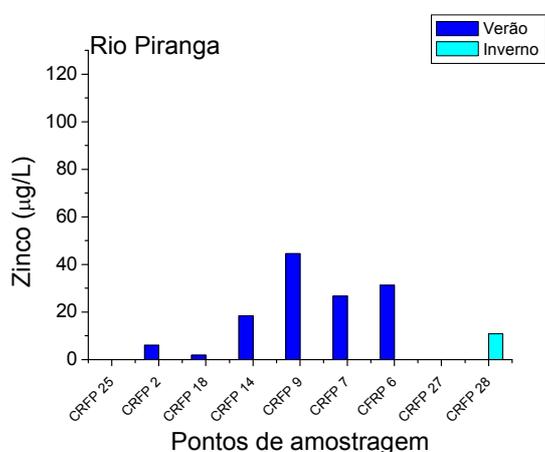


Figura 4.37 – Concentração de zinco no inverno e verão nas águas do Rio Piranga.

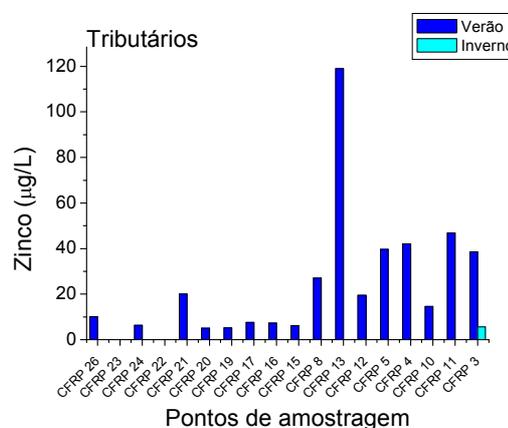


Figura 4.38 – Concentração de zinco no inverno e verão nas águas dos tributários.

Destacam-se neste caso, dois pontos: CFRP 9 e 13. Trata-se de duas amostras que apresentaram teores de zinco muito diferentes das outras, como não é notado esse comportamento para outros elementos calcófilos (Cu, As, Cd), quer dizer elementos que correlacionariam - se positivamente com zinco. Talvez essas concentrações possuem origem antropogênica.

## 4.2 – A CLASSIFICAÇÃO DAS ÁGUAS DO RIO PIRANGA SEGUNDO A RESOLUÇÃO CONAMA 357/05

Trata-se aqui de um estudo feito com base nos resultados obtidos nas análises dos parâmetros de qualidade de água. Os resultados foram comparados com os limites permissíveis para as Classes 1, 2 e 3 da Resolução CONAMA 357/05 (Tab. 4.1).

Tabela 4.1 – Comparativo entre resultados obtidos dos parâmetros de qualidade de água com a Resolução CONAMA 357/05.

Parâmetro	Unid.	Classe			Verão		Inverno	
		1	2	3	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
pH		6 a 9	6 a 9	6 a 9	6,11	8,14	6.44	7.45
Turbidez	FTU	40	100	100	4,3	70,75	3.5	6.6
Cloreto	mg/L	250	250	250	1,95	4,4	0.49	32.52
Sulfato	mg/L	250	250	250	1,17	5,68	2.29	2.86
Alumínio	µg/L	100	100	200	7,5 (<LQ)	197,3	13.77 (<LQ)	24.08
Arsênio	µg/L	10	10	33	85 (<LQ)	85 (<LQ)	215.97 (<LQ)	215.97 (<LQ)
Bário	µg/L	700	700	1000	16,52	24,68	14.15	17.94
Cádmio	µg/L	1	1	10	8 (<LQ)	8 (<LQ)	4.91 (<LQ)	4.91 (<LQ)
Cobalto	µg/L	50	50	200	15 (<LQ)	92,7	10.84(<LQ)	71
Cobre	µg/L	9	9	13	5,74	10,05	3.32 (<LQ)	3.32 (<LQ)
Cromo	µg/L	50	50	50	10 (<LQ)	10 (<LQ)	7.39 (<LQ)	7.39 (<LQ)
Ferro	µg/L	300	300	5000	145,5	1179	234.5	434.7
Lítio	µg/L	2500	2500	2500	0,75 (<LQ)	0,75 (<LQ)	0.68 (<LQ)	0.68 (<LQ)
Manganês	µg/L	100	100	500	3,585	97,3	3.727	14.72
Níquel	µg/L	25	25	25	20 (<LQ)	20 (<LQ)	30.34 (<LQ)	30.34 (<LQ)
Vanádio	µg/L	100	100	100	10 (<LQ)	10 (<LQ)	7.03 (<LQ)	7.03 (<LQ)
Zinco	µg/L	180	180	5000	5 (<LQ)	44,56	5.27 (<LQ)	10.92

<LQ: Menor que o limite de quantificação.

Assim, de acordo com a Tabela 3.1, os teores de cloretos, sulfatos e pH apresenta valores permissíveis para as 3 classes, a turbidez apresenta resultados que enquadraria o Rio Piranga na Classe 2.. Os teores de arsênio, cádmio, cromo, lítio, níquel e vanádio apresentaram valores abaixo do limite de quantificação, não sendo possível utilizar os valores obtidos da análise destes elementos para esta comparação. Com base nos teores de bário, manganês e zinco o Rio Piranga seria enquadrado nas Classes 1 e 2, e os teores de alumínio, cobalto, cobre e ferro enquadraria o Rio Piranga como sendo de Classe 3. Frisase que para o enquadramento de um corpo d'água muitos outros parâmetros devem ser analisados. O enquadramento de um curso d'água leva principalmente em consideração a classe do seu uso.

O Rio Piranga, como se pode observar, ao longo do trajeto e das cidades por onde passa, está sendo utilizado como sendo de Classe 2 (destinada ao abastecimento humano, proteção das comunidades aquáticas, recreação de contato primário, irrigação de culturas que tenha contato primário e aquicultura e pesca). Assim, ações para que se enquadre o rio como sendo de Classe 2 são necessárias.

#### 4.2.1 – Lançamento de efluentes

Durante a coleta de uma das amostras em um ponto (Ponto CFRP 7) do Rio Piranga nas proximidades da cidade de Ponte Nova na segunda campanha, foi observado o despejo de efluentes em uma das margens do Rio Piranga. Tratava-se de uma substância de coloração amarelo-leitosa, cujas características encontravam-se diferentes do ponto CFRP 7, como é observado nas seguintes tabelas:

Tabela 4.2 – Comparativo dos parâmetros entre o ponto de descarga e o ponto CFRP 7.

Parâmetros	Ponto de descarga	CFRP 7
Alcalinidade (mg/L)	86,30	21,08
Cloreto (mg/L)	53,21	1,48
Sulfato(mg/L)	2,72	2,66
pH	6,97	6,89
Temperatura (°C)	23,10	22,30
Condutividade	310,00	36,87
TDS (ppm)	209,90	24,08
Turbidez (FTU)	80,00	4,95

A Resolução CONAMA 357/05 e a Deliberação Normativa DN COPAM/CERH 01/08 determinam os parâmetros de lançamento de efluentes. A temperatura do efluente deve ser inferior a 40°C, sendo que a variação de temperatura do corpo receptor não deva exceder a 3°C na zona de mistura e o pH deverá estar na faixa de 5 a 9. Para os outros parâmetros, não há limites de lançamento.

Alguns parâmetros inorgânicos também são contemplados na determinação da Resolução CONAMA 357/05, como observado na tabela seguinte:

Tabela 4.3 – Comparativo entre concentrações de elementos entre os pontos de descarga, o ponto CFRP 7 e a Resolução CONAMA 357/05.

Parâmetros	Unidade	Ponto de descarga	CFRP 7	L.Q.	Resolução CONAMA 357 (2005)
Al (396)	µg/L	16.83	15.85	13.7669	-
As (193)	µg/L	<L.Q.	<L.Q.	215.968	0,5 mg/L As total
Ba	µg/L	13.91	15.13	0.41277	5,0 mg/L Ba total
Ca	µg/mL	8.24	2.319	0.01392	-
Cd	µg/L	<L.Q.	<L.Q.	4.91373	0,2 mg/L Cd total
Co	µg/L	51.3	<L.Q.	10.8386	-
Cr	µg/L	<L.Q.	<L.Q.	7.39219	0,5 mg/L Cr total
Cu	µg/L	<L.Q.	<L.Q.	3.31721	1,0 mg/L Cu dissolvido
Fe	µg/L	55.8	307.1	6.7394	15 mg/L Fe dissolvido
K	µg/mL	20.33	1.207	0.07807	-
Li	µg/L	<L.Q.	<L.Q.	0.67821	-
Mg	µg/mL	1.424	1.012	0.0019	-
Mn	µg/L	14.11	6.01	2.33344	1,0 mg/L Mn dissolvido
Na	µg/mL	43.28	3.367	0.01713	-
Ni	µg/L	<L.Q.	<L.Q.	30.3369	2,0 mg/L Ni total
V	µg/L	<L.Q.	<L.Q.	7.02577	-
Zn	µg/L	7.66	<L.Q.	5.27131	5,0 mg/L Zn total

Poluentes orgânicos também podem ser a causa da cor neste efluente, mas como estes parâmetros não foram analisados, não é possível indicar a fonte desta coloração. Assim seria necessário o estudo mais aprofundado.

Embora todos os parâmetros analisados estejam de acordo com a Resolução, vale ressaltar a possível presença de outros pontos como este, que muitas vezes poderão não estar em conformidade com os padrões de lançamento tanto da Resolução CONAMA como da DN COPAM/CERH 01/08. Acrescentando a isso, deve-se frisar também que estes pontos de lançamento de efluentes em corpos d'água, antes de tudo, devem ser submetidos ao estudo mais detalhado e minucioso para a posterior autorização do lançamento. Assim, fica a dúvida sobre a real contribuição deste ponto para a poluição do Rio Piranga.

### 4.3 – 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 completa. Fala-se neste caso de isomorfismo, exemplo: olivina com seus membros extremos Fayalita ( $\text{Fe}_2\text{SiO}_4$ ) e Forsterita ( $\text{Mg}_2\text{SiO}_4$ ). 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 em seus tributários.

#### **4.3.1 – Cálcio e magnésio**

Como mostra as Figuras 4.39 a 4.42, o cálcio e o magnésio apresentam correlações positiva, ou seja, distribuições bastante semelhantes tanto no Rio Piranga, como nos seus tributários.

O cálcio (Ca) e o magnésio (Mg) são dois elementos tipicamente litófilos no sentido da classificação de Goldschmidt (1923 e 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 =  $\text{CaCO}_3$ , magnesita =  $\text{MgCO}_3$  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  $\text{X}^{2+}$ ), como olivina

(Fe, Mg (SiO<sub>4</sub>) e, além disso, inossilatos como piroxênios (X<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>6</sub>) e anfibólios ((X<sup>2+</sup>)<sub>7</sub>[(OH)<sub>2</sub>Si<sub>8</sub>O<sub>22</sub>]) incorporando esses elementos também nas posições de X<sup>2+</sup>.

Assim não surpreende a correlação positiva destes dois elementos na região em estudo. Isso reflete, com certeza, uma ocorrência litológica em comum, já muito dos minerais mencionados ocorrem em rochas do Grupo Dom Silvério (Evangelista & 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.

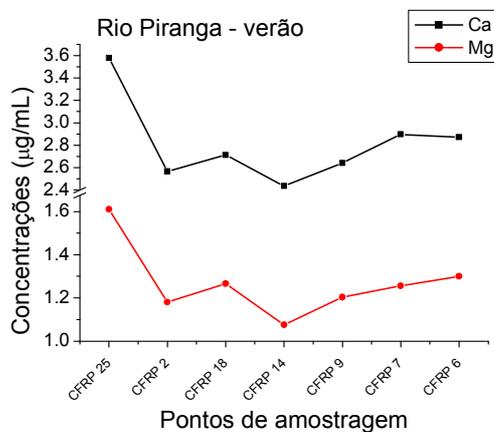


Figura 4.39 – Variação da concentração de Ca e Mg no verão nas águas do Rio Piranga.

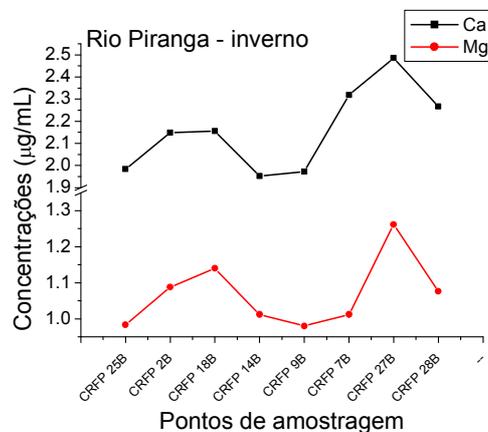


Figura 4.40 – Variação da concentração de Ca e Mg no inverno nas águas do Rio Piranga.

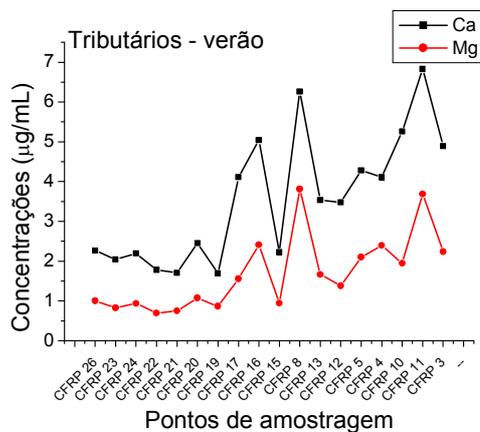


Figura 4.41 – Variação da concentração de Ca e Mg no verão nas águas dos tributários.

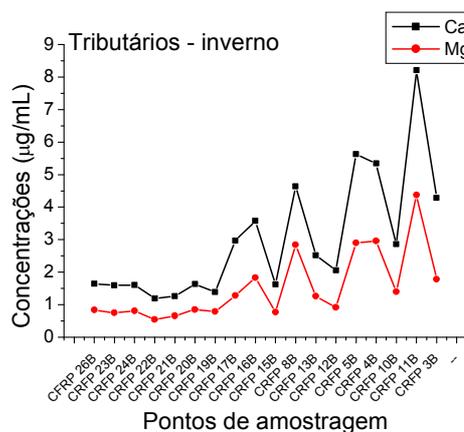


Figura 4.42 – Variação da concentração de Ca e Mg no inverno nas águas dos tributários.

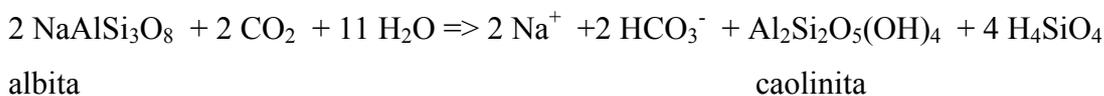
### 4.3.2 – Potássio e sódio

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. Como mostra o mapa geológico da região (Fig. 3.1), as rochas predominantes na região são as do Complexo Mantiqueira, composto principalmente de rochas feldspáticas.

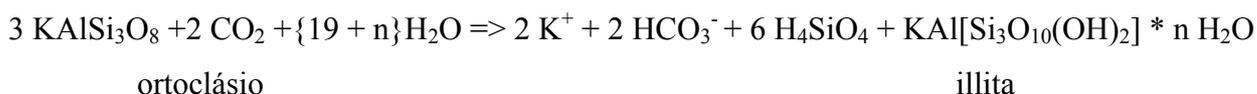
O sódio forma juntamente com cálcio a solução sólida dos plagioclásios, encontra-se na composição de albita ( $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ ). O potássio ocorre na forma de um feldspato alcalino (ortoclásio  $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$ ).

Os feldspatos fazem parte dos 6 (seis) 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 comum na área em estudo, estes feldspatos se desintegram sob a influência dos componentes do intemperismo, basicamente  $\text{H}_2\text{O}$  e  $\text{CO}_2$ , conforme as Equações (1) a (3):

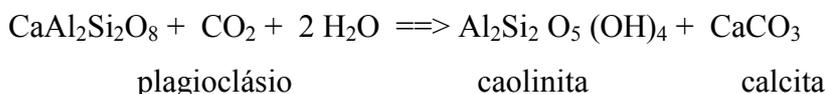
Equação (1):



Equação (2):



Equação (3):



É interessante mencionar neste sentido que o intemperismo de 280 g de ortoclásio gasta 88 g de  $\text{CO}_2$ . Muito comuns também são os simples processos de hidrólise que atuam sem participação de  $\text{CO}_2$ , como mostra a Equação (4):



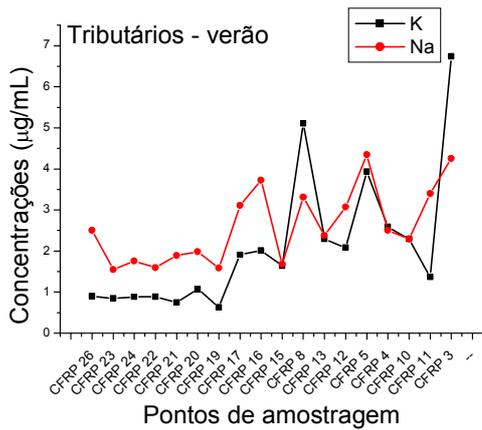


Figura 4.45 – Variação da concentração de K e Na no verão nas águas dos tributários.

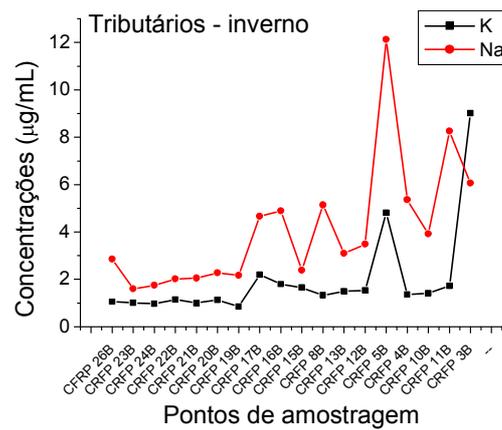


Figura 4.46 – Variação da concentração de K e Na no inverno nas águas dos tributários.

### 4.3.3 – Zinco e cobre

O zinco, como elemento calcófilo, ocorre geralmente em conjunto com outros elementos deste tipo, como, por exemplo, Pb, Cu, As, Cd. Mas nenhuma correlação positiva foi observada para estes pares de elementos. Especialmente o cobre mostra-se indiferente, não apresentando ligações com zinco.

Os gráficos das Figuras 4.47 e 4.48 evidenciam um aumento no teor de zinco nos pontos CFRP 9 (Rio Piranga) e CFRP 13 (tributário). Uma vez que estes pontos estão localizados próximos uns aos outros, pode-se concluir que o zinco nestas amostras de água é possivelmente oriundo de alguma fonte não natural em comum.

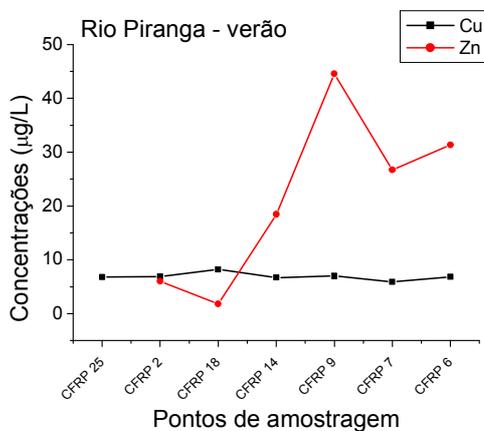


Figura 4.47 – Variação da concentração de Cu e Zn no verão nas águas do Rio Piranga.

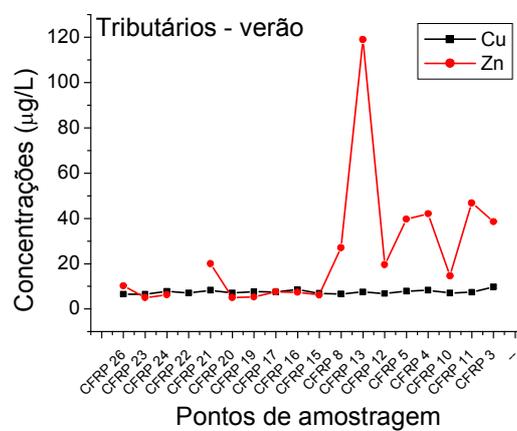


Figura 4.48 – Variação da concentração de Cu e Zn no verão nas águas dos tributários.

É interessante ressaltar 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 tem-se aqui uma fonte de poluição antropogênica.

### 4.3.4 – Ferro e manganês

Por outro lado, alguns elementos não apresentam nenhuma correlação, como o caso do ferro e manganês, isso é observado nos gráficos das Figuras 4.49 a 4.52:

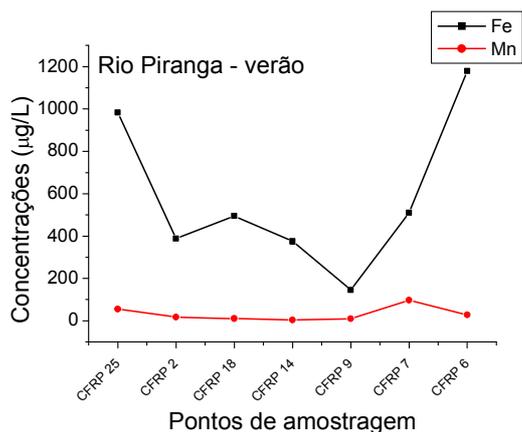


Figura 4.49 – Variação da concentração de Fé e Mn no verão nas águas do Rio Piranga.

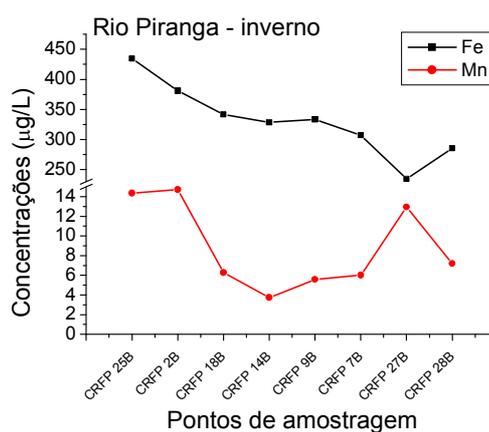


Figura 4.50 – Variação da concentração de Fé e Mn no inverno nas águas do Rio Piranga.

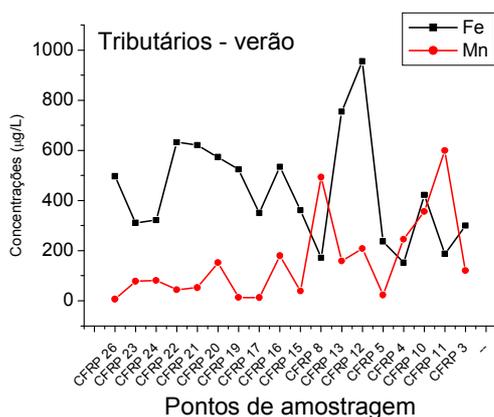


Figura 4.51 – Variação da concentração de Fé e Mn no verão nas águas dos tributários.

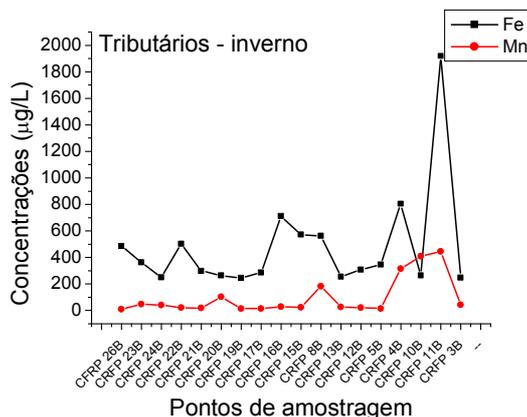


Figura 4.52 – Variação da concentração de Fé e Mn no inverno nas águas dos tributários.

Geralmente o Fe ocorre junto com Mn, mas aqui não parece o caso. Pode ser que o comportamento diferente durante os processos de intemperismo causou esta “não correlação”, já que o Fe é um elemento influenciado principalmente pelos processos de

oxidação (oxigênio), enquanto no caso de manganês o CO<sub>2</sub> poder interferir. Isso seria um ponto para estudos mais aprofundados.

## **4.4 – CARACTERIZAÇÃO GEOQUÍMICA DOS SEDIMENTOS**

Os sedimentos constituem um fator muito importante do sistema aquático, por sua participação no equilíbrio dos poluentes solúveis/ insolúveis e por sua maior permanência no corpo de água, sendo, em geral, integradores das cargas poluentes recebidas pelas águas (Agudo, 1987).

Os sedimentos podem ser considerados como resultado da interação de todos os processos que ocorrem em um sistema aquático. No sedimento resultante da erosão pela água, o material erodido foi rapidamente depositado no canal do rio e somente uma pequena porcentagem vai fazer parte da composição da água. Desta forma a quantidade de metais pesados e outros poluentes é mais significativa nos sedimentos que na água dos rios e riachos (Oliveira, 1999).

Assim, análise química dos sedimentos torna-se uma importante ferramenta para o estudo da qualidade das águas e também da poluição ambiental.

### **4.4.1 – Elementos maiores**

#### **4.4.1.1 – Cálcio**

Minerais de cálcio ocorrem predominantemente como carbonatos, sulfatos, silicatos, fosfatos, e boratos. O cálcio está presente nos carbonatos, mais comumente na calcita (CaCO<sub>3</sub>) e na dolomita (CaMg[CO<sub>3</sub>]<sub>2</sub>), representa com a gipsita (CaSO<sub>4</sub> \* 2 H<sub>2</sub>O), e anidrita (CaSO<sub>4</sub>) dois dos sulfatos mais importantes da hidrosfera e forma com os plagioclásios (NaAlSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub> – Ca Al<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>8</sub>) um dos grupos mais importantes dos minerais nas rochas crustais. Além disso, participa na formação dos piroxênios (X<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>6</sub> com Ca na posição do X), e, como minerais acessórios importantes, devem ser mencionados a apatita Ca<sub>5</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>(OH,F,Cl) e a fluorita (CaF<sub>2</sub>) (Wedepohl, 1978).

O cálcio apresentou concentrações variando. de 2240 a 8181mg/kg no verão e de 1762 a 7468mg/kg no inverno nas amostras do Rio Piranga (Fig. 4.53).

Os tributários apresentaram valores em torno de 1940 a 18527mg/kg no verão, e 430,8 a 18702mg/kg inverno (Fig. 4.54).

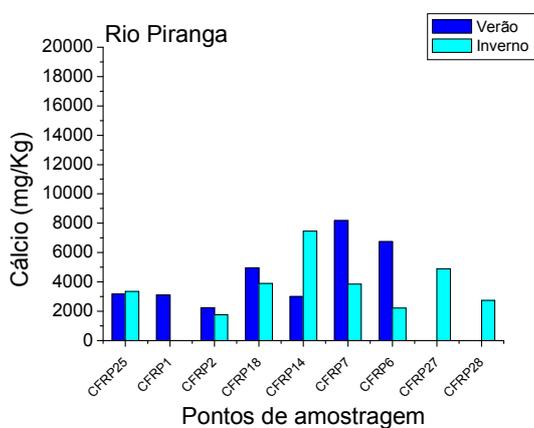


Figura 4.53 – Concentração de cálcio no inverno e verão nos sedimentos do Rio Piranga.

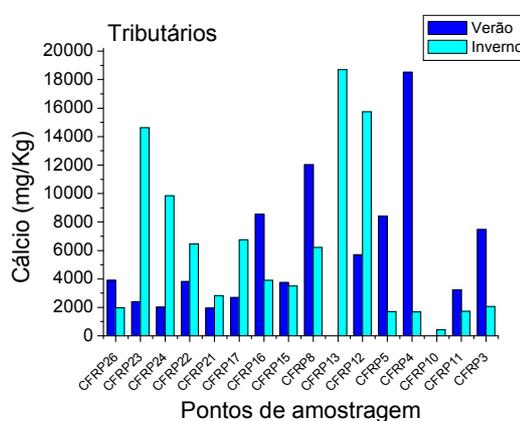


Figura 4.54 – Concentração de cálcio no inverno e verão nos sedimentos dos tributários.

#### 4.4.1.2 – Potássio

O potássio é o sexto colocado na escala de abundância dos metais na crosta terrestre. Ocorre principalmente nos feldspatos potássio, em especial no ortoclásio ( $KAlSi_3O_8$ ), micas e leucita ( $KAlSi_2O_6$ ), em rochas ígneas e metamórficas, além dos sais, como silvita (KCl). Altas concentrações de potássio podem ser encontradas em outros minerais evaporíticos como carnalita ( $KMgCl_3 \cdot 6(H_2O)$ ) (Santos, 1997).

As concentrações de potássio nas amostras de sedimentos do Rio Piranga apresentaram valores variando de 5770 a 9346mg/kg no verão e de 6384 a 12576mg/kg no inverno. (Fig. 4.57).

Os tributários apresentaram valores em torno de 3651 a 12885mg/kg no verão, e 3808 a 13373mg/kg no inverno (Fig. 4.58).

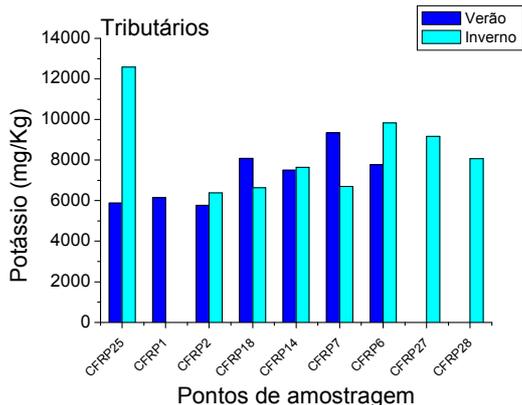


Figura 4.57 – Concentração de potássio no inverno e verão nos sedimentos do Rio Piranga.

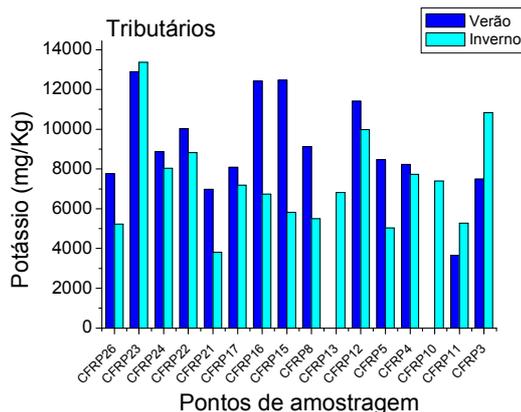


Figura 4.58 – Concentração de potássio no inverno e verão nos sedimentos dos tributários.

### 4.4.1.3 – Sódio

Ocorre principalmente sob forma de cloretos (NaCl) nas águas subterrâneas e seus minerais fontes em rochas ígneas são essencialmente os feldspatos, isso é: plagioclásios ( $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8 - \text{Ca Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ ), feldspatóides como nefelina ( $(\text{Na,K})\text{AlSiO}_4$ ) e sodalita ( $\text{Na}_8\text{Al}_6\text{Si}_6\text{O}_{24}\text{Cl}_{12}$ ), anfibólios e piroxênio (Santos, 1997).

A variação das concentrações de sódio no verão e no inverno foi: 1635 a 3852mg/kg e 862 a 3263mg/kg (Fig. 4.59). Para os tributários essas concentrações foram: 774 a 10627mg/kg e 1039 a 9391mg/kg (Fig. 4.60).

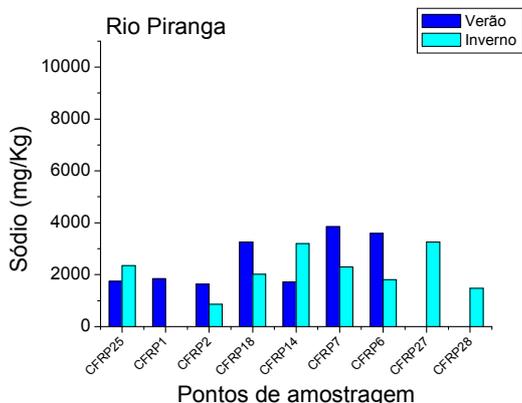


Figura 4.59 – Concentração de sódio no inverno e verão nos sedimentos do Rio Piranga.

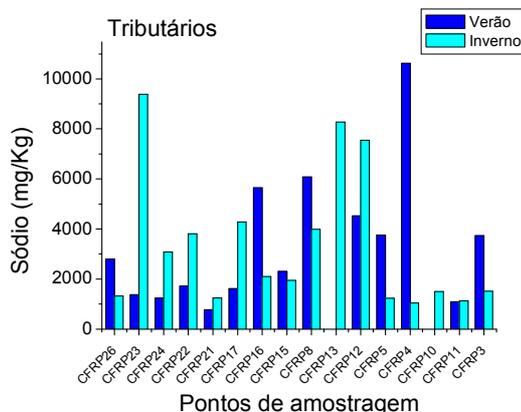


Figura 4.60 – Concentração de sódio no inverno e verão nos sedimentos dos tributários.

## 4.4.2 – Metais pesados e traço

### 4.4.2.1 – Cobre

O cobre ocorre sob várias formas de minerais. Os mais comuns são os sulfetos covellita (CuS) e calcopirita (CuFeS<sub>2</sub>), o óxido cuprita (Cu<sub>2</sub>O), e os hidróxi - carbonatos malaquita (Cu<sub>2</sub>[(OH)<sub>2</sub>/CO<sub>3</sub>]) e azurita Cu<sub>3</sub>[(OH)<sub>2</sub>/CO<sub>3</sub>]<sub>2</sub>. Sendo os últimos dois, geralmente, produtos intempéricos da desagregação de sulfetos em ocorrências de Cu. Cu apresenta teores maiores em rochas básicas. Caracteriza-se como um elemento calcófilo. Divide-se em dois grandes grupos de minerais de cobre, os sulfetos (primários) e os óxidos-hidróxidos (secundários). Além das espécies mencionadas acima, o cobre forma ainda os importantes minerais minérios: calcocita (Cu<sub>2</sub>S) e bornita (Cu<sub>5</sub>FeS<sub>4</sub>) (Wedepohl, 1978).

As concentrações de cobre no sedimento do Rio Piranga variaram de 38,09 a 258,5mg/kg no verão e de 40,84 a 451,6mg/kg no inverno (Fig. 4.75).

Os tributários apresentaram valores em torno de 39,95 a 301,4mg/kg no verão, e 44,38 a 556mg/kg inverno (Fig. 4.76).

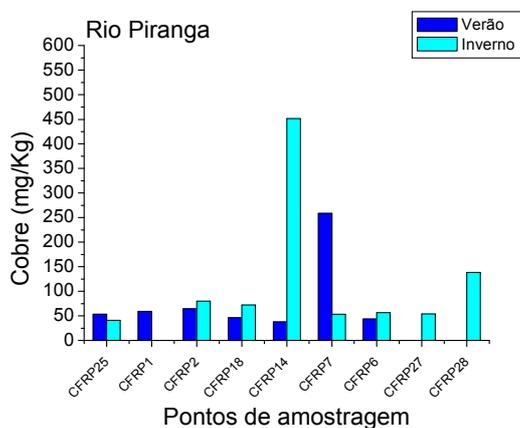


Figura 4.75 – Concentração de cobre no inverno e verão nos sedimentos do Rio Piranga.

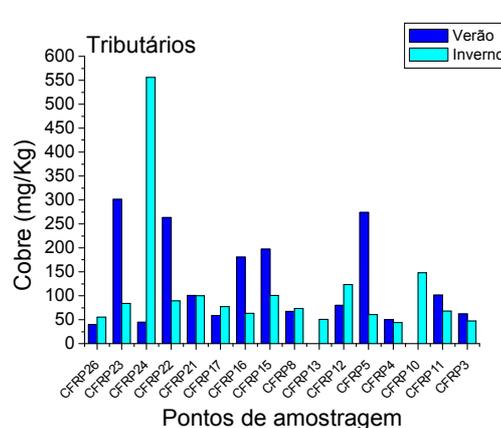


Figura 4.76 – Concentração de cobre no inverno e verão nos sedimentos dos tributários.

### 4.4.2.1 – Cromo

Encontrado principalmente em rochas máficas e ultramáficas. Na natureza encontra-se no estado de oxidação +3 e +6, sendo o primeiro mais estável e o segundo mais tóxico

para a flora e fauna. Ocorre como substituto de outros elementos, como o alumínio e  $Fe^{3+}$ , em muitos minerais. Uma espécie própria, que desempenha certo papel na economia mineral e a cromita ( $Fe^{++}Cr_2O_4$ ), um mineral magmático (Wedepohl, 1978).

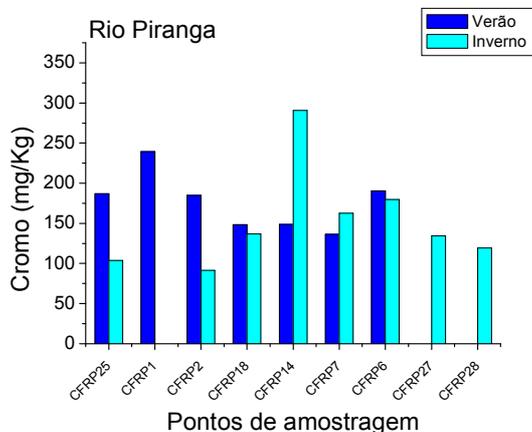


Figura 4.77 – Concentração de cromo no inverno e verão nos sedimentos do Rio Piranga.

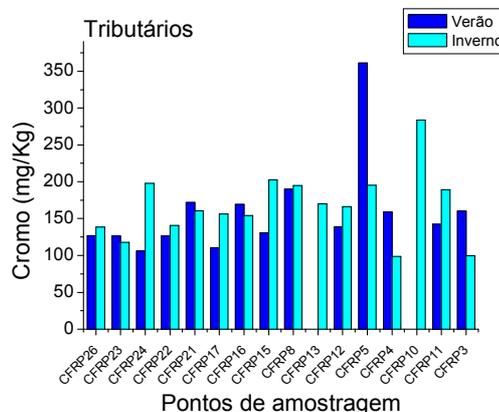


Figura 4.78 – Concentração de cromo no inverno e verão nos sedimentos dos tributários.

O cromo apresentou concentrações variando de 136,3 a 239,3mg/kg no verão e de 91,5 a 290,7mg/kg no inverno nas amostras do Rio Piranga (Fig. 4.77).

Os tributários apresentaram valores em torno de 106,3 a 361,1mg/kg no verão, e 98,8 a 283,7mg/kg inverno (Fig. 4.78).

#### **4.4.2.3 – Níquel**

Trata-se de um elemento siderófilo, apresentando-se nos estados de oxidação +2, +3 e +4. Ocorre em altas concentrações em minerais ferro-magnesianos, e assim em rochas máficas, e ultrabásicas/ultramáficas. Nessas rochas o Ni apresenta forte correlação com o Cr, e com Mg devido aos raios iônicos e características geoquímicas semelhantes. O mais importante mineral minério de Ni, um sulfeto é a pentlandita  $(Fe,Ni)_9S_8$  Wedepohl (1978).

As amostras do Rio Piranga apresentaram concentrações de níquel variando de 71,6 a 114,9mg/kg no verão e de 32,85 a 94,4mg/kg no inverno (Fig. 4.79).

Os tributários apresentaram valores em torno de 38,23 a 116,3mg/kg no verão, e 30,07 a 168,7mg/kg inverno (Fig. 4.80).

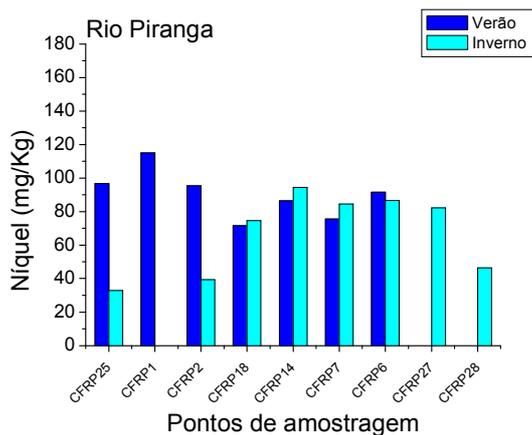


Figura 4.79 – Concentração de níquel no inverno e verão nos sedimentos do Rio Piranga.

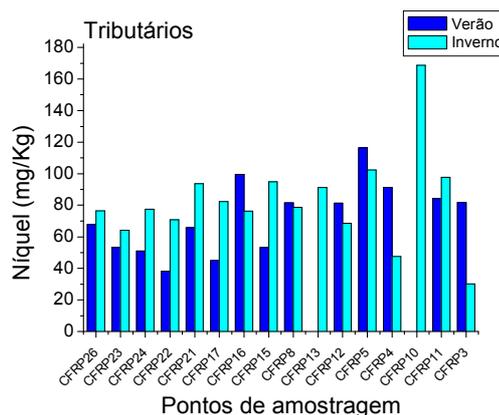


Figura 4.80 – Concentração de níquel no inverno e verão nos sedimentos dos tributários.

#### 4.4.2.4 – Zinco

Este metal é comumente encontrado na natureza no estado de oxidação +2, ocorrendo em muitos minerais, freqüentemente na forma de sulfetos. Em muitos outros casos ocorre como elemento substitutivo em compostos junto com outros elementos calcófilos (Cu, Pb, Cd), embora seu principal mineral seja a esfarelita (ZnS) (Cruz, 2002).

No verão as concentrações de zinco no Rio Piranga variaram de 99 a 263,4mg/kg e no inverno essa variação foi de 117,7 a 355,4mg/kg (Fig. 4.81). Para os tributários essas concentrações foram: 100,4 a 284,3mg/kg e 120,2 a 3487mg/kg (Fig. 4.82).

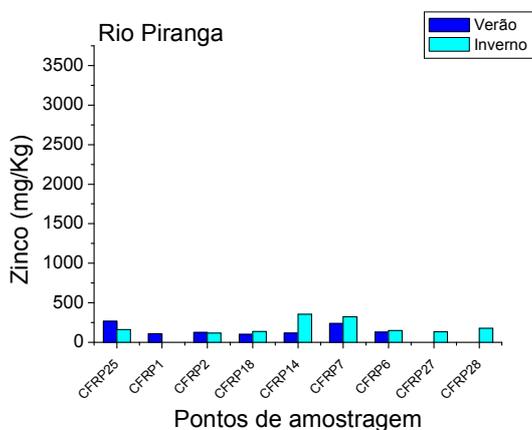


Figura 4.81 – Concentração de zinco no inverno e verão nos sedimentos do Rio Piranga.

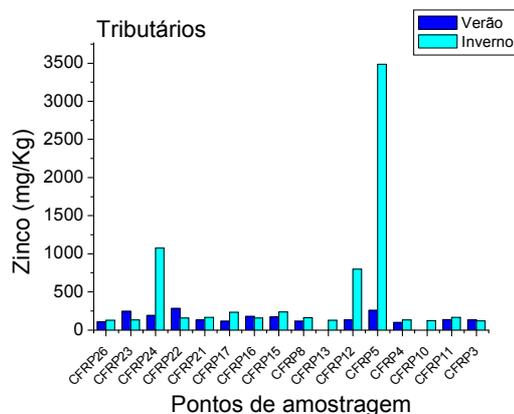


Figura 4.82 – Concentração de zinco no inverno e verão nos sedimentos dos tributários.

## 4.5 - CORRELAÇÕES

### 4.5.1 – Sódio, cálcio e potássio

A distribuição de cálcio, sódio e potássio está relacionada à litologia local. Estes elementos fazem parte dos dez elementos mais abundantes na crosta terrestre. Eles são fixados principalmente nos feldspatos. As rochas predominantes na região são as do Complexo Mantiqueira, composto principalmente de rochas feldspáticas.

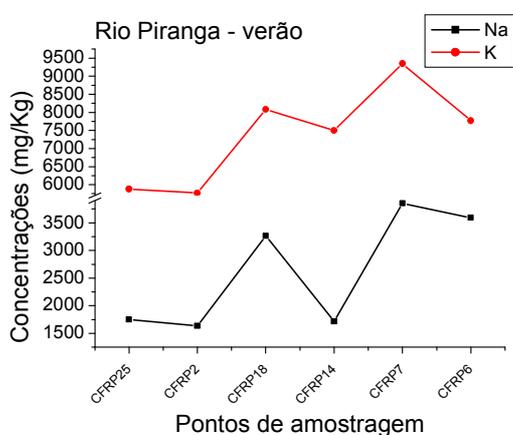


Figura 4.83 – Variação da concentração de Na e K no verão nas águas do Rio Piranga.

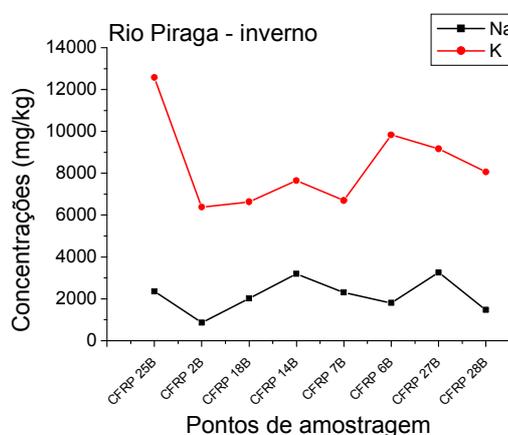


Figura 4.84 – Variação da concentração de Na e K no inverno nas águas do Rio Piranga.

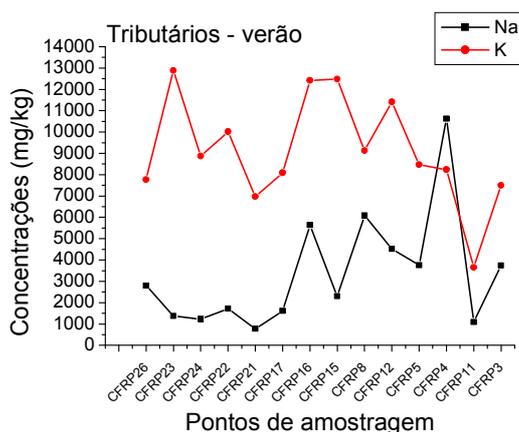


Figura 4.85 – Variação da concentração de Na e K no verão nas águas dos tributários.

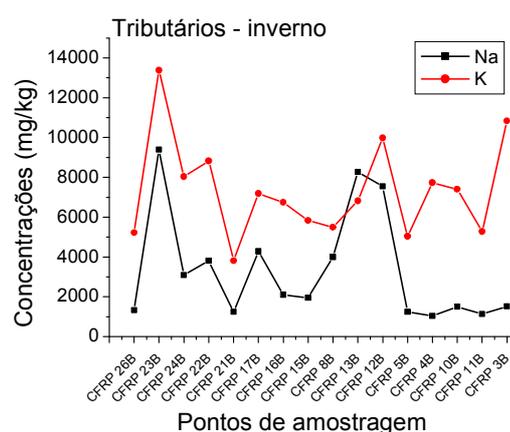


Figura 4.86 – Variação da concentração de Na e K no inverno nas águas dos tributários.

Da mesma forma que ocorre nas amostras de água, os pares sódio e potássio e cálcio e sódio (Fig. 4.83 a 4.90) apresentam correlações positiva, ou seja, distribuições bastante semelhantes tanto no Rio Piranga, como nos seus tributários.

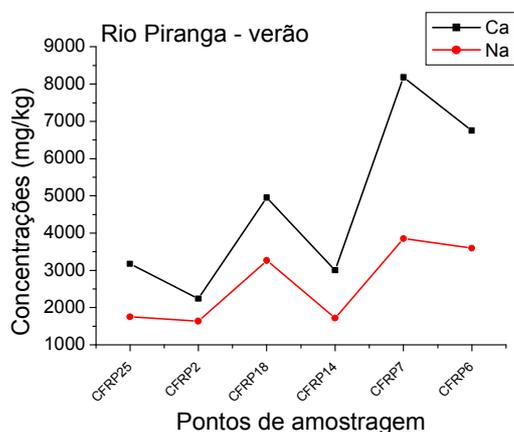


Figura 4.87 – Variação da concentração de Ca e Na no verão nas águas do Rio Piranga.

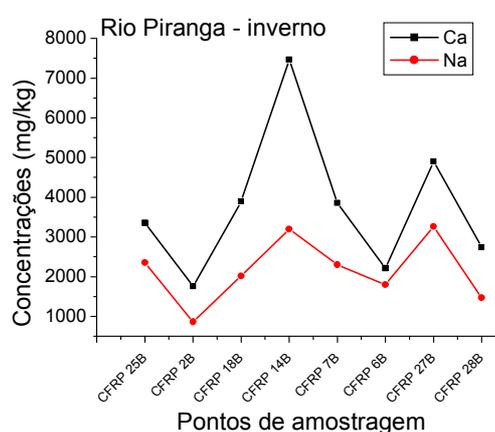


Figura 4.88 – Variação da concentração de Ca e Na no inverno nas águas do Rio Piranga.

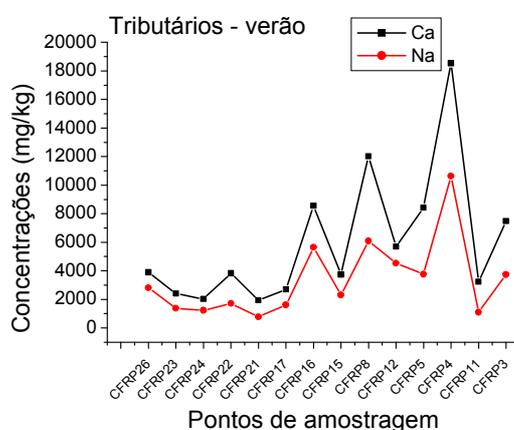


Figura 4.89 – Variação da concentração de Ca e Na no verão nas águas do Rio Piranga.

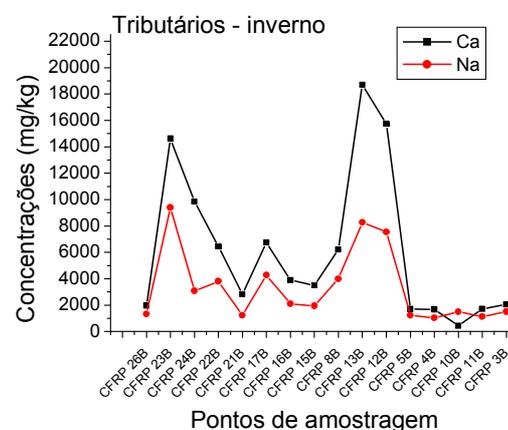


Figura 4.90 – Variação da concentração de Ca e Na no inverno nas águas do Rio Piranga.

Dentre os metais pesados, especialmente o Cu, Zn, Ni e Cr, permitem muito bem definir a origem nos sedimentos pesquisados.

### 4.5.2 – Cobre e zinco

Ao contrário do que foi evidenciado nas amostras de água, nas amostras de sedimento o cobre e o zinco apresentam correlações bastante positivas.

São elementos tipicamente calcófilos, são derivados da mesma fonte, como mostram as correlações positivas entre eles (Fig. 4.91 a 4.94). 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.*, 2007).

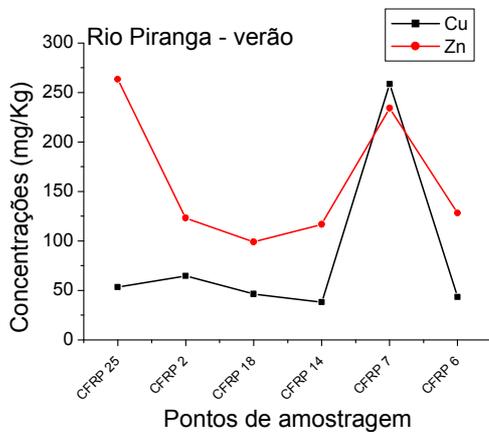


Figura 4.91 – Variação da concentração de Cu/Zn no verão nas águas do Rio Piranga.

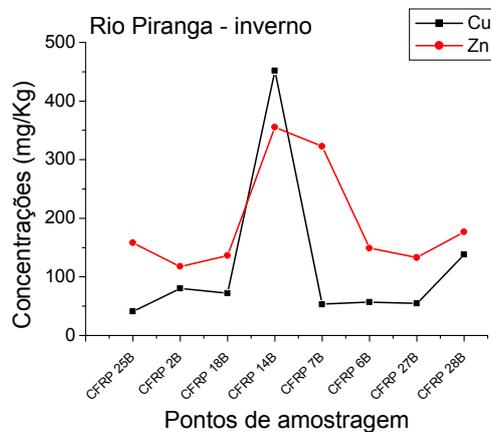


Figura 4.92 – Variação da concentração de Cu/Zn no inverno nas águas do Rio Piranga.

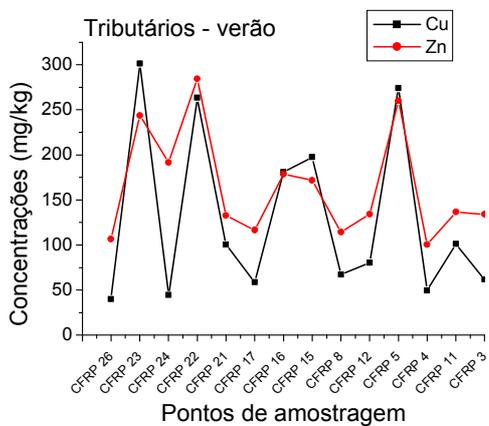


Figura 4.93 – Variação da concentração de Cu/Zn no verão nas águas dos tributários.

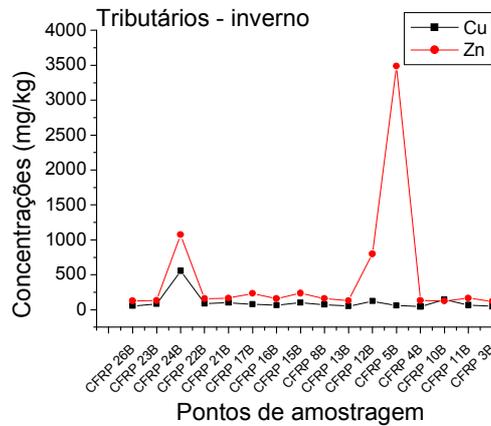


Figura 4.94 – Variação da concentração de Cu/Zn no inverno nas águas dos tributários.

Na região do Rio Piranga, especialmente no alto Rio Piranga, encontraram-se muitos testemunhos para atividades de garimpeiros. Isso poderia levar à conclusão de que onde há ouro, deveria haver elementos calcófilos, como Zn e Cu. Por outro lado, Roeser *et al.* (1984) e Polli *et al.* (1984) 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 anfíbólios xistos, encontrados como inclusões no Complexo Mantiqueira.

### 4.5.3 - Cromo e níquel

Os elementos siderófilos como Ni, Cr (e em parte o Co) são produtos de intemperismo de litotipos básicos-ultrabásicos. Na região em estudo, ocorrem muitos afloramentos de rochas tipo serpentinito e pedra sabão. Como derivados do manto superior, essas rochas são ricas em elementos como Cr, Ni, Co, segundo Roeser (1977). É, mais uma vez, a substituição de elementos dentro das redes cristalinas de minerais que desempenha aqui um papel importante.

Cromo e Níquel são classificados por Goldschmidt (1923 e 1937) como típicos elementos siderófilos (Cr parcialmente litófilo, White, (1977)). A sua ocorrência como elemento 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 - picômetro) 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 e 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 e Muller, 1977 e Roeser, U. *et al.* (1980). Com base em relações positivas entre estes dois elementos, os autores puderam indicar uma origem “Orto” para anfíbolitos e esteatitos pesquisados, da região do Quadrilátero Ferrífero e suas bordas orientais, incluindo partes da região em 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 ( $Fe^{2+}, Cr^{2+} = 82 - 84 \text{ pm}$ ,  $Fe^{3+}, Cr^{3+} = 67 - 64 \text{ pm}$ ), 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 do Rio Piranga (Fig. 4.95a 4.98), indicando também para esses dois elementos uma origem natural litológica.

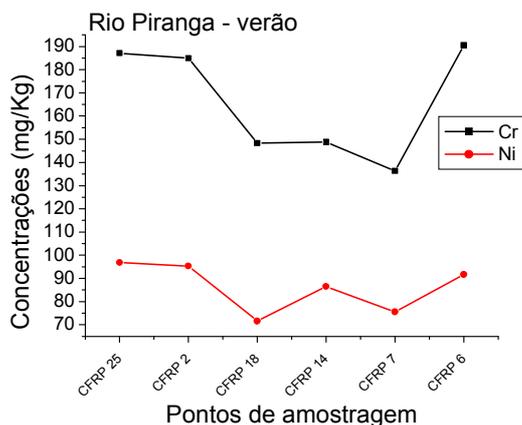


Figura 4.95 – Variação da concentração de Cr e Ni no verão nas águas do Rio Piranga.

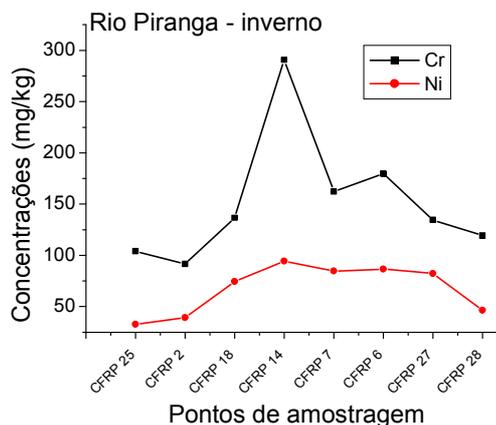


Figura 4.96 – Variação da concentração de Cr e Ni no inverno nas águas do Rio Piranga.

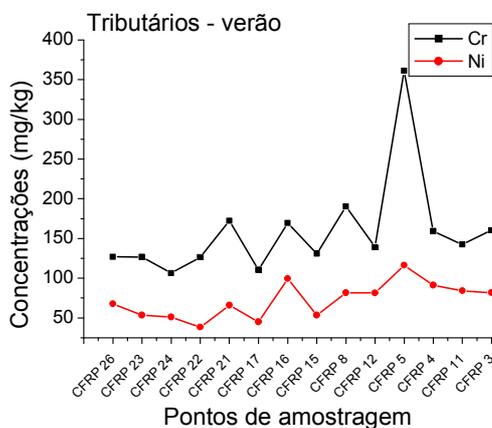


Figura 4.97 – Variação da concentração de Cr e Ni no verão nas águas dos tributários.

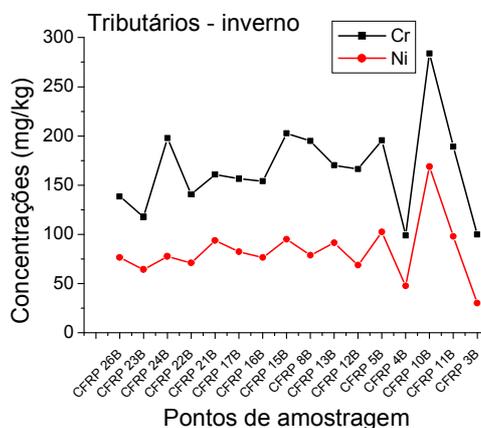


Figura 4.98 – Variação da concentração de Cr e Ni no inverno nas águas dos tributários.

## 4.6 – CLASSIFICAÇÃO QUÍMICA DOS RIOS

Berner e Berner (1987) propuseram já na primeira edição do seu livro clássico *The global water cycle* uma classificação dos rios apoiando-se num diagrama em forma de bumerangue, que até hoje é usado com grande sucesso.

Determinar qual dos fatores ambientais naturais afetam a química das águas dos rios é, conforme os autores, uma das razões para se classificar um rio. Através de estudos de rios bem conhecidos, pode-se extrapolar os resultados para aqueles menos conhecidos.

Como se sabe, existem muitas influências antropogênicas que tendem a aumentar o TDS (Sólidos Totais Dissolvidos) em muitos rios e particularmente aumentar  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  e certos cátions relacionados à  $\text{HCO}_3^-$  e  $\text{SiO}_2$ . De acordo com a classificação de Gibbs (1970), os principais mecanismos naturais que interferem na química das águas superficiais do mundo são:

- Precipitação atmosférica, tanto na composição quanto na quantidade;
- Intemperismo das rochas;
- Evaporação e a cristalização fracionada.

Um diagrama na forma de bumerangue é resultado de quando se plota a média de dois cátions principais nas águas superficiais do mundo,  $\text{Ca}^{++}$ , e  $\text{Na}^+$ , por exemplo, plotando-se  $\text{Na}/(\text{Na}+\text{Ca})$  versus TDS. Os rios são posicionados nos três cantos do bumerangue que representam as áreas dominadas por cada um dos três mecanismos, 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;
- A evapo-cristalização, interfere em rios localizados em regiões áridas;
- O intemperismo interfere em rios localizados em áreas de precipitação intermediárias.

Assim, essa classificação se baseia em sua extensão na quantidade de chuva, e conseqüentemente, no escoamento.

De acordo com Gibbs (1970), rios em que a composição é influenciada basicamente pela precipitação atmosférica são aqueles que a composição se assemelha à composição da chuva, isto é, baixo TDS e alto Na comparado ao Ca.

O canto inferior direito do diagrama bumerangue caracteriza os rios tropicais da América do Sul, África e rio das planícies da costa do Atlântico dos EUA, áreas de elevada pluviometria, baixo relevo e elevada influência do intemperismo ou erosão de rochas arenosas, o que resulta no baixo aporte de sais dissolvidos. Um exemplo dessa influência é a bacia do Rio Amazonas.

Segundo Gibbs (1970), a porção média do bumerangue, onde os valores de TDS são intermediários e os valores de  $\text{Na}/(\text{Na}+\text{Ca})$  são baixos, é a posição que caracteriza os rios que têm sua composição influenciada 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  $\text{CaCO}_3$ , 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  $\text{Na}/(\text{Na}+\text{Ca})$ .

A porção superior do bumerangue caracteriza os rios que tem sua composição influenciada pela cristalização fracionada. Esses rios têm alta concentração de TDS e de Na se comparada a  $\text{Ca}^{++}$ . Dois exemplos dados por Gibbs são os Rio Grande e Rio Pecos.

Com base na proposta de Gibbs (1970) para a classificação dos rios utilizando o Diagrama Bumerangue, o Rio Piranga enquadra-se no canto direito inferior (Fig. 4.101). Assim, sofre elevada influência da litologia, do intemperismo ou erosão de rochas arenosas, o que resulta no baixo aporte de sais dissolvidos.

Observam-se dois pontos de amostragem (CFRP 27 e CFRP 28) do Rio Piranga fora da área onde se encontra o restante dos pontos de amostragem. Como foi observado anteriormente, trata-se de dois pontos de concentrações de Sólidos Totais Dissolvidos atípicos, são pontos localizados após o encontro do Rio Piranga com o Rio do Carmo e possivelmente o Rio do Carmo está contribuindo para a elevada concentração de Sólidos Totais Dissolvidos.

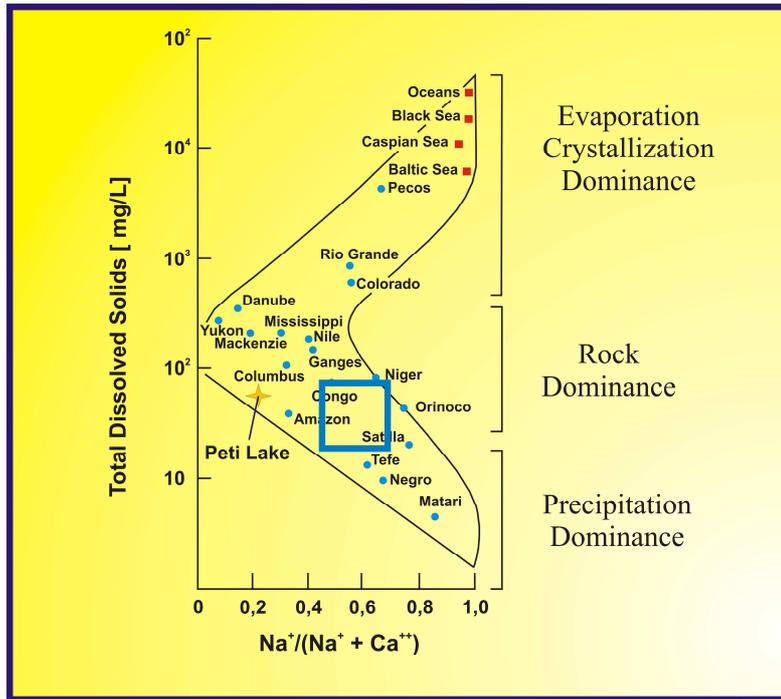


Figura 4.9 – Diagrama bumerangue ressaltando o Rio Piranga entre outros cursos d água.

As mesmas características são observadas para os tributários do Rio Piranga como é observado nos gráficos

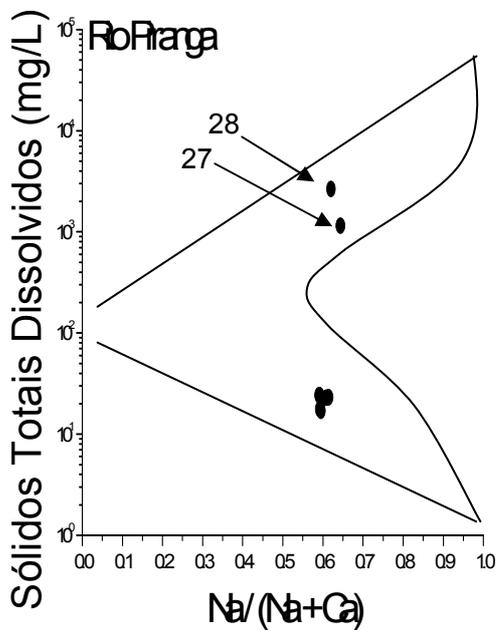


Figura 4.100 – Diagrama bumerangue caracterizando os tributários do Rio Piranga.

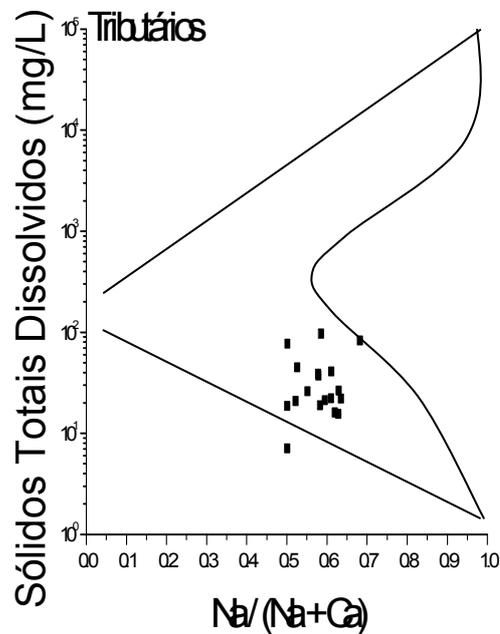


Figura 4.101 – Diagrama bumerangue caracterizando o Rio Piranga.

## CONCLUSÕES

---

De forma geral, observando os resultados encontrados pelos parâmetros analisados, o Rio Piranga no trecho estudado pode ser classificado como Classe 3. No entanto, considerando seu uso prioritário para abastecimento público com tratamento convencional, atenção deve ser dada para alcançar a meta de Classe 2.

Os resultados das amostras de água analisados possibilitaram a comparação destes com os limites máximos permitidos pela Resolução CONAMA 357/05 no enquadramento das águas nas Classes 1, 2 e 3. Assim, de acordo com estes resultados pode se enquadrar o Rio Piranga com sendo de Classes 1, 2 ou 3. No entanto, novos estudos deverão ser feitos para o estudo da real carga poluidora e para a identificação de novos focos de poluição. Em relação aos elementos químicos analisados nas águas e nos sedimentos do rio, pode-se concluir que a presença deles está intimamente ligada à formação litológica da área pesquisada. Isso é evidenciado pelas relações positivas entre duplos de elementos

O Baixo Rio Piranga está inserido em uma área com significativos conglomerados urbanos e que parte das concentrações dos elementos observadas poderia ser conectada à ação antrópica. Assim, os teores elevados de Zn em algumas amostras de água, concentrações não correlacionáveis com outros elementos calcófilos, podem ter origem antropogênica. Deste modo, estudos aprofundados e ações para a melhoria da qualidade ambiental do Rio Piranga são de suma importância.

O potencial de desenvolvimento da bacia hidrográfica do Rio Doce é significativo, seja pela posição geográfica estratégica, seja pela disponibilidade de recursos naturais como água, minério, terras férteis, dentre outros. Apesar dos esforços de projetos para o desenvolvimento da bacia, a degradação continua, pois há carência de uma visão sistêmica e de ações integradas para o desenvolvimento da região de forma sustentada.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

---

AGUDO, E.G. (Coord). Guia de coleta e preservação de amostra de água. 1 ed. São Paulo: CETESB, 1987. 150 p.

ALLOWAY, B. J. Heavy Metals in Soils. Blackie: Chapman & Hall, 1990. 1 – 39.

BALTAZAR, O.F. e RAPOSO, F.O. Programa levantamentos geológicos básicos do Brasil; Carta Geológica, Carta Metalogenética/Previsonal – Escala 1:100.000 (Folha SF. 23-X-B-I Mariana) Estado de Minas Gerais. Brasília, DNMP/CPRM, 1993. 196p.

BERNER, E.K., BERNER, R.A. The global water cycle: geochemistry and environment. Englewood Cliffs: Prentice-hall, 1987. 397p.

CBH- DOCE - Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Doce (2008). Disponível em: <http://www.riodoce.cbh.gov.br/bacia/caracterizacao.asp>. Acesso em: 08 jun. 2007.

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, 2007 <<http://www.cetesb.sp.gov.br/Agua/rios/variaveis.asp>>. Acesso em 10 out 2008.

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução do CONAMA N° 274 de 2000. <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução do CONAMA N° 357 de 17 de março de 2005. <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>

COPAM – Conselho Estadual de Política Ambiental. Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG N° 01. de 05 de maio de 2008. <http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=8151>

COSTA, A.T. Geoquímica das águas e dos sedimentos da bacia do rio Gualaxo do Norte, leste-sudeste do Quadrilátero Ferrífero (MG): estudo de uma área afetada por atividade de extração mineral. 2001. 146p. Dissertação (Mestrado em Evolução Crustal e Recursos Naturais) - Departamento de Geologia/Universidade Federal de Ouro Preto, 2001.

CRUZ, L.V. Avaliação geoquímica ambiental da estação ecológica do Tripuí e adjacências, Sudeste do Quadrilátero Ferrífero, MG. 2002. 147p. Dissertação (Mestrado em Evolução Crustal e Recursos Naturais) - Departamento de Geologia/Universidade Federal de Ouro Preto, 2002.

DERÍSIO, J. C. *Introdução ao controle de poluição Ambiental*. 1 ed. São Paulo: Cetesb, 2000. 201 p.

DREVER, J.I. The effect of land plants on weathering rates of silicate minerals, *Geochim. Cosmochim. Acta* 58, 1994. p. 2325 – 2332.

DREVER, J.I. *The geochemistry of natural waters*. 2<sup>nd</sup> edition. Englewood Cliff, NJ: Prentice Hall, 1988. 437 p.

EVANGELISTA, H.J. & ROESER, H.M.P. Sobre O Manganês no distrito de Saúde e suas Rochas Encaixantes O ( Grupo Dom Silverio), Minas Gerais. *REM*, 43: 36 – 43, 1990.

FARIA, J.L.. Conflitos e participação da sociedade civil na instalação do Comitê de Bacia Hidrográfica do Rio Doce. 2004. 145 p. Dissertação (Mestrado em Extensão Rural) – Departamento de Economia Rural/Universidade Federal de Viçosa. 2004.

FÖRSTNER, U., WITTMANN, G.T.W. *Metal pollution aquatic environment*. 2 ed. New York, Spring-Verlag Berlin Heidelberg, 1981. 486p.

FÖRSTNER, U. Traceability of sediments analysis. *Trends in Analytical Chemistry*. V.23, n.3, p.217-235. 2004.

GIBBS, R.J. Mechanism controlling world water chemistry. *Science*. V170. p. 1088-1090. 1970.

GOLDSCHMIDT, V.M. (1923). *Geochemische Verteilungsgesetze der Elemente*. Videnskapsselskapets Skrifter I, Mat. Naturw. Kl. n. 3 /4. 1937.

GREENBERG, A.E.; CLESCERI, L.S.; EATON A.D. (ed.). *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 18 ed. Washington: American Public Health Association, 1992.

GUIMARÃES, A.T.A. Avaliação geoquímica ambiental da barragem do Ribeirão da Cachoeira, sudeste do Quadrilátero Ferrífero, Ouro Preto, MG. 2005. 111p. Dissertação (Mestrado em Evolução Crustal e Recursos Naturais) - Departamento de Geologia/Universidade Federal de Ouro Preto, 2005.

IGAM - Instituto Mineiro de Gestão das Águas (2007). Disponível em: <[http://www.igam.mg.gov.br/index.php?option=com\\_content&task=view&id=155&Itemid=140](http://www.igam.mg.gov.br/index.php?option=com_content&task=view&id=155&Itemid=140)> Acesso em: 21 out. 2007

IGAM - Instituto Mineiro de Gestão das Águas. Monitoramento da qualidade das águas superficiais na Bacia do Rio Doce em 2006. Belo Horizonte, 2007. 159p.

JESUS, G.D. Geologia da região de Paracatu-Sumidouro, Setor SE, escala 1:10.000, Município de Piranga, MG. Trabalho de Graduação. 2002. 48 p. Departamento de Geologia, Universidade Federal de Ouro Preto, 2002.

MACHADO FILHO, L., RIBEIRO, M.W., GONZÁLES, S.P., SCHENINI, C.A., SANTOS NETO, A., PALMEIRA, R.C.B., PIRES, J.L., TEIXEIRA, W., CASTRO, H.E.F. Levantamento de recursos minerais. In: Brasil. Ministério das Minas e Energia. Projeto RADAMBRASIL; Folhas SF 23/24 Rio de Janeiro/Vitória, 1983. 27/304.

MEYBECK, M. Composition chimique naturelle des ruisseaux non pollués en France. Sci. Geol. Bull. 39, 1986. p 3- 77.

MEYBECK, M. Global occurrence of major elements in rivers. In; Treatise on Geochemistry. HOLLAND, H.D., TUREKIAN, K.K. (ed.). Elsevier Ltd. v 5. 2003

MILLER, J.P. Solutes in small streams draining single rock types, Sangre de Cristo Range, New Mexico. US Geol. Surv., Water Supply Pap., 1535-F. 1961

MS - Ministério da Saúde. Portaria MS N° 518 de 25 de março de 2004. [http://portal.saude.gov.br/portal/arquivos/pdf/portaria\\_518\\_2004.pdf](http://portal.saude.gov.br/portal/arquivos/pdf/portaria_518_2004.pdf)

NAVFAC. Guidance for Environmental Background Analysis. Washington, Naval Facilities Engineering Command, DC, 20374 – 5062, 217p. 2003

OLIVEIRA, M.R. Investigação da contaminação por metais pesados no sedimento d corrente e água do Parque Estadual do Itacolomi, Minas Gerais e arredores. 1999. 180 p. Dissertação (Mestrado em Evolução Crustal e Recursos Naturais) - Departamento de Geologia/Universidade Federal de Ouro Preto, 1999.

PARRA, R.R. Análise geoquímica de água e de sedimento afetados por minerações na bacia hidrográfica do Rio Conceição, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais – Brasil. 2006. 113 p. Dissertação (Mestrado em Evolução Crustal e Recursos Naturais) - Departamento de Geologia/Universidade Federal de Ouro Preto, 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 águas e sedimentos do Rio Conceição, Quadrilátero ferrífero, Minas Gerais, Brasil. *Geochimica Brasiliensis*, v.21, n.1, p.36-49. 2007.

PÊGO, B. (editor). Giro pela bacia. Watu – jornal do movimento pró Rio Doce. Governador Valadares. Ano I – n 3 – agosto 2003.

PIMENTEL, H.S. Caracterização geoquímica da contaminação das águas na serra de Ouro Preto, Minas Gerais. 2001. 113p. Dissertação (Mestrado em Evolução Crustal e Recursos Naturais) - Departamento de Geologia/Universidade Federal de Ouro Preto, 2001.

POLLI, G.O.; ROESER, H, M. P.; KRISOTAKIS, K. Prospecção Geoquímica no embasamento SE do Quadrilátero Ferrífero, M.G. (Folha de Ponte Nova). In: XXXIII Congresso Brasileiro de Geoquímica, 1984, Rio de Janeiro, Brasil. *Anais...*1984. p. 4561-4569.

RAPOSO, F.O. Programa levantamentos geológicos básicos do Brasil; Carta Geológica, Carta Metalogenética/Previsonal – Escala 1:100.000 (Folha SF. 23-X-B-IV Rio Espera) Estado de Minas Gerais. Brasília, DNMP/CPRM, 1991. 200p.

ROESER, H.M.P., EVANGELISTA H.J. Zur lithofaziellen Entwicklung des Raumes Piranga – Ponte Nova, Beispiel einer präkambrischen Basemententwicklung 7. *Gew. Lateinamerikakolloquium*, Tagungsheft 71 – 72, Heidelberg, 1980.

ROESER, H.M.P. & MÜLLER, G. Variation and different ages of precambrian amphibolites, Mariana District, Minas Gerais, Brazil N. Jb. Min. Abh. Stuttgart, p. 39 – 48. 1977.

ROESER, H.M.P.; POLLI, G.O.; KRISOTAKIS, K. Prospecção Geoquímica No embasamento SE do Quadrilátero Ferrífero, M.G. (Folha Barra Longa). In: Anais XXXIII Congresso Brasileiro de Geoquímica, 1984, Rio de Janeiro, Brasil. Anais...1984. p. 4552-4560.

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. v.4.p.2230-2241.

SANTOS, A.C. Noções de hidrogeoquímica. In: FEITOSA, F. A. C ; MANOEL FILHO, J. (Coord). Hidrogeologia conceitos e aplicações. Fortaleza: CPRM, 1997. p. 81-108.

SIAM - Sistema Integrado de Informação Ambiental (2007). Disponível em: <<http://www2.siam.mg.gov.br/webgis/semadmg/viewer.htm>>. Acesso em: 07 jun. 2007.

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

VON SPERLING, M. *Introdução a qualidade das águas e do tratamento de esgoto*. 2 ed.. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais. 2008. 243p.

WEDEPOHL, K. H. (Ed.). Handbook of Geochemistry. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, 1978. VII/ 1, 2,3,4 e 5.

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

**Anexo I**  
**Coordenadas UTM, localização dos pontos amostrados e material coletado**

Tabela I.1 - Localização dos pontos amostrados no Rio Piranga.

Pontos de amostragem	Coordenadas UTM		Localização
	X	Y	
<b>CFRP 2</b>	698422	7712552	Rio Piranga
<b>CFRP 6</b>	719331	7748802	Rio Piranga
<b>CFRP 7</b>	718992	7744735	Rio Piranga
<b>CFRP 9</b>	719287	7741760	Rio Piranga
<b>CFRP 14</b>	718632	7741280	Rio Piranga
<b>CFRP 18</b>	707890	7723872	Rio Piranga
<b>CFRP 25</b>	699679	7709274	Rio Piranga
<b>CFRP 27</b>	721075	7759617	Rio Piranga
<b>CFRP 28</b>	718227	7756735	Rio Piranga

Tabela I.2 – Material coletado nos pontos amostrados no Rio Piranga.

Pontos de amostragem	Material coletado	
	Primeira campanha	Segunda campanha
<b>CFRP 2</b>	água e sedimento	água e sedimento
<b>CFRP 6</b>	água e sedimento	água e sedimento
<b>CFRP 7</b>	água e sedimento	água e sedimento
<b>CFRP 9</b>	água	água
<b>CFRP 14</b>	água e sedimento	água e sedimento
<b>CFRP 18</b>	água e sedimento	água e sedimento
<b>CFRP 25</b>	água e sedimento	água e sedimento
<b>CFRP 27</b>	água e sedimento	água e sedimento
<b>CFRP 28</b>	água e sedimento	água e sedimento

Tabela I.3 - Localização dos pontos amostrados e nome dos tributários do Rio Piranga.

Ponto de amostragem	Coordenadas UTM		Localização
	X	Y	
<b>CFRP 3</b>	720185	7752224	Córrego São Tomé
<b>CFRP 4</b>	719504	7749971	Córrego Peitudo
<b>CFRP 5</b>	719428	7748897	Ribeirão dos Oratórios
<b>CFRP 8</b>	718992	7744735	Córrego Santa Fé
<b>CFRP 10</b>	719341	7750338	Córrego Colônia do Campo
<b>CFRP 11</b>	719322	7751407	Córrego "sem nome"
<b>CFRP 12</b>	716995	7748440	Córrego Serra dos Pinheiros
<b>CFRP 13</b>	716995	7748439	Córrego Boa Vista/ Sacramento
<b>CFRP 15</b>	714568	7740757	Córrego Matacães
<b>CFRP 16</b>	719862	7738978	Ribeirão Vau Açú
<b>CFRP 17</b>	709621	7723162	Rio Turvo
<b>CFRP 19</b>	706851	7723725	Rio Bacalhau
<b>CFRP 20</b>	701592	7721715	Ribeirão Soares
<b>CFRP 21</b>	699356	7717874	Córrego Passa Dez
<b>CFRP 22</b>	698089	7712363	Córrego Mata Onça
<b>CFRP 23</b>	696985	7702367	Córrego Aterrado
<b>CFRP 24</b>	700008	7709393	Ribeirão Itaçu
<b>CFRP 26</b>	696797	7701292	Rio Xopotó

Tabela I.4 – Material coletado nos pontos amostrados nos tributários do Rio Piranga.

Pontos de amostragem	Material coletado	
	Primeira campanha	Segunda campanha
<b>CFRP 3</b>	água e sedimento	água e sedimento
<b>CFRP 4</b>	água e sedimento	água e sedimento
<b>CFRP 5</b>	água e sedimento	água e sedimento
<b>CFRP 8</b>	água e sedimento	água e sedimento
<b>CFRP 10</b>	água	água e sedimento
<b>CFRP 11</b>	água e sedimento	água e sedimento
<b>CFRP 12</b>	água e sedimento	água e sedimento
<b>CFRP 13</b>	água	água e sedimento
<b>CFRP 15</b>	água e sedimento	água e sedimento
<b>CFRP 16</b>	água e sedimento	água e sedimento
<b>CFRP 17</b>	água e sedimento	água e sedimento
<b>CFRP 19</b>	água	água
<b>CFRP 20</b>	água	água
<b>CFRP 21</b>	água e sedimento	água e sedimento
<b>CFRP 22</b>	água e sedimento	água e sedimento
<b>CFRP 23</b>	água e sedimento	água e sedimento
<b>CFRP 24</b>	água e sedimento	água e sedimento
<b>CFRP 26</b>	água e sedimento	água e sedimento

**Anexo II**  
**Parâmetros físico-químicos determinados nas amostras de água**

Tabela II.1 - Parâmetros físico-químicos da água determinados na primeira campanha dos pontos amostrais do Rio Piranga.

Pontos de amostragem	Turbidez FTU	Alcalinidade mg/L	Cloreto mg/L	Sulfato mg/L	pH	Temperatura °C
<b>CFRP 2</b>	5.6	18.91	2.47	1.23	7.7	
<b>CFRP 6</b>	48	21.96	3.43	5.55	7.03	24
<b>CFRP 7</b>	33	45.14	4.41	5.69	7.13	24.2
<b>CFRP 9</b>	39	23.18	3.92	5.55	6.11	24.2
<b>CFRP 14</b>	70.75	25.87	3.19	1.78	7.97	25
<b>CFRP 18</b>	45	25.87	2.46	4.94	7.7	25.5
<b>CFRP 25</b>	24	24.30	2.92	2.51	7.1	26.5
<b>Mínimo</b>	5.6	18.91	2.46	1.23	6.11	24
<b>Máximo</b>	70.75	45.14	4.41	5.69	7.97	26.5

Tabela II.2 - Parâmetros físico-químicos da água determinados na segunda campanha dos pontos amostrais do Rio Piranga.

Pontos de amostragem	Turbidez FTU	Alcalinidade mg/L	Cloreto mg/L	Sulfato mg/L	pH	Temperatura °C	Condutividade µS/cm	TDS ppm	Resistividade	ORP
<b>CFRP 2</b>	6.2	23.72	1.48	2.82	6.44	22.5	36.16	17.61	40.98	115
<b>CFRP 6</b>	4.1	19.76	0.99	2.69	6.92	22.1	36.81	23.94	26.44	171
<b>CFRP 7</b>	4.95	21.08	1.48	2.66	6.89	22.3	36.87	24.08	26.3	143
<b>CFRP 9</b>	4.5	19.76	1.97	2.69	6.74	22.3	35.36	23.17	27.34	174
<b>CFRP 14</b>	4.5	17.13	0.49	2.84	7.45	22.2	35.05	22.83	27.56	161
<b>CFRP 18</b>	6.6	25.03	1.97	2.86	6.55	21.9	36.88	24.24	17.1	132
<b>CFRP 25</b>	6	19.76	3.45	2.29	6.5	21.5	32.96	17.01	37.93	169
<b>CFRP 27</b>	6.25	25.03	1.23	2.84	5.17	21.7	1729	1148		
<b>CFRP 28</b>	3.5	25.03	32.52	2.75	7.14	21.1	4058	2645	2394	149
<b>Mínimo</b>	3.5	17.13	0.49	2.29	5.17	21.1	32.96	17.01	17.1	115
<b>Máximo</b>	6.6	25.03	32.52	2.86	7.45	22.5	4058	2645	2394	174

Tabela II.3 - Parâmetros físico-químicos da água determinados na primeira campanha dos pontos amostrais dos tributários do Rio Piranga.

Pontos de amostragem	Turbidez FTU	Alcalinidade mg/L	Cloreto mg/L	Sulfato mg/L	pH	Temperatura °C
<b>CFRP 3</b>	54	51.24	6.86	5.10	7.02	23.2
<b>CFRP 4</b>	51	39.04	4.41	7.60	6.9	25.3
<b>CFRP 5</b>	91	31.72	9.32	5.05	6.8	24
<b>CFRP 8</b>	93	52.46	5.39	4.78	7.1	24.5
<b>CFRP 10</b>	21.5	38.12	2.95	1.08	6.84	23.8
<b>CFRP 11</b>	68.5	55.82	2.46	1.20	7.13	24.8
<b>CFRP 12</b>	27	32.68	2.95	2.09	7.8	24.2
<b>CFRP 13</b>	16.5	32.68	2.70	1.63	8.05	24.2
<b>CFRP 15</b>	59.5	27.23	2.95	1.93	7.98	24.8
<b>CFRP 16</b>	34	43.57	3.19	4.64	7.65	24.5
<b>CFRP 17</b>	51	29.95	3.93	4.62	7.82	25.5
<b>CFRP 19</b>	29.5	21.78	1.97	4.66	8.26	25
<b>CFRP 20</b>	14	21.78	2.46	4.52	7.4	26
<b>CFRP 21</b>	10	19.74	1.97	4.61	7.83	25.5
<b>CFRP 22</b>	29	21.78	2.95	4.62	7.6	25
<b>CFRP 23</b>	16.5	20.02	2.43	2.37	7.09	24.5
<b>CFRP 24</b>	11	20.02	1.95	2.41	7.01	25.5
<b>CFRP 26</b>	16	22.87	2.43	2.51	7.13	26
<b>Mínimo</b>	10	19.74	1.95	1.08	6.80	23.20
<b>Máximo</b>	93	55.82	9.32	7.60	8.26	26.00

Tabela II.4 - Parâmetros físico-químicos da água determinados na segunda campanha dos pontos amostrais dos tributários do Rio Piranga.

Pontos de amostragem	Turbidez FTU	Alcalinidade mg/L	Cloreto mg/L	Sulfato mg/L	pH	Temperatura °C	Condutividade µS/cm	TDS ppm	Resistividade	ORP
CFRP 3	3.3	43.48	5.91	2.53	6.85	19.80	143.70	96.60		170
CFRP 4	14	50.07	1.48	2.85	6.98	24.00	7.06	7.06		49
CFRP 5	6.4	41.50	14.29	2.53	7.07	21.40	125.10	82.82		146
CFRP 8	4.5	46.12	0.49	2.69	6.64	25.30	68.65	44.91	14.19	42
CFRP 10	42.5	26.35	0.49	2.75	6.55	21.40	56.90	37.18	17.35	109
CFRP 11	9.2	71.15	1.97	2.68	6.78	21.00	116.70	76.85		38
CFRP 12	5.5	21.08	1.48	2.72	7.35	22.50	40.56	26.41		122
CFRP 13	2.49	27.67	1.23	2.75	6.55	22.20	39.45	26.00	24.24	121
CFRP 15	7.47	19.76	1.97	2.75	6.85	21.60	32.78	21.26	28.65	178
CFRP 16	6.9	28.99	1.72	2.85	6.74	21.50	59.28	38.81	16.36	165
CFRP 17	9.4	23.72	3.94	2.89	6.84	21.40	59.00	40.90	33.68	133
CFRP 19	6	22.40	1.48	3.00	6.40	21.30	24.56	22.18	27.68	131
CFRP 20	8.5	23.72	0.49	2.65	6.53	22.60	28.95	18.96	38.18	102
CFRP 21	3.5	25.03	0.99	2.66	6.20	21.70	24.71	16.03	33.97	164
CFRP 22	6.1	80.37	1.48	2.74	6.38	22.00	22.43	15.51	39.03	150
CFRP 23	6.6	14.49	3.94	2.29	6.50	19.70	25.26	18.65	33.40	120
CFRP 24	6.3	17.13	3.94	2.22	6.30	19.90	25.21	20.86		133
CFRP 26	6.2	23.72	2.46	2.29	6.60	20.90	29.54	22.05	27.70	160
Mínimo	2.49	14.49	0.49	2.22	6.2	19.7	7.06	7.06	14.19	38
Máximo	42.5	80.37	14.29	3.00	7.35	25.3	143.7	96.6	39.03	178

**Anexo III**  
**Concentração dos elementos químicos nas amostras de água**

Tabela III.1 - Concentração dos elementos químicos nas amostras de água do Rio Piranga na primeira campanha.

AMOSTRAS	Al (167) µg/l	As (189) µg/l	Ba µg/l	Ca µg/ml	Cd µg/l	Co µg/l	Cr µg/l	Cu µg/l	Fe µg/l	K µg/ml	Li µg/l	Mg µg/ml	Mn µg/l	Na µg/ml	Ni µg/l	V µg/l	Zn µg/l
CFRP 2	9.54	<LQ	20.12	2.566	<LQ	65.8	<LQ	6.89	387.4	1.402	<LQ	1.181	17.32	3.161	<LQ	<LQ	6.01
CFRP 6	197.3	<LQ	23.52	2.872	<LQ	26.33	<LQ	6.85	1179	1.596	<LQ	1.3	27.95	2.513	<LQ	<LQ	31.33
CFRP 7	27.73	<LQ	19.56	2.897	<LQ	<LQ	<LQ	5.9	510	1.388	<LQ	1.256	97.3	2.455	<LQ	<LQ	26.7
CFRP 9	15.73	<LQ	18.78	2.643	<LQ	47.52	<LQ	6.99	145.5	1.453	<LQ	1.203	9.68	2.584	<LQ	<LQ	44.56
CFRP 14	28.85	<LQ	17.67	2.437	<LQ	22.82	<LQ	6.7	375.5	1.382	<LQ	1.076	3.585	2.187	<LQ	<LQ	18.44
CFRP 18	11.1	<LQ	20.18	2.713	<LQ	19.99	<LQ	8.2	495	0.975	<LQ	1.266	10.33	2.147	<LQ	<LQ	1.802
CFRP 25	75.9	<LQ	24.68	3.579	<LQ	62.1	<LQ	6.76	983	1.22	<LQ	1.61	55.1	3.53	<LQ	<LQ	<LQ
<b>LQ</b>	<b>7.5</b>	<b>85</b>	<b>0.5</b>	<b>0.1</b>	<b>8</b>	<b>15</b>	<b>10</b>	<b>2.5</b>	<b>6</b>	<b>0.085</b>	<b>0.75</b>	<b>0.05</b>	<b>2</b>	<b>0.05</b>	<b>20</b>	<b>10</b>	<b>5</b>

Tabela III.2 - Concentração dos elementos químicos nas amostras de água do Rio Piranga na segunda campanha.

AMOSTRAS	Al (396) µg/l	As (193) µg/l	Ba µg/l	Ca µg/ml	Cd µg/l	Co µg/l	Cr µg/l	Cu µg/l	Fe µg/l	K µg/ml	Li µg/l	Mg µg/ml	Mn µg/l	Na µg/ml	Ni µg/l	V µg/l	Zn µg/l
CFRP 2	<L.Q.	<L.Q.	17.94	2.149	<L.Q.	36.53	<L.Q.	<L.Q.	381.1	1.255	<L.Q.	1.088	14.72	3.125	<L.Q.	<L.Q.	<L.Q.
CFRP 7	15.85	<L.Q.	15.13	2.319	<L.Q.	<L.Q.	<L.Q.	<L.Q.	307.1	1.207	<L.Q.	1.012	6.01	3.367	<L.Q.	<L.Q.	<L.Q.
CFRP 9	16.83	<L.Q.	14.46	1.973	<L.Q.	<L.Q.	<L.Q.	<L.Q.	333.4	1.09	<L.Q.	0.98	5.57	3.142	<L.Q.	<L.Q.	<L.Q.
CFRP 14	14.81	<L.Q.	14.15	1.952	<L.Q.	25.88	<L.Q.	<L.Q.	328.4	1.099	<L.Q.	1.012	3.727	3.032	<L.Q.	<L.Q.	<L.Q.
CFRP 18	17.99	<L.Q.	17.71	2.156	<L.Q.	24.15	<L.Q.	<L.Q.	341.7	1.332	<L.Q.	1.14	6.27	3.112	<L.Q.	<L.Q.	<L.Q.
CFRP 25	24.08	<L.Q.	15.5	1.984	<L.Q.	71	<L.Q.	<L.Q.	434.7	1.044	<L.Q.	0.983	14.36	2.918	<L.Q.	<L.Q.	<L.Q.
CFRP 27	20.49	<L.Q.	17.39	2.486	<L.Q.	32.18	<L.Q.	<L.Q.	234.5	1.155	<L.Q.	1.262	12.94	4.502	<L.Q.	<L.Q.	<L.Q.
CFRP 28	15.59	<L.Q.	16.17	2.266	<L.Q.	45.81	<L.Q.	<L.Q.	285.5	1.335	<L.Q.	1.076	7.2	3.705	<L.Q.	<L.Q.	10.92
<b>LQ</b>	<b>13.77</b>	<b>215.97</b>	<b>0.41</b>	<b>0.01</b>	<b>4.91</b>	<b>10.84</b>	<b>7.39</b>	<b>3.32</b>	<b>6.74</b>	<b>0.08</b>	<b>0.68</b>	<b>0.002</b>	<b>2.33</b>	<b>0.02</b>	<b>30.34</b>	<b>7.03</b>	<b>5.27</b>

Tabela III.3 - Concentração dos elementos químicos nas amostras de água dos tributários do Rio Piranga na primeira campanha.

AMOSTRAS	Al (167)	As (189)	Ba	Ca	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	K	Li	Mg	Mn	Na	Ni	V	Zn
	µg/l	µg/l	µg/l	µg/ml	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/ml	µg/l	µg/ml	µg/l	µg/ml	µg/l	µg/l	µg/l
<b>CFRP 3</b>	20.85	<LQ	33.34	4.893	<LQ	30.3	<LQ	9.78	299.8	6.74	<LQ	2.238	120.4	4.252	<LQ	<LQ	38.54
<b>CFRP 4</b>	107.4	<LQ	37.05	4.108	<LQ	44.29	<LQ	8.26	151.7	2.588	<LQ	2.394	245.1	2.507	<LQ	<LQ	42.05
<b>CFRP 5</b>	31.43	<LQ	36.26	4.283	<LQ	50.8	<LQ	7.84	236.8	3.938	<LQ	2.102	23.34	4.349	<LQ	<LQ	39.69
<b>CFRP 8</b>	14.07	<LQ	69.3	6.26	<LQ	69.8	<LQ	6.67	171.7	5.11	<LQ	3.809	493	3.315	<LQ	<LQ	27.08
<b>CFRP 10</b>	<LQ	<LQ	38.15	5.26	<LQ	20.27	<LQ	7.01	422	2.293	<LQ	1.945	355.9	2.293	<LQ	<LQ	14.58
<b>CFRP 11</b>	<LQ	<LQ	62.1	6.83	<LQ	24.92	<LQ	7.38	187.2	1.373	<LQ	3.688	599	3.398	<LQ	<LQ	46.82
<b>CFRP 12</b>	<LQ	<LQ	23.19	3.478	<LQ	18.74	<LQ	6.82	955	2.082	<LQ	1.378	208.4	3.073	<LQ	<LQ	19.52
<b>CFRP 13</b>	10.07	<LQ	23.56	3.536	<LQ	21.06	<LQ	7.56	754	2.295	<LQ	1.664	158.5	2.379	<LQ	<LQ	119
<b>CFRP 15</b>	14.02	<LQ	13.64	2.221	<LQ	28.71	<LQ	6.88	361.1	1.64	<LQ	0.943	39.08	1.678	<LQ	<LQ	6.19
<b>CFRP 16</b>	<LQ	<LQ	36.22	5.04	<LQ	17.67	<LQ	8.53	534	2.015	<LQ	2.412	179.1	3.727	<LQ	<LQ	7.37
<b>CFRP 17</b>	<LQ	<LQ	26.04	4.109	<LQ	48.43	<LQ	7.55	350.3	1.911	<LQ	1.557	12.88	3.108	<LQ	<LQ	7.54
<b>CFRP 19</b>	8.81	<LQ	15.75	1.691	<LQ	17.55	<LQ	7.6	524	0.634	<LQ	0.865	13.27	1.586	<LQ	<LQ	5.25
<b>CFRP 20</b>	<LQ	<LQ	23.76	2.453	<LQ	19.14	<LQ	7.05	573	1.076	<LQ	1.073	152.3	1.983	<LQ	<LQ	5.04
<b>CFRP 21</b>	<LQ	<LQ	15.65	1.707	<LQ	16.65	<LQ	8.28	621	0.748	<LQ	0.75	52.5	1.893	<LQ	<LQ	20.01
<b>CFRP 22</b>	<LQ	<LQ	16.22	1.781	<LQ	26.62	<LQ	7.05	632	0.889	<LQ	0.695	44.14	1.597	<LQ	<LQ	<LQ
<b>CFRP 23</b>	<LQ	<LQ	14.16	2.04	<LQ	19.76	<LQ	6.54	310.7	0.847	<LQ	0.824	77.9	1.551	<LQ	<LQ	<LQ
<b>CFRP 24</b>	<LQ	<LQ	15.79	2.195	<LQ	17.21	<LQ	7.75	321.8	0.883	<LQ	0.935	81	1.757	<LQ	<LQ	6.33
<b>CFRP 26</b>	14.22	<LQ	17.77	2.267	<LQ	10.87	<LQ	6.5	496.7	0.903	<LQ	1.001	6.43	2.504	<LQ	<LQ	10.16
<b>LQ</b>	<b>7.5</b>	<b>85.0</b>	<b>0.5</b>	<b>0.1</b>	<b>8.0</b>	<b>15</b>	<b>10</b>	<b>2.5</b>	<b>6.0</b>	<b>0.085</b>	<b>0.75</b>	<b>0.05</b>	<b>2.0</b>	<b>0.05</b>	<b>20</b>	<b>10</b>	<b>5.0</b>

Tabela III.4 - Concentração dos elementos químicos nas amostras de água dos tributários do Rio Piranga na segunda campanha.

AMOSTRAS	Al (396) µg/l	As (193) µg/l	Ba µg/l	Ca µg/ml	Cd µg/l	Co µg/l	Cr µg/l	Cu µg/l	Fe µg/l	K µg/ml	Li µg/l	Mg µg/ml	Mn µg/l	Na µg/ml	Ni µg/l	V µg/l	Zn µg/l
CRFP 3	<L.Q.	<L.Q.	16.81	4.288	<L.Q.	12.19	<L.Q.	4.096	248	9.01	<L.Q.	1.778	42.4	6.06	<L.Q.	<L.Q.	5.59
CRFP 4	<L.Q.	<L.Q.	34.9	5.34	<L.Q.	18.17	<L.Q.	<L.Q.	805	1.357	<L.Q.	2.96	315.3	5.36	<L.Q.	<L.Q.	<L.Q.
CRFP 5	<L.Q.	<L.Q.	20.53	5.63	<L.Q.	<L.Q.	<L.Q.	<L.Q.	346.4	4.809	<L.Q.	2.894	14.58	12.13	<L.Q.	<L.Q.	<L.Q.
CRFP 8	15.03	<L.Q.	30.56	4.636	<L.Q.	64.5	<L.Q.	<L.Q.	562	1.328	<L.Q.	2.839	183.1	5.14	<L.Q.	<L.Q.	<L.Q.
CRFP 10	15.33	<L.Q.	41.61	2.854	<L.Q.	14.03	<L.Q.	<L.Q.	263.5	1.419	<L.Q.	1.4	409.4	3.925	<L.Q.	<L.Q.	<L.Q.
CRFP 11	<L.Q.	<L.Q.	65.2	8.21	<L.Q.	<L.Q.	<L.Q.	<L.Q.	1920	1.718	<L.Q.	4.368	444.3	8.26	<L.Q.	<L.Q.	<L.Q.
CRFP 12	<L.Q.	<L.Q.	13.58	2.05	<L.Q.	13.92	<L.Q.	<L.Q.	308.2	1.538	<L.Q.	0.912	21.79	3.483	<L.Q.	<L.Q.	<L.Q.
CRFP 13	<L.Q.	<L.Q.	15.41	2.517	<L.Q.	<L.Q.	<L.Q.	<L.Q.	254.6	1.492	<L.Q.	1.259	25.37	3.098	<L.Q.	<L.Q.	<L.Q.
CRFP 15	<L.Q.	<L.Q.	11.63	1.624	<L.Q.	15.55	<L.Q.	<L.Q.	572	1.652	<L.Q.	0.764	24.2	2.389	<L.Q.	<L.Q.	<L.Q.
CRFP 16	<L.Q.	<L.Q.	19.58	3.571	<L.Q.	36.37	<L.Q.	<L.Q.	711	1.797	<L.Q.	1.829	28.1	4.888	<L.Q.	<L.Q.	<L.Q.
CRFP 17	<L.Q.	<L.Q.	17.93	2.967	<L.Q.	37.52	<L.Q.	<L.Q.	286	2.194	<L.Q.	1.276	14.68	4.665	<L.Q.	<L.Q.	<L.Q.
CRFP 19	<L.Q.	<L.Q.	13.09	1.384	<L.Q.	11.3	<L.Q.	<L.Q.	244.6	0.853	<L.Q.	0.784	14.56	2.17	<L.Q.	<L.Q.	<L.Q.
CRFP 20	<L.Q.	<L.Q.	18.93	1.628	<L.Q.	36.63	<L.Q.	<L.Q.	263.6	1.129	<L.Q.	0.849	102.8	2.276	<L.Q.	<L.Q.	<L.Q.
CRFP 21	<L.Q.	<L.Q.	14.53	1.259	<L.Q.	18.38	<L.Q.	<L.Q.	298.5	1	<L.Q.	0.654	17.99	2.055	<L.Q.	<L.Q.	<L.Q.
CRFP 22	<L.Q.	<L.Q.	13.42	1.193	<L.Q.	41.93	<L.Q.	<L.Q.	503	1.148	<L.Q.	0.539	20.93	2.018	<L.Q.	<L.Q.	<L.Q.
CRFP 23	<L.Q.	<L.Q.	11.02	1.593	<L.Q.	44.03	<L.Q.	<L.Q.	362.6	1.008	<L.Q.	0.745	46.91	1.601	<L.Q.	<L.Q.	<L.Q.
CRFP 24	<L.Q.	<L.Q.	13.26	1.602	<L.Q.	21.21	<L.Q.	<L.Q.	250.8	0.966	<L.Q.	0.809	41.27	1.75	<L.Q.	<L.Q.	<L.Q.
CFRP 26	21.84	<L.Q.	15.89	1.64	<L.Q.	27.72	<L.Q.	<L.Q.	486.6	1.058	<L.Q.	0.834	9.76	2.856	<L.Q.	<L.Q.	<L.Q.
<b>LQ</b>	<b>13.77</b>	<b>215.97</b>	<b>0.41</b>	<b>0.01</b>	<b>4.91</b>	<b>10.84</b>	<b>7.39</b>	<b>3.32</b>	<b>6.74</b>	<b>0.08</b>	<b>0.68</b>	<b>0.002</b>	<b>2.33</b>	<b>0.02</b>	<b>30.34</b>	<b>7.03</b>	<b>5.27</b>

**Anexo IV**  
**Concentração dos elementos químicos nas amostras de sedimento**

Tabela IV.1 - Concentração dos elementos químicos nas amostras de sedimento do Rio Piranga na primeira campanha.

AMOSTRAS	Al mg/kg	As mg/kg	Ba mg/kg	Ca mg/kg	Cd 214 mg/kg	Co mg/kg	Cr mg/kg	Cu mg/kg	Fe mg/kg	K mg/kg	Mg mg/kg	Mn mg/kg	Na mg/kg	Ni mg/kg	V mg/kg	Zn mg/kg
CFRP 2	149600	20.31	407.4	2240	3.47	40.45	184.9	64.7	80712	5770	3576	1025	1635	95.3	242.2	123.1
CFRP 6	112522	24.12	472.9	6752	5.11	62.6	190.5	43.42	87994	7770	4479	1536	3593	91.6	378.9	128.1
CFRP 7	120814	12.84	622	8181	4.33	51.4	136.3	258.5	85984	9346	3983	1431	3852	75.5	328.6	234.1
CFRP 14	136386	21.9	380.2	3006	3.96	46.12	148.8	38.09	84438	7497	2255	1021	1716	86.5	292.3	116.7
CFRP 18	108564	21.5	503	4953	2.66	45.04	148.3	46.41	62872	8082	4333	1070	3265	71.6	291.8	99
CFRP 25	161054	30.63	406	3172	3.22	41.31	187.1	53.4	79125	5877	3839	1393	1750	96.8	251.9	263.4
<b>LQ</b>	<b>25</b>	<b>6.5</b>	<b>0.075</b>	<b>28.77</b>	<b>0.5</b>	<b>1.22</b>	<b>0.86</b>	<b>0.78</b>	<b>61.7</b>	<b>4.99</b>	<b>0.22</b>	<b>0.15</b>	<b>8.2</b>	<b>2.33</b>	<b>11.98</b>	<b>0.31</b>

Tabela IV.2 - Concentração dos elementos químicos nas amostras de sedimento do Rio Piranga na segunda campanha.

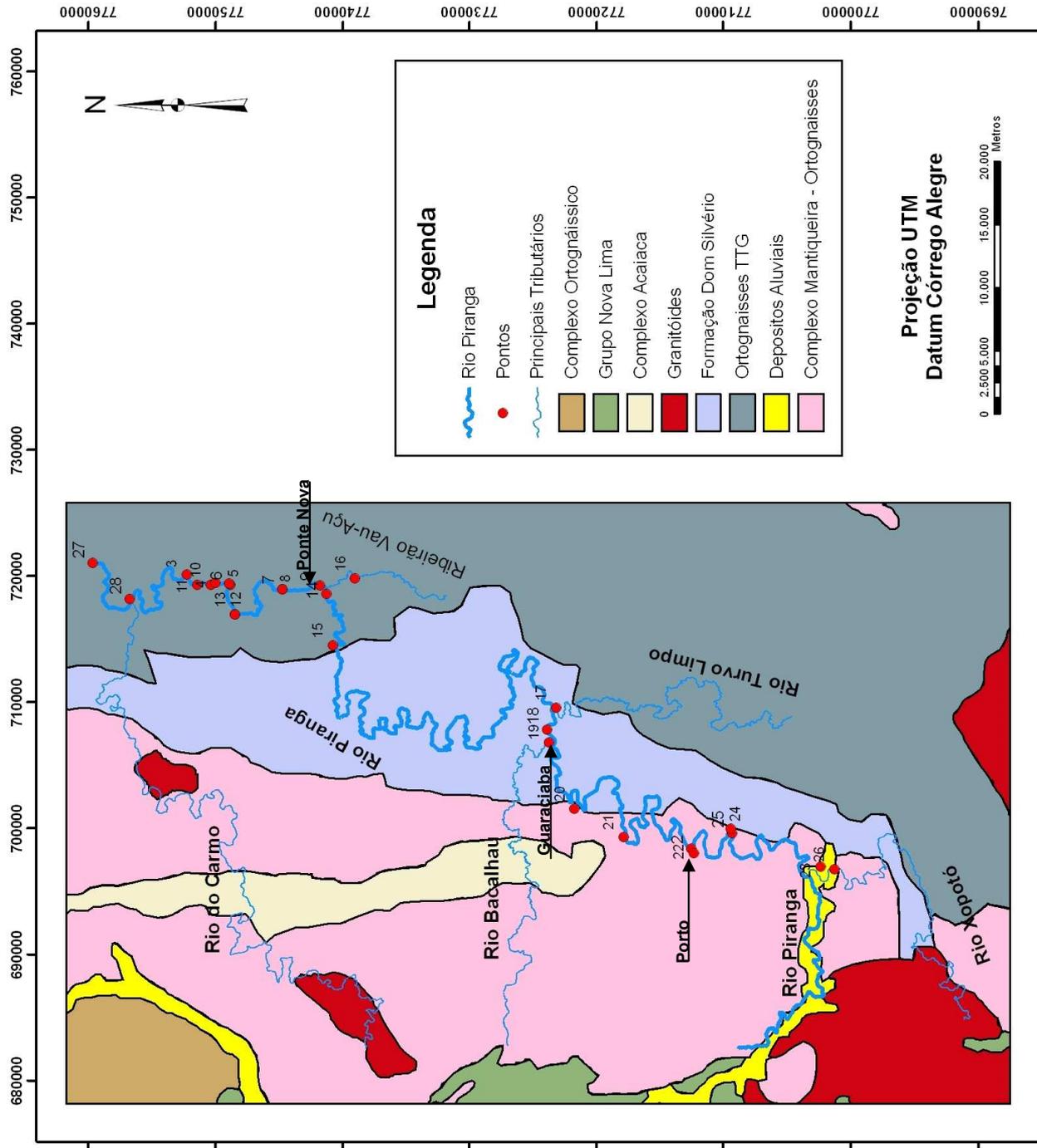
AMOSTRAS	Al mg/kg	As mg/kg	Ba mg/kg	Ca mg/kg	Cd mg/kg	Co mg/kg	Cr mg/kg	Cu mg/kg	Fe mg/kg	K mg/kg	Mg mg/kg	Mn mg/kg	Na mg/kg	Ni mg/kg	V mg/kg	Zn mg/kg
CFRP 2	148272	11.5	385.4	1762	7.59	38.54	91.5	80.2	76754	6384	1659	1359	862	39.27	248.8	117.7
CFRP 6	133518	85.8	588	2212	15.84	38.27	179.7	57	129252	9829	3791	3723	1801	86.6	189.6	148.9
CFRP 7	141601	17.74	409.1	3858	9.39	48.47	162.4	53.3	86335	6696	4042	1126	2302	84.6	275.7	322.6
CFRP 14	90033	8.41	449.8	7468	14.46	87.2	290.7	451.6	108964	7645	5128	2880	3199	94.4	422.2	355.4
CFRP 18	124893	16.32	467	3895	12.14	54.1	136.6	72.4	100112	6632	3695	2703	2018	74.5	265.2	136.5
CFRP 25	107757	7.07	581	3354	7.34	57	103.9	40.84	70669	12576	2966	2411	2355	32.85	341.4	158
CFRP 27	129336	13.65	597	4901	10.84	67.2	134.5	54.4	99917	9166	4268	4075	3263	82.3	257.1	132.9
CFRP 28	109535	<L.Q.	424.1	2743	11.67	93.5	119.3	138.2	96046	8060	2457	3062	1468	46.46	525	176.6
<b>LQ</b>	<b>0.25</b>	<b>0.07</b>	<b>0.0006</b>	<b>0.34</b>	<b>0.006</b>	<b>0.007</b>	<b>0.01</b>	<b>0.006</b>	<b>0.66</b>	<b>0.06</b>	<b>0.01</b>	<b>0.01</b>	<b>0.46</b>	<b>0.02</b>	<b>0.10</b>	<b>0.03</b>

Tabela IV.3 - Concentração dos elementos químicos nas amostras de sedimento dos tributários do Rio Piranga na primeira campanha

AMOSTRAS	Al mg/kg	As mg/kg	Ba mg/kg	Ca mg/kg	Cd 214 mg/kg	Co mg/kg	Cr mg/kg	Cu mg/kg	Fe mg/kg	K mg/kg	Mg mg/kg	Mn mg/kg	Na mg/kg	Ni mg/kg	V mg/kg	Zn mg/kg
<b>CFRP 3</b>	120612	21.52	496.8	7480	6.27	72.5	160.4	61.8	106156	7495	5528	1781	3736	81.7	432.6	134
<b>CFRP 4</b>	115519	23.59	745	18527	4.733	60.5	159.1	49.67	84677	8232	5810	1399	10627	91.2	406.7	100.4
<b>CFRP 5</b>	109579	22.09	467.5	8415	6.79	68.9	361.1	274.1	109276	8468	5714	1975	3759	116.3	354.6	259.8
<b>CFRP 8</b>	107411	13.58	661	12012	5.18	66.2	190.3	67.1	89425	9124	6025	1796	6083	81.5	424.6	114.3
<b>CFRP 11</b>	120062	16.86	579	3236	11.45	77.4	142.4	101.1	166333	3651	3397	9465	1095	84.2	228	136.6
<b>CFRP 12</b>	138011	20.43	543	5691	4.576	48.64	139	80.3	89602	11409	4555	1598	4524	81.3	259.9	134.1
<b>CFRP 15</b>	135554	19.74	571	3736	4.984	49.85	130.9	197.4	95425	12475	3826	1310	2306	53.3	352.6	171.7
<b>CFRP 16</b>	122770	10.14	574	8547	5.75	74.2	169.4	181	99321	12419	6014	2126	5643	99.5	351.3	178.6
<b>CFRP 17</b>	104849	17.65	412.9	2700	4.404	67.6	110.5	58.8	82225	8085	1977	1624	1612	44.84	475.9	116.6
<b>CFRP 21</b>	162543	25.12	394.5	1940	5.42	45.61	172.1	100.5	106037	6973	3035	2072	774	65.8	311.4	132.6
<b>CFRP 22</b>	125139	19.19	518	3825	5.25	47.38	126.3	263.5	97432	10022	2505	1491	1719	38.23	379.8	284.3
<b>CFRP 23</b>	138037	25.37	600	2404	9.02	67.8	126.6	301.4	142941	12885	4296	2377	1379	53.3	486.8	243.7
<b>CFRP 24</b>	142701	23.66	453.5	2026	4.806	43.26	106.3	44.52	94971	8873	2734	1377	1232	50.9	315.7	191.7
<b>CFRP 26</b>	143992	<L.Q.	496.3	3895		47.44	126.8	39.95	68081	7766	3942	1135	2802	67.8	277.9	106.7
<b>LQ</b>	<b>25</b>	<b>6.5</b>	<b>0.075</b>	<b>28.77</b>	<b>0.5</b>	<b>1.22</b>	<b>0.86</b>	<b>0.78</b>	<b>61.7</b>	<b>4.99</b>	<b>0.22</b>	<b>0.15</b>	<b>8.2</b>	<b>2.33</b>	<b>11.98</b>	<b>0.31</b>

Tabela IV.3 - Concentração dos elementos químicos nas amostras de sedimento dos tributários do Rio Piranga na segunda campanha

AMOSTRAS	Al mg/kg	As mg/kg	Ba mg/kg	Ca mg/kg	Cd mg/kg	Co mg/kg	Cr mg/kg	Cu mg/kg	Fe mg/kg	K mg/kg	Mg mg/kg	Mn mg/kg	Na mg/kg	Ni mg/kg	V mg/kg	Zn mg/kg
<b>CFRP 3</b>	99625	12.34	511	2060	9.64	55.5	99.8	47.13	80649	10832	3328	1381	1512	30.07	350.3	120.2
<b>CFRP 4</b>	150113	15.17	410.9	1680	9.87	46.22	98.8	44.38	93198	7730	2497	1218	1039	47.61	301.9	131
<b>CFRP 5</b>	165791	20.15	355.4	1702	8.93	38.62	195.4	60.8	84271	5030	3871	1347	1236	102.3	205.1	3487
<b>CFRP 8</b>	101056	14.65	446.1	6216	8.03	51.9	194.8	73.7	67998	5494	4919	1810	3991	78.7	282.1	159.8
<b>CFRP 10</b>	166158	19.12	351.5	430.8	9.03	68.4	283.7	147.8	93668	7398	2828	920	1496	168.7	313.9	125.6
<b>CFRP 11</b>	167460	20.79	401.4	1720	8.12	40.12	189.1	67.8	85457	5273	3722	1340	1134	97.7	207.3	165.5
<b>CFRP 12</b>	91860	14.07	531	15755	12.81	69.5	166.2	123	96527	9979	8281	2648	7545	68.6	338.3	799
<b>CFRP 13</b>	111637	4.885	673	18702	13.48	80.5	170.2	51	105388	6818	6107	3045	8272	91.3	401.5	130
<b>CFRP 15</b>	130183	23.01	454.4	3504	13.09	63.6	202.5	100.5	106523	5825	3686	1807	1944	94.9	264.7	237
<b>CFRP 16</b>	136385	15.05	444.8	3893	8.71	43.62	154	63.1	82994	6743	3877	1085	2102	76.3	255.4	158
<b>CFRP 17</b>	120961	15.16	765	6745	15.71	75	156.4	77.2	125723	7186	5199	3979	4279	82.3	247.9	233.9
<b>CFRP 21</b>	139488	13.75	400.2	2830	16.98	65	160.7	100.3	131312	3808	3707	3748	1239	93.7	243.9	166
<b>CFRP 22</b>	128551	15.43	673	6449	16.72	74.7	140.7	89.3	130824	8820	4254	6879	3804	70.8	218.8	157.8
<b>CFRP 23</b>	126588	9.86	655	14623	8.2	47.93	117.7	83.8	76151	13373	6927	3283	9391	64.2	204.6	131.8
<b>CFRP 24</b>	121013	10.44	515	9848	10.49	74.4	197.7	556	89563	8036	4674	1930	3083	77.5	295.5	1074
<b>CFRP 26</b>	174931	17.17	357	1964	4.901	35.05	138.5	55.2	62980	5223	2985	1118	1319	76.4	199	126.6
<b>LQ</b>	<b>0.25</b>	<b>0.07</b>	<b>0.0006</b>	<b>0.34</b>	<b>0.006</b>	<b>0.007</b>	<b>0.01</b>	<b>0.006</b>	<b>0.66</b>	<b>0.06</b>	<b>0.01</b>	<b>0.01</b>	<b>0.46</b>	<b>0.02</b>	<b>0.10</b>	<b>0.03</b>



# Livros Grátis

( <http://www.livrosgratis.com.br> )

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)  
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)  
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)  
[Baixar livros de Matemática](#)  
[Baixar livros de Medicina](#)  
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)  
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)  
[Baixar livros de Meteorologia](#)  
[Baixar Monografias e TCC](#)  
[Baixar livros Multidisciplinar](#)  
[Baixar livros de Música](#)  
[Baixar livros de Psicologia](#)  
[Baixar livros de Química](#)  
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)  
[Baixar livros de Serviço Social](#)  
[Baixar livros de Sociologia](#)  
[Baixar livros de Teologia](#)  
[Baixar livros de Trabalho](#)  
[Baixar livros de Turismo](#)