



UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
ESCOLA DE MINAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA

Contribuição às Ciências da Terra

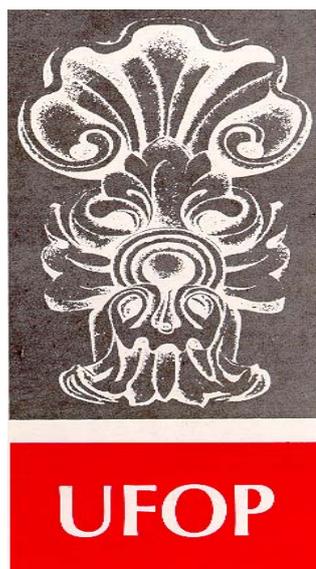
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
EVOLUÇÃO CRUSTAL E RECURSOS NATURAIS

INFLUÊNCIA ANTRÓPICA NAS CARACTERÍSTICAS HIDROSEDIMENTOLÓGICAS E GEOQUÍMICAS DA BACIA DO RIBEIRÃO CARAÇA, QUADRILÁTERO FERRÍFERO, MG

MILENE APARECIDA MONTEIRO MENDES

OURO PRETO - 2007

**INFLUÊNCIA ANTRÓPICA NAS CARACTERÍSTICAS
HIDROSEDIMENTOLÓGICAS E GEOQUÍMICAS DA BACIA
DO RIBEIRÃO CARAÇA, QUADRILÁTERO FERRÍFERO, MG**



FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO

Reitor

João Luiz Martins

Vice-Reitor

Antenor Barbosa Júnior

Pró-Reitor de Pesquisa e Pós-Graduação

Tanus Jorge Nagem

ESCOLA DE MINAS

Diretor

José Geraldo Arantes de Azevedo Brito

Vice-Diretor

Marco Túlio Ribeiro Evangelista

DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA

Chefe

César Augusto Chicarino Varajão



EVOLUÇÃO CRUSTAL E RECURSOS NATURAIS

CONTRIBUIÇÕES ÀS CIÊNCIAS DA TERRA – VOL. 45

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Nº 257

**INFLUÊNCIA ANTRÓPICA NAS CARACTERÍSTICAS
HIDROSEDIMENTOLÓGICAS E GEOQUÍMICAS DA BACIA DO
RIBEIRÃO CARAÇA, QUADRILÁTERO FERRÍFERO, MG**

Milene Aparecida Monteiro Mendes

Orientadora

Mariangela Garcia Praça Leite

Co-orientador

Jorge Carvalho de Lena

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Evolução Crustal e Recursos Naturais
do Departamento de Geologia da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto
como requisito parcial à obtenção do Título de Mestre em Ciência Naturais,
Área de Concentração: Geologia Ambiental e Conservação de Recursos Naturais

OURO PRETO

2007

Universidade Federal de Ouro Preto – <http://www.ufop.br>
Escola de Minas - <http://www.em.ufop.br>
Departamento de Geologia - <http://www.degeo.ufop.br/>
Programa de Pós-Graduação em Evolução Crustal e Recursos Naturais
Campus Morro do Cruzeiro s/n - Bauxita
35.400-000 Ouro Preto, Minas Gerais
Tel. (31) 3559-1600, Fax: (31) 3559-1606 e-mail: pgrad@degeo.ufop.br

Os direitos de tradução e reprodução reservados.

Nenhuma parte desta publicação poderá ser gravada, armazenada em sistemas eletrônicos, fotocopiada ou reproduzida por meios mecânicos ou eletrônicos ou utilizada sem a observância das normas de direito autoral.

ISSN 85-230-0108-6

Depósito Legal na Biblioteca Nacional

Edição 1ª

Catálogo elaborado pela Biblioteca Prof. Luciano Jacques de Moraes do
Sistema de Bibliotecas e Informação - SISBIN - Universidade Federal de Ouro Preto

M538i Mendes, Milene Aparecida Monteiro.
Influência antrópica nas características hidrossedimentológicas e geoquímicas da bacia do Ribeirão
Caraça, Quadrilátero Ferrífero, MG [manuscrito] / Milene Aparecida Monteiro Mendes. - 2007
xviii, 90f.: il. color.; grafs.; tabs.; mapas. (Contribuições às ciências da terra, v. 45 n. 257. Série M)
ISSN: 85-230-0108-6

Orientadora: Profa. Dra. Mariângela Garcia Praça Leite.
Co-orientador: Prof. Dr. Jorge Carvalho de Lena.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Departamento de
Geologia. Programa de Pós-graduação em Evolução Crustal e Recursos Naturais.

1. Geoquímica - Teses. 2. Bacias Hidrográficas - Teses. 3. Quadrilátero Ferrífero (MG) - Teses
I. Universidade Federal de Ouro Preto. II. Título.

Catálogo: sisbin@sisbin.ufop.br

*Dedico esse trabalho aos meus pais
Antônio Mendes e Elizabete Mendes.*

Agradecimentos

À minha orientadora professora Mariangela pelo apoio, amizade, paciência e orientação durante esses anos.

Ao professor Jorge sob cuja orientação, amizade e dedicação pude realizar este trabalho. Tenho orgulho de ter trabalhado com você e os ensinamentos levarei sempre comigo.

À CAPES e ao Projeto de Cooperação Internacional Brasil e Alemanha (CAPES/DAAD PROBREAL).

Ao professor Hubert pela oportunidade e aos professores Hermínio e Paulo de Tarso pelo apoio e ensinamentos geológicos.

Ao laboratório de Microbiologia da UFOP pela concessão no uso de equipamentos e ajuda nas análises microbiológicas.

Aos amigos do laboratório LGqA, pelo apoio e paciência durante as análises e interpretação dos dados. Em especial, agradeço ao Celso, Adriana, Margô e Gilberto.

À Jardeli e Délio pela ajuda nas análises laboratoriais.

Às amigas Josefa, Augusta e Aline pelos conselhos e colaboração em cada etapa desse trabalho.

Aos amigos Leonardo e Cláudio pelos ensinamentos geológicos e presença constante.

Aos amigos do DEGEO Makênia, Liliane, Carol e Tavares pelo incentivo e troca de idéias.

À Érica pela imensa ajuda e muita paciência.

Ao Rafa que mesmo longe, contribui com sua amizade.

À Pitu pela amizade e momentos maravilhosos na sala 57.

À Suzy por muito me ajudar na confecção dos mapas.

Ao Moacir pela amizade e paciência durante esses anos.

À Aparecida pelas ajudas em escritório.

À Mônica, por não me deixar desistir e por estar tão presente em todos os momentos da minha vida, principalmente nos momentos difíceis que vivi nesses últimos meses.

Aos amigos Luis, Sergio e Rochele pela torcida e companhia constante em Ouro Preto.

À Andréia que fez da minha estadia em Ouro Preto nos últimos meses muito mais feliz.

Ao Rafael pelo carinho, apoio e amizade.

Em especial ao Zaqueu, pelo imenso apoio quando eu tanto precisei.

Aos meus pais, Antônio e Bete, e aos meus irmãos, Anderson, Clayton e Edlânio, que sempre me apoiaram, pelo amor, carinho e união.

Aos colegas, professores e funcionários do DEGEO e a todos que me ajudaram.

Sumário

AGRADECIMENTOS	ix
LISTA DE FIGURAS	xv
LISTA DE TABELAS	xvii
RESUMO	xix
ABSTRACT	xxi
CAPÍTULO 1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS	01
1.1. Introdução	01
1.2. Análise ambiental de bacias hidrográficas	02
1.3. A bacia do ribeirão Caraça	03
1.3.1. Localização e vias de acesso	03
1.3.2. Histórico de ocupação	05
1.3.3. Hidrografia	06
1.3.4. Sinopse geológica	07
1.3.5. Geomorfologia	11
1.4. Geoquímica de águas e sedimentos.....	14
1.5. Objetivos e Metas.....	15
CAPÍTULO 2. METODOLOGIA	17
2.1. Estudo do uso e ocupação	17
2.1.1. Campo	17
2.1.2. O acervo cartográfico/fotográfico	15
2.1.3. Fotointerpretação	17
2.1.4. Tratamento dos dados	17
2.1.5. Análise e diagnóstico do meio físico	18
2.2. Precipitação	18
2.3. Coleta, preservação e tratamento das amostras	18
2.3.1. Generalidades.....	18
2.3.1.1. Amostras de águas superficiais para análise geoquímica	20
2.3.1.2. Amostras de águas superficiais para análise microbiológica.....	21
2.3.1.3. Amostras de sedimentos	22
2.4. Tratamento dos dados geoquímicos	24
2.5. Medida de descarga ou vazão.....	24
CAPÍTULO 3: USO E OCUPAÇÃO DO SOLO	27
3.1. Descrição das áreas	27
3.1.1. Área 1	27
3.1.2. Área 2.....	33

3.1.3. Área 3.....	36
CAPÍTULO 4: CARACTERIZAÇÃO AMBIENTAL DAS ÀGUAS.....	39
4.1. Regime pluviométrico	39
4.2. Vazão.....	41
4.3. Hidrogeoquímica	45
4.3.1. Considerações iniciais.....	46
4.3.2. Propriedades Físico-Químicas.....	47
4.3.2.1. Temperatura	47
4.3.2.2. Turbidez	49
4.3.2.3. Condutividade Elétrica (CE) e Sólidos Totais Dissolvidos (TDS)	50
4.3.2.4. Oxigênio Dissolvido	51
4.3.2.5. pH e Eh	51
4.3.2.6. Alcalinidade	52
4.3.2.7. Sulfato (SO_4^-) e cloreto (Cl)	53
4.3.3. Teores de elementos maiores – Cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}), sódio (Na^{2+}) e Potássio (K^+)	54
4.3.4. Teores de metais traço.....	55
4.3.4.1. Alumínio (Al).....	56
4.3.4.2. Ferro (Fe)	57
4.3.4.3. Bário (Ba) e Estrôncio (Sr)	58
4.3.4.4. Manganês (Mn).....	59
4.4. Análise microbológica.....	60
CAPÍTULO 5. CARACTERIZAÇÃO DOS SEDIMENTOS.....	63
5.1. Análise granulométrica.....	63
5.2. Análise geoquímica	64
5.2.1. Elementos maiores	65
5.2.1.1. Cálcio (Ca), magnésio (Mg)	65
5.2.1.2. Potássio (k) e Sódio (Na)	67
5.2.1.3. Ferro (Fe), manganês (Mn) e alumínio (Al).....	68
5.2.2. Metais traço	69
5.2.2.1. Arsênio (As), cobre (Cu) e zinco (Zn)	69
5.2.2.2. Cobalto (Co) e níquel (Ni)	71
5.2.2.3. Cromo (Cr) e vanádio (V)	72
5.2.2.4. Estrôncio (Sr) e bário (Ba).....	73
CAPÍTULO 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	75
6.1. Situação ambiental da bacia do ribeirão Caraça.....	75
6.1.1. Área 1	75

6.1.2. Área 2	76
6.1.3. Área 3	77
6.2. Conclusão	78
REFERÊNCIAS	81
ANEXOS	85

Lista de Figuras

Figura 1.1- Mapa de localização da região em estudo, contendo as principais vias de acesso à área estudada	04
Figura 1.2- Fotos mostrando os diversos tipos de ocupação do solo na bacia hidrográfica do ribeirão Caraça	06
Figura 1.3- Coluna estratigráfica do Quadrilátero Ferrífero	08
Figura 1.4- Mapa Geológico simplificado da área de estudo	09
Figura 1.5- Mapa hipsométrico da área de estudo	13
Figura 1.6- Relevo montanhoso do Maciço do Caraça.	14
Figura 2.1- Mapa de localização dos pontos de amostragem, evidenciando a área de estudo.	19
Figura 2.2- Foto representando o processo de amostragem de água.....	20
Figura 2.3- Fotos a e b mostrando Espectrofotômetro de Emissão Atômica.....	21
Figura 2.4- Foto representando o processo de amostragem dos sedimentos de fundo.....	23
Figura 2.5- Figura ilustrativa mostrando a metodologia utilizada para a medição de vazão com a equação utilizada em cada vertical	25
Figura 3.1- Mapa de uso e ocupação do solo e cobertura vegetal da década de 60.	28
Figura 3.2- Mapa de uso e ocupação do solo e cobertura vegetal da década de 70.	29
Figura 3.3- Mapa de uso e ocupação do solo e cobertura vegetal da década de 80.	30
Figura 3.4- Relevo montanhoso do Maciço do Caraça.	31
Figura 3.5- Vista geral do Parque do Caraça com ocorrência de mata.	32
Figura 3.6- Locais de ocorrência de campos rupestres no Parque do Caraça	33
Figura 3.7- Área coberta por capoeira, córrego Brumadinho, bacia do ribeirão Caraça.....	34
Figura 3.8- Foto mostrando a mina Francisco III.....	35
Figura 3.9- Antiga mineração de dunito, mostrando ocorrência de solo exposto na área 2.....	35
Figura 3.10- Classe campo gramíneo/pastagem na área A3.....	36
Figura 3.11- Parte alagada da planície do córrego do Engenho (Fonte: APA Sul 2004).....	37
Figura 3.12- Barragem de contenção de rejeitos pertencente a empresa ANGLOGOLD.	38
Figura 4.1- Hietograma média mensal da precipitação pluviométrica, a disposição das colunas evidencia o ciclo básico unimodal (a), hietograma anual - período 1983/2006 (b)...	40
Figura 4.2- Hietograma do total mensal do ano hidrológico estudado -09/2005 a 08/2006.....	40
Figura 4.3- Hidrograma hipotético para uma bacia hidrográfica.	41
Figura 4.4- Foto mostrando o ponto MM-24, localizado no ribeirão Caraça.....	42
Figura 4.5- Hidrograma do córrego Caraça.	43
Figura 4.6- Mineração Francisco III durante a estação de seca (a) e estação de chuva (b).	43
Figura 4.7- Hidrograma do córrego Quebra-Ossos.	43
Figura 4.8- Foto mostrando a barragem de contenção de rejeitos oriundos da mineração de ouro na estação de seca (a) e na estação de chuva (b).	44
Figura 4.9- Hidrograma do córrego Moinho de Olício.	44
Figura 4.10- Foto mostrando parcialmente a construção de uma estrada a montante do ponto MM-17.....	45
Figura 4.11- Hidrograma do córrego do Engenho... ..	45
Figura 4.12- Gráfico de temperatura das águas na área de estudo nas estações de inverno e verão.....	49
Figura 4.13- Variação de turbidez entre as estações de seca e chuva na bacia do ribeirão Caraça.....	49
Figura 4.14- Gráficos de condutividade elétrica (a) e sólidos totais dissolvidos (b) das águas na área de estudo nas estações de inverno e verão.....	50
Figura 4.15- Valores de oxigênio dissolvido determinados em amostras de águas de estações de seca e chuva.....	51
Figura 4.16- Gráficos de pH (a) e Eh (b) das águas da bacia do ribeirão Caraça nas estações de inverno e verão.	52
Figura 4.17- Valores de alcalinidade determinados em amostras de águas de estações de seca (inverno) e chuva (verão).	53

Figura 4.18- Variação de SO ₄ ⁼ (a) e Cl ⁻ (b) entre as estações de seca e chuva na bacia do ribeirão Caraça.	54
Figura 4.19- Concentrações cálcio (a), magnésio (b) de sódio (c) e potássio (d), em amostras de água da bacia do ribeirão Caraça nas estações de seca e chuva.	56
Figura 4.20- Concentrações de alumínio em amostras de águas de estações de seca e chuva.	57
Figura 4.21- Variação de ferro entre as estações de seca e chuva na bacia do ribeirão Caraça.	58
Figura 4.22- Concentrações de bário em amostras de água da bacia do ribeirão Caraça nas estações de seca e chuva.	59
Figura 4.23- Concentrações de manganês em amostras de água da bacia do ribeirão Caraça nas estações de seca e chuva.	60
Figura 5.1- Gráfico mostrando a variação granulométrica ao longo da bacia hidrográfica do ribeirão Caraça.....	63
Figura 5.2- Foto mostrando a barragem de contenção de efluentes e materiais particulados oriundos da mina Francisco III.....	64
Figura 5.3- Mapa geológico detalhado da bacia hidrográfica do ribeirão Caraça (Modificado de Codemig 2004).	66
Figura 5.4- Gráficos evidenciando as variações dos teores de cálcio (a) emagnésio (b), em amostras de sedimentos na estação chuvosa (verão).	67
Figura 5.5- Gráficos evidenciando as variações dos teores de potássio (a) e sódio (b) em amostras de sedimentos na estação chuvosa (verão)..	68
Figura 5.6- Distribuição gráfica dos teores de ferro (a), manganês (b) e alumínio (c) em amostras de sedimentos na estação chuvosa (verão)..	70
Figura 5.7- Distribuição gráfica dos de arsênio (a), cobre (b) e zinco (c) em amostras de sedimentos na estação chuvosa (verão).	71
Figura 5.8- Gráficos evidenciando as variações dos teores de cobalto (a) e níquel (b) em amostras de sedimentos na estação chuvosa (verão)..	72
Figura 5.9- Distribuição gráfica dos teores de cromo (a) e vanádio (b) em amostras de sedimentos na estação chuvosa (verão).	73
Figura 5.10- Gráficos evidenciando as variações dos teores de estrôncio (a) e bário (b) em amostras de sedimentos na estação chuvosa (verão).	73

Lista de Tabelas

Tabela 4.1- Limites permissíveis pela CONAMA 357 (2005) para águas das classes 1, 2 e 3 e parâmetros da bacia do ribeirão Caraça durante o verão e o inverno.....	48
Tabela 4.2- Limite de quantificação dos elementos analisados nas amostras de água por ICP-OES.	55
Tabela 4.3- Número Mais Provável (NMP) de coliformes totais e fecais nas águas da bacia do ribeirão Caraça.	60
Tabela 4.4- Padrões de coliformes em corpos d'água (Resolução CONAMA 357/05).....	61

Resumo

A bacia hidrográfica do ribeirão Caraça, com pouco mais de 120km², localiza-se no Município de Catas Altas, no Estado de Minas Gerais, Brasil. Apesar de existirem registros de presença humana desde 1708, não foi realizado até o momento nenhum trabalho ambiental de caracterização de seu meio físico.

Visando sanar esta lacuna, a presente pesquisa procurou realizar um estudo das características hidrossedimentológicas e geoquímicas na bacia hidrográfica do ribeirão Caraça e, concomitantemente, avaliar a influência antrópica nos recursos hídricos da região.

Inicialmente, foi realizado um estudo do padrão pluviométrico da região, que norteou a definição dos períodos de chuva e seca, fundamentais para a programação das coletas e medições. Assim, foram realizados dois períodos de campo, o primeiro entre os meses de agosto e setembro referentes à estação seca de 2005 e o segundo no mês de março de 2006, referente à estação chuvosa. Para a determinação da vazão, foram monitorados 21 pontos no ribeirão Caraça e seus principais tributários, 24 para o estudo hidroquímico, 18 para o estudo de sedimentos e 7 para análise de coliformes fecais.

Desta forma, para caracterizar a qualidade das águas foram realizados exames microbiológicos e analisados parâmetros hidroquímicos, sendo eles: temperatura, pH, Eh, turbidez, condutividade elétrica, sólidos totais dissolvidos (STD), alcalinidade, oxigênio dissolvido (OD), sulfato (SO₄⁻), cloreto (Cl⁻), metais principais e metais traço. Já para o estudo dos sedimentos foram escolhidos aqueles elementos que refletissem a assinatura geoquímica das rochas e que pudessem retratar a geologia local. Paralelamente, foi realizada uma análise temporal onde se procurou delimitar e identificar a cobertura e uso da terra na bacia do ribeirão Caraça nas últimas quatro décadas. Os resultados obtidos permitiram se efetuar a compartimentação da bacia em 3 áreas, com características distintas.

Na área **A1**, isenta em quase sua totalidade de interferência antrópica por abranger a totalidade do Parque Natural do Caraça, os únicos valores potencialmente prejudiciais à saúde se restringem ao alumínio na água. Esses teores anômalos estão associados às fontes litogênicas locais. Foi detectada a presença de bactérias do grupo coliformes, uma vez que não há lançamento de esgoto, acredita-se que a principal fonte de contaminação seria a presença de animais nessa área.

A área **A2**, ainda parcialmente preservada, nota-se um aumento de solo exposto, relacionado principalmente com a presença de minerações. Os elementos maiores Fe e Mn apresentaram concentrações elevadas nas águas e sedimentos à jusante da mina de dunito/serpentinó Francisco III. Os elementos maiores (Ca, Fe, Mg e Mn) e metais traço (Co, Cr, Cu, Ni, V e Zn) analisados nos sedimentos foram considerados anômalos para a bacia, podendo estar relacionados com litologia local. Já a presença de coliformes identificados deve-se principalmente a presença de criação de gado.

A área **A3** é a porção mais degradada da bacia. Nela, o grande aumento de solo exposto está relacionado principalmente com aglomerados urbanos, áreas de pastagem e agricultura. Há uma clara influência das atividades antrópicas na vazão monitorada no córrego Moinho de Olício, devido ao lançamento de efluentes da mineração e da retirada de água para abastecimento urbano. A presença de coliformes nas amostras está relacionada com o lançamento de esgoto. Concentrações altas de Fe e Mn foram identificadas nas águas e sedimentos à jusante da barragem de rejeitos oriundos da mineração de ouro Córrego do Sítio.

Cabe ainda destacar que este trabalho constituiu-se numa fase inicial de avaliação da região, identificando as principais atividades antrópicas e o reflexo das mesmas na quantidade e

qualidade dos recursos hídricos existentes. Espera-se que os resultados desta pesquisa sirvam de base para futuros estudos ambientais e, até mesmo, para projetos de gestão da bacia.

Abstract

The hydrographic basin of Caraça stream, with little more than 120 km², is located in the city of Catas Altas, in the state of Minas Gerais, Brazil. Although there are records of human presence since 1708, so far no environmental work of its physical features has been made.

Aiming to fill this blank, the present research tried to carry out a study on the anthropogenic influence in the hydrosedimentological and geochemical characteristics of the Caraça stream basin and simultaneously to evaluate the anthropic influence in the hydric resources of the region.

Initially, a study of the pluviometric standards of the region was made to orientate the definition of the periods of rain and draught, essential to program the collects and measurements. Thus, two periods of fields were carried out; the first between the months of August and September relative to the draught season of 2005 and the second in March 2006, relative to the rainy season. For the flow ratio determination, 21 stations were monitored along the stream and some of its tributaries, 24 for the hydrochemical study, 18 for sediment study and 7 for feces bacteria analysis.

This way, to characterize the quality of the water microbiological analyses were carried out together with hydrochemical parameters: temperature, pH, Eh, turbidity, electrical conductivity, total dissolved solids (STD), alkalinity, dissolved oxygen (OD), sulfate (SO₄²⁻), chloridedo (Cl⁻), main metals and trace metals. For the sediment characterization we chose the elements which represent the geochemical signatures, reflecting the local geology.

In parallel, a temporal analysis was made in order to limit and identify the cover and use of the land in Caraça stream basin over the past four decades. The results allowed us to divide the basin in three areas, with distinct characteristics.

In the area **A1**, whose main characteristic is the absence of anthropogenic influence, only Al was above the allowed value according to the Brazilian legislation (CONAMA 357/05). These anomalous contents are associated to local lithogenic sources. Feces bacteria were also detected and their occurrence may be explained by the presence of animals in the area.

In area **A2**, partially preserved, there is an increase in the soil exposure, connected mainly with the presence of mining companies.

The major elements Fe and Mn are in high contents in the water and sediments upstream the Francisco III mine (dunite/serpentine). Ca, Fe, Mg, Mn and trace elements (Co, Cr, Cu, Ni, V e Zn) may be considered to occur in anomalous values in the area, and may be related with the local lithology. The presence of feces bacteria is due to cattle in the region.

Area **A3** is the most destroyed portion of the basin. In it, the increase of the soil exposure is due to agriculture, grazing lands and agriculture. There is a clear anthropogenic influence on the monitored flow ratio in the Moinho de Olício stream, due to effluent discharges from the mining plants and water supply for the small cities. The occurrence of feces bacteria in water samples is related to sewage. High concentrations of Fe and Mn were found in water and sediments upstream the tailing dam of the gold mining company in the Sítio stream.

It is important to observe that this work took place in an initial phase of evaluation of the region, identifying the main anthropic activities and their reflection in the quality and quantity of existing hydric resources. It is hoped that the results of this research serve as reference for further environmental studies and even for projects of management of the basin.

CAPÍTULO 1

CONSIDERAÇÕES INICIAIS

1.1 – INTRODUÇÃO

Praticamente todos os elementos da natureza e a própria natureza se transformaram em “recursos”, ou melhor, mercadorias. A água é um “recurso” de valor inestimável para a humanidade, participando de praticamente todas as suas atividades, desde a alimentação até a geração de energia. Por estas características, a água é o recurso natural que o homem sempre buscou transportar, aprisionar e tratar para satisfazer suas necessidades.

No seu duplo aspecto, da quantidade e da qualidade, a água é um fator condicionado e condicionante do desenvolvimento econômico e social. A natureza finita da fonte renovável deste "recurso mineral" contém um aspecto crítico, que deve ser analisado sob a ótica do crescimento populacional. São poucos os outros recursos essenciais à vida, que estão restritos por limites tão bem definidos. A garantia de acesso à água em quantidade suficiente e com qualidade adequada vem adquirindo, cada vez mais, contornos estratégicos para a sobrevivência das nações. Os diversos usos da água, por vezes conflitante, faz com que se procurem formas de “administrá-la” com o “gerenciamento de recursos hídricos” ou “gestão de bacias hidrográficas”.

A legislação federal define impacto ambiental como toda alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades, que, direta ou indiretamente, afetem: a segurança e o bem-estar da população; as atividades sociais e econômicas; a biota; as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente; a qualidade dos recursos ambientais (CONAMA 2005).

Uma bacia hidrográfica compõe-se basicamente de um conjunto de superfícies vertentes e de uma rede de drenagem formada por cursos d’água que confluem até resultar um leito único no exutório. Significa, portanto, que os efeitos hidrossedimentológicos e geoquímicos de processos naturais ou antrópicos em um determinado ponto da bacia, podem propagar-se para áreas adjacentes. Mas, seus problemas ambientais não podem ser tratados isoladamente, pois envolvem não só o sistema fluvial, mas interações ambientais, econômicas e sociais inerentes à ocupação de toda a área de uma bacia.

A bacia do ribeirão Caraça possui características únicas que a transformam em um excelente objeto de pesquisa sobre o tema: “*influência das atividades antrópicas em uma bacia hidrográfica*”. Sua nascente se encontra em uma área preservada, isenta de contaminação antrópica e ao longo da bacia existem diversos problemas de ordem ambiental, tais como: a existência de áreas urbanas, com

desperdício e sub-aproveitamento dos recursos hídricos, contaminação e poluição dos mananciais, além de impactos e degradação relacionados com minerações (Figura 1.1). A grande maioria destes problemas advém do uso inadequado do solo, da expansão urbana desordenada, das carências de saneamento básico e das próprias limitações dos terrenos. Neste contexto, buscou-se com esse estudo fornecer um panorama histórico da ação antrópica no meio físico e avaliar o quadro ambiental atual da bacia do ribeirão Caraça, ressaltando os principais problemas. A análise da evolução do uso e impactos gerados pelas atividades mineradoras, ocupação urbana e suas influências nos diferentes parâmetros ambientais estudados, certamente contribuirão para um melhor entendimento de vários problemas existentes, além de poderem fornecer bases para estudos aplicados no futuro.



Figura 1.1 - Fotos mostrando os diversos tipos de uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do ribeirão Caraça.

1.2 – ANÁLISE AMBIENTAL DE BACIAS HIDROGRÁFICAS

Em janeiro de 1997, a Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei federal 9433/97) reconheceu a água como um bem finito, vulnerável e adotou a bacia hidrográfica como unidade de planejamento, como base de gerenciamento e de classificação dos recursos hídricos.

O conceito de bacias hidrográficas tem marcado as discussões voltadas para a busca de alternativas gerenciais que conduzam para a compatibilização do crescimento econômico com a proteção do ambiente, a partir do reconhecimento da bacia hidrográfica como uma unidade ideal para o estudo ambiental.

Tucci (1997) define a bacia hidrográfica no contexto hidrológico, sendo esta uma área natural de captação de água da precipitação que faz convergir os escoamentos para um único ponto de saída. Dunne & Leopold (1978) definem como a área da terra que drena água, sedimentos e materiais dissolvidos em direção a uma saída comum, o exutório. Já para Schiavetti & Camargo (2002), bacia hidrográfica envolve o conjunto de terras drenadas por um corpo d'água principal e seus afluentes e representa a unidade mais apropriada para o estudo qualitativo e quantitativo do recurso água.

A bacia hidrográfica denota o conceito de integração ambiental, pois a mesma contém informações físicas, biológicas e sócio-econômicas inter-relacionadas. Desse modo, Pollete (1993) ressalta que mudanças observadas nas comunidades bióticas, topografia e uso do solo resultantes da influência antrópica sobre uma bacia hidrográfica, devem servir de base para futuras propostas de planejamento ambiental de tal bacia.

É clara a importância da análise adequada dos recursos hídricos. A utilização dos mesmos em uma região requer, de início, a localização e o conhecimento desses recursos. Nesse sentido, a análise de bacias hidrográficas precisa ser trabalhada com uma visão ampliada e holística dos processos, o que incluiu a preocupação com o uso do solo, a preservação da biodiversidade, dentre outros (Pires & Santos 1995).

Uma série de abordagens metodológicas desenvolvidas para a análise de uma bacia hidrográfica tem sido utilizada para o Planejamento Ambiental. Naveh & Lieberman (1993) e Forman (1995) discutem com detalhes várias metodologias que servem para este propósito. O principal desafio para a análise de uma bacia hidrográfica é englobar todas as questões biofísicas e humanas que estão contidas na unidade e que têm implicações significativas para sua dinâmica, integrando as dimensões humanas, culturais, sócio-econômicas, entre outras (Schiavetti & Camargo 2002). Para Santos *et al.* (2000) as etapas necessárias à visão ampla da unidade de estudo e a tomada de decisões e ações de caráter ambiental, passam por um processo de compreensão das diferentes partes do ambiente através de levantamentos técnicos de solo, geologia, rede hídrica, usos do solo, vegetação e fauna associadas,

clima local e questões da ocupação humana na área.

Ou seja, para se obter um real diagnóstico de uma bacia hidrográfica, faz-se necessário a realização de análises ambientais baseadas em monitoramentos constantes ao longo de pelo menos um ano hidrológico. Somente com base em dados reais que as tomadas de decisão podem surtir os efeitos desejados. Na concepção deste trabalho, a metodologia empregada na análise ambiental consistiu no estudo: (i) análise temporal do uso e ocupação do solo/cobertura vegetal, (ii) fluxo superficial, (iii) geologia, (iv) geomorfologia, (v) análise de qualidade das águas. Através destes levantamentos é possível a produção do diagnóstico ambiental na bacia hidrográfica, fundamentando as ações de conservação, adequação, recuperação e desenvolvimento da mesma, de forma organizada, participativa e ambientalmente possível (Bigarella 2003).

1.3 – A BACIA DO RIBEIRÃO CARAÇA

1.3.1 – Localização e vias de acesso

A bacia hidrográfica do ribeirão Caraça está localizada no Município de Catas Altas, no Estado de Minas Gerais, Brasil, distando cerca de 75 km a oeste de Ouro Preto e aproximadamente 175 km a sudeste de Belo Horizonte (Figura 1.2). Situada entre as coordenadas UTM E 7770756 e 7791756; e N 653043 e 665043, ocupa uma área de aproximadamente 120,53 km², abrangendo parte de duas folhas topográficas 1:50.000 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE): Acuruí e Catas Altas. E parte da folha topográfica 1:25.000 do IBGE: Itabira (IBGE 2005).

O acesso à bacia hidrográfica do ribeirão Caraça, partindo de Ouro Preto pode ser realizado pelas rodovias BR-356 que liga Ouro Preto a Mariana e MG-129 que liga Mariana a Santa Bárbara. Outro acesso é feito pela rodovia BR-262 que liga Belo Horizonte a Catas Altas.

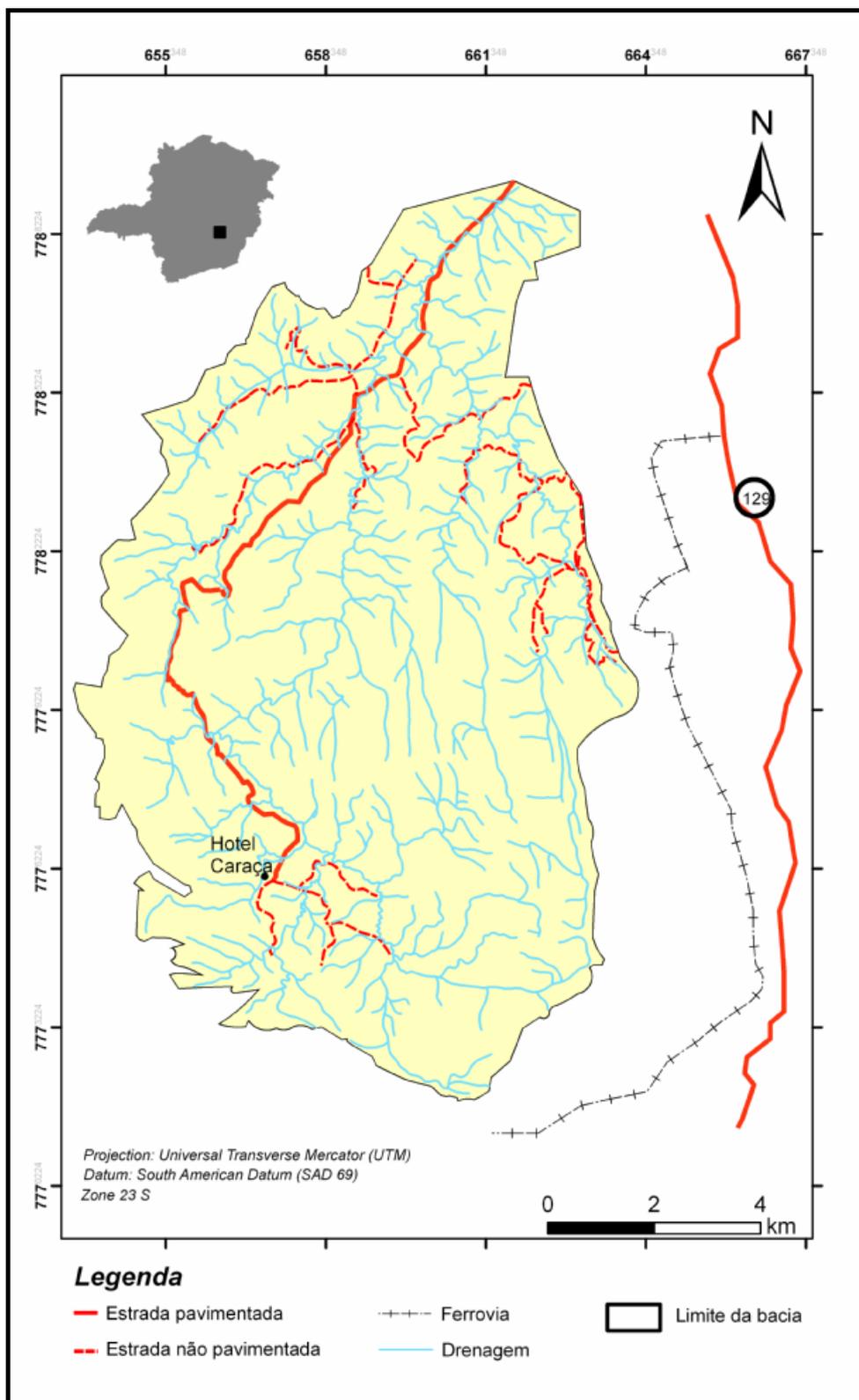


Figura 1.2 - Mapa de localização da região em estudo, contendo as principais vias de acesso à área estudada (Modificado de IBGE 2005).

1.3.2 – Histórico de Ocupação

O primeiro registro de presença humana na quase inacessível região do vale do ribeirão Caraça, data de 1708 quando bandeirantes se aventuraram pelas então inóspitas terras de Minas Gerais e se depararam com uma montanha cujos contornos lembram o perfil do rosto de um homem deitado. A ela deram o nome de Serra da “Cara do Gigante” ou da Caraça, denominação que se estenderia posteriormente para toda a região. Em 01/09/1994, através da Portaria 32, a PBCM conseguiu transformar 10.187,89 ha do Caraça em Reserva Particular do Patrimônio Natural (Decreto Nº 98.914 de 31/01/1990). O Parque Natural é composto por números sítios naturais, grutas, gargantas, córregos, riachos, rios, cachoeiras, matas e bosques.

A atividade garimpeira ocorre na região desde o século XVII, quando centenas de jazidas de ouro de aluvião começaram a ser descobertas nos córregos e ribeirões nas vizinhanças de Santa Bárbara e Catas Altas. Pode-se dizer que a abundância de riquezas minerais na região serviu como fator condutor na ocupação das terras, bem como no desenvolvimento da sua economia.

A partir de 1975 a empresa Valemix passou a explorar dunito/serpentinó na região. A mina Francisco III, localizada próximo ao córrego Quebra Ossos, começou a ser explorada em 1980, ficando desativada entre 2003 e 2005. Em 2000, a empresa ANGLOGOLD construiu no córrego Moinho de Olício uma barragem de contenção de rejeitos para reter efluentes oriundos da mina de ouro Córrego do Sítio.

O desenvolvimento de atividades agrícolas não é expressivo, possuindo caráter subsistente, juntamente com as atividades de pecuária para corte, suinocultura e avicultura. O artesanato é outra fonte de geração de renda, principalmente para os moradores da área rural. A produção de painéis de pedra sabão, licores, flores de palha, pintura em tecido, bordado e esculturas em madeira são as principais atividades na área artesanal. O comércio local fica concentrado nos serviços de fornecimento de gêneros alimentícios, pequenas lojas de roupa e bares.

O turismo fundamenta-se na valorização do patrimônio histórico e artístico do Santuário do Caraça (casario colonial, igreja, museu e manifestações culturais) e pelos locais de beleza cênica e ecológica (cachoeiras, minas, grutas).

1.3.3 – Hidrografia

O ribeirão Caraça nasce no Parque Natural do Caraça, localizado no município de Catas Altas, possui extensão aproximada de 16,8 km. Os principais afluentes pela margem direita são os córregos Quebra-Ossos e Brumadinho e pela margem esquerda são os córregos do Engenho e Moinho de Olício.

O rio Conceição, do qual o ribeirão Caraça é tributário, é um importante afluente da margem esquerda do rio Piracicaba, um dos principais formadores do rio Doce. A bacia do rio Doce, situada na região sudeste, compreende uma área de drenagem de 83400 km², dos quais 86% pertencem ao Estado de Minas Gerais e 14% ao Espírito Santo. As águas do rio Doce percorrem cerca de 8530 km até desaguar no oceano Atlântico na localidade de Regência, no Estado do Espírito Santo.

A bacia do ribeirão Caraça apresenta dois padrões de drenagem distintos, notadamente condicionados pela geologia/geomorfologia da região. Uma área com um padrão em treliça, com densidade de média a alta e canais curtos, localizada na porção mais a jusante da bacia, no domínio dos xistos do Grupo Nova Lima. Um outro padrão, sub-paralelo a reticular, de baixa densidade e com canais mais longos que no domínio anterior. Este padrão ocorre na região dos quartzitos do Grupo Caraça, onde as falhas e fraturas controlam a distribuição dos canais. Vale destacar que na região de predomínio dos diques máficos, inserida neste segundo domínio, este padrão tende a ficar levemente dendrítico.

1.3.4 – Sinopse Geológica

O Quadrilátero Ferrífero (QF) situa-se no extremo sul da Província de São Francisco (Almeida 1977, Almeida & Hasui 1984), ocupando uma área de aproximadamente 7000 km² na porção central do estado de Minas Gerais, conhecida desde o final do século XVII por suas riquezas minerais como, ferro, manganês, alumínio, dentre outras.

As unidades litoestratigráficas do QF são caracterizadas da base para o topo, pelos complexos metamórficos, Supergrupo Rio das Velhas, o Supergrupo Minas, Grupo Itacolomi e Sedimentos Recentes (ou Cenozóicos) (Dorr 1969, Schorscher 1978, Ladeira 1980, Rodrigues *et al.* 1993, Renger *et al.* 1994, Alkamin & Marshak 1998). A Figura 1.3 apresenta a coluna estratigráfica do QF, onde estão representadas estas unidades.

O enfoque para a geologia local aqui descrita tem como objetivo principal a caracterização das unidades geológicas que podem de forma direta promover alterações na dinâmica hidrogeoquímica da bacia hidrográfica do ribeirão Caraça. Estas alterações podem ser vistas de duas formas: a primeira considera a contribuição natural das unidades geológicas, pelo próprio intemperismo físico, químico e biológico; a segunda e mais importante, pela própria ação antrópica, como processo alterador e acelerador de modificações no ambiente.

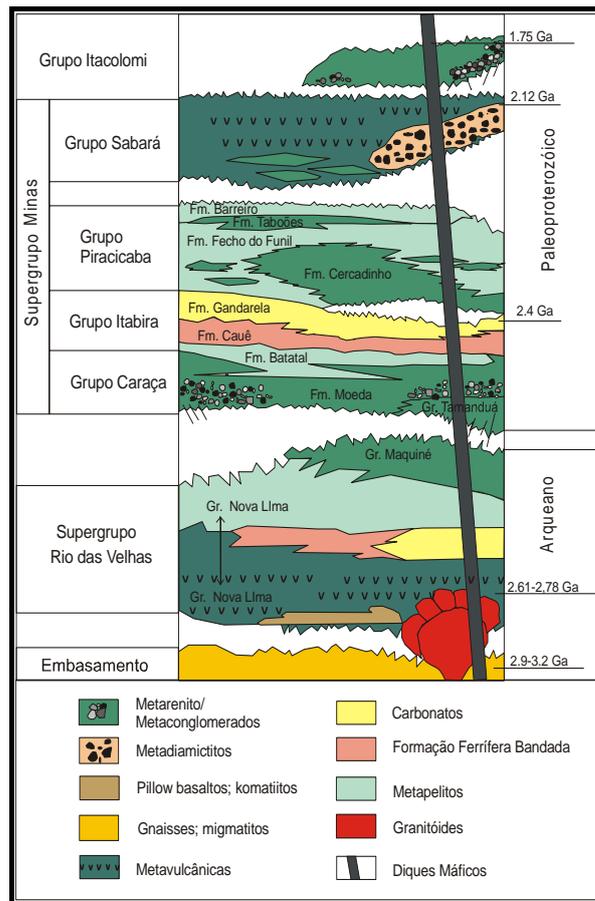


Figura 1.3 - Coluna estratigráfica do Quadrilátero Ferrífero (Modificada de Alkimin & Marshak 1998).

A bacia do ribeirão Caraça encontra-se inserida na porção nordeste do Quadrilátero Ferrífero, as unidades litoestratigráficas mais expressivas na área são os Supergrupo Rio das Velhas, Supergrupo Minas Rochas, Intrusivas e Coberturas Recentes (Figura 1.4).

Supergrupo Rio das Velhas

O Supergrupo Rio das Velhas é composto de rochas metassedimentares e metavulcânicas de evolução correlacionável ao Neo-Arqueano (Almeida 1977, Schorscher 1978), representado da base para o topo, nos grupos Nova Lima e Maquine, separados por uma discordância de baixo ângulo (Dorr *et al.* 1957).

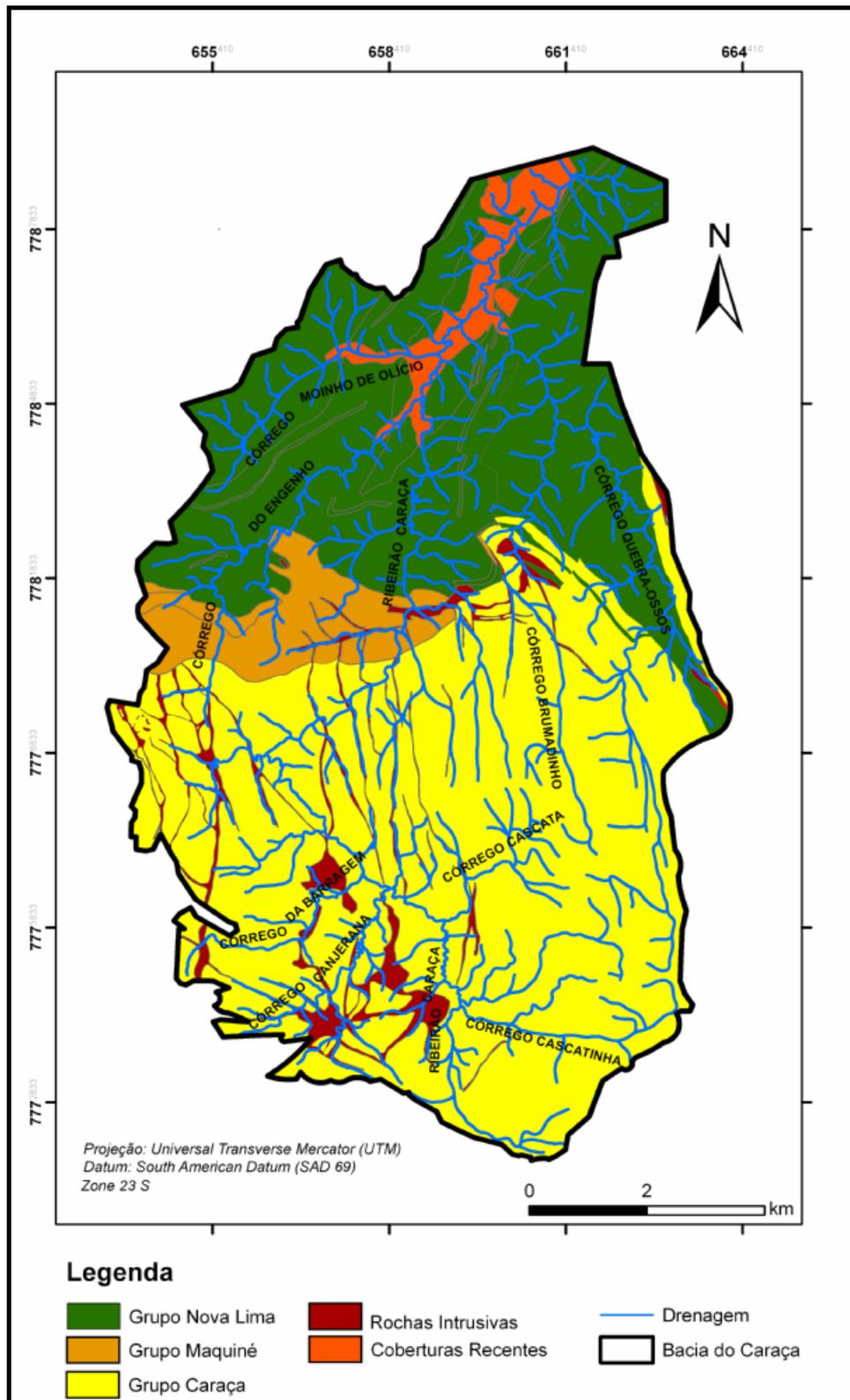


Figura 1.4 - Mapa geológico simplificado da área de estudo, contendo a rede de drenagem (Modificado de Codemig 2004).

Grupo Nova Lima

Grupo Nova Lima: Foi subdividido por Ladeira (1980) em três grandes unidades, da base para o topo:

- unidade metavulcânica: constituída por rochas máficas e ultramáficas, representadas por serpentinitos, esteatitos, talco xistos, anfibolitos, xistos anfibolíticos, metabasaltos e metatufos. Schorscher (1978) denominou esta unidade como Grupo Quebra-Ossos, a seção tipo localiza-se no vale do córrego Quebra Osso.

- unidade metassedimentar química: representada por xistos carbonáticos, “metacherts” e várias camadas de formação ferrífera bandada e filitos.

- unidade metassedimentar clástica: composta principalmente por quartzo xistos, quartzo filitos e quartzitos.

Grupo Maquiné

O Grupo Maquiné é dividido, da base para o topo, nas formações Palmital, constituída por quartzitos sericíticos, xistos, filitos quartzosos e metaconglomerados; e, Casa Forte, constituída principalmente de quartzitos sericíticos com intercalações de xistos, filitos e metaconglomerados (Dorr *et al.* 1957).

Supergrupo Minas

O Supergrupo Minas é o mais conhecido e estudado do Quadrilátero Ferrífero, principalmente pelas jazidas de ferro que possui. Compreende uma seqüência metassedimentar de idade paleoproterozóica, tendo sido dividido, da base para o topo, nos grupos Caraça, Itabira e Piracicaba (Derby 1906, Harder & Chamberlin 1915, Dorr 1969, Ladeira 1980, Marshak & Alkimim 1989, Alkimim & Marshak 1998).

Grupo Caraça

O Grupo Caraça, seqüência clástica basal, compreende duas formações, da base para o topo: Moeda, constituída por quartzitos sericíticos finos a grossos com lentes de filitos gradando a metaconglomerados; e, Batatal, constituída basicamente por filitos sericíticos e grafitosos e, subordinadamente, itabiritos, dolomitos e cherts (Rodrigues *et al.* 1993).

Grupo Itabira

O Grupo Itabira, seqüência metassedimentar química intermediária, é dividido da base para o topo nas formações: Cauê, constituída, principalmente, por itabiritos, itabiritos anfíbolíticos, itabiritos dolomíticos e lentes de quartzito, filito, dolomito e horizontes manganésíferos; e, Gandarela, constituída por rochas dolomíticas e ainda itabiritos, e filitos dolomíticos e filitos (Rodrigues *et al.* 1993).

Grupo Piracicaba

O Grupo Piracicaba, seqüência sedimentar terrígena sendo subdividido, da base para o topo, nas formações: Cercadinho, constituída por quartzitos e filitos ferruginosos, filitos prateados, tabiritos e dolomitos impuros; Fecho do Funil, constituída por filitos, filitos dolomíticos, dolomitos silicosos e quartzitos ferruginosos; Taboões, compreendida por quartzitos finos e maciços; Barreiro, constituída por filitos e filitos grafitosos; e Sabará, constituída por filitos, xistos, xistos cloríticos, metagrauvas, quartzitos, e, subordinadamente, metatufos, metacherts e formação ferrífera (Noce 1995).

Rochas Intrusivas

Na área estudo, ocorrem diversos corpos de rochas ígneas básicas de origens e idades diversas, englobados em uma única unidade geológica (Herz 1970). Estas rochas intrusivas ocorrem em forma de diques que foram intrudidos em fraturas e falhas, sendo que suas exposições são raras e descontínuas, encontrando-se, em geral, dando origem a um solo argiloso e avermelhado. Quando frescas, apresentam coloração esverdeada. Mineralogicamente, são constituídas por clorita, sericita, quartzo, apresentando ainda turmalina e zircão como acessórios (Rodrigues 1992).

Coberturas Recentes

As coberturas recentes que caracterizam a bacia hidrográfica como: aluvião, colúvios, canga e laterias. De maneira geral a canga é bastante porosa, resistente à erosão e ocorre em meio a sedimentos inconsolidados, em itabiritos, mas também em outras rochas, de forma menos comum (Alkimin e Marshak 1998).

1.3.5 – Geomorfologia

A ocupação e uso do solo estão, na maioria das vezes, condicionados às características geomorfológicas. As formas de relevo são consideradas para a construção de rodovias, ferrovias, instalação de hidrelétricas, unidades de conservação e até mesmo exploração mineral.

A geomorfologia do Quadrilátero Ferrífero é bastante distinta das áreas adjacentes, sendo sua conformação atual resultante da conjunção de muitas variáveis como estrutura, litologia, epirogênese, variações climáticas e erosão diferencial (Harder & Chamberlin 1915; Barbosa & Rodrigues 1965, 1967; Barbosa 1968, 1980; Varajão 1988).

Para o estudo da geomorfologia da área de estudo foi elaborado o mapa hipsométrico a partir do mapa topográfico em escala 1:50.000 (IBGE 2005), definindo-se faixas de altitudes a cada 150 m (Figura 1.5). Segundo Medina *et al.* (2004) a área de estudo pode ser dividida em duas unidades morfoestruturais: Maciço do Caraça e Depressão Marginal do Rio Piracicaba.

A unidade morfoestrutural Maciço do Caraça (Figura 1.6) é o aspecto mais marcante na área de estudo, representa as porções do território com altitudes superiores a 900 m e declividades acentuadas. As superfícies de topo se apresentam estruturadas por rochas do Supergrupo Minas. A unidade é sustentada por quartzitos e filitos do Grupo Caraça, base do Supergrupo Minas. O aspecto morfológico mais relevante dessa unidade são os quartzitos, em geral, condicionados por falhas (Medina *et al.* 2004). As maiores elevações estão entre 1200 m e 2070 m (Figura 1.5). A queda de altitudes de oeste para leste reflete-se, também, na morfologia da rede hidrográfica, observada através da direção oeste-leste dos cursos principais e confluência dos mesmos a leste da área de estudo (Figura 1.4).

A outra unidade morfoestrutural é denominada Depressão Marginal do Rio Piracicaba, ocorrendo em diferentes grupos e litologias, destacando-se pelas notáveis planícies aluviais, sendo zonas de aporte de materiais provenientes dos relevos maiores, representadas pelos fundos dos vales mais abertos. Percebemos este tipo de unidade nos vales dos córregos do Engenho, Moinho de Olício, Quebra-Ossos e ribeirão Caraça. As faixas de altitude estão abaixo de 990 m.

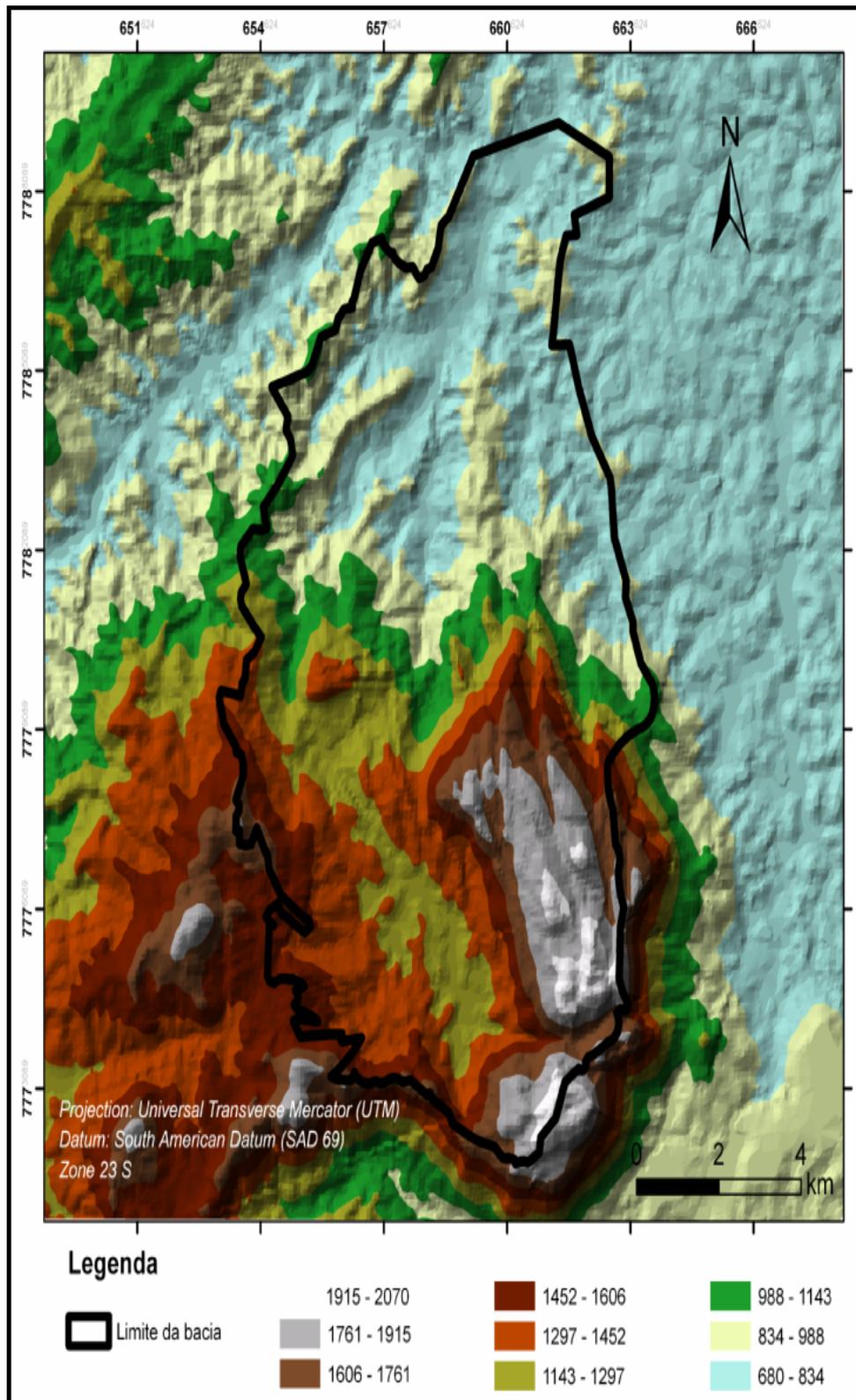


Figura 1.5 - Mapa hipsométrico da área de estudo (Modificado de IBGE 2005).

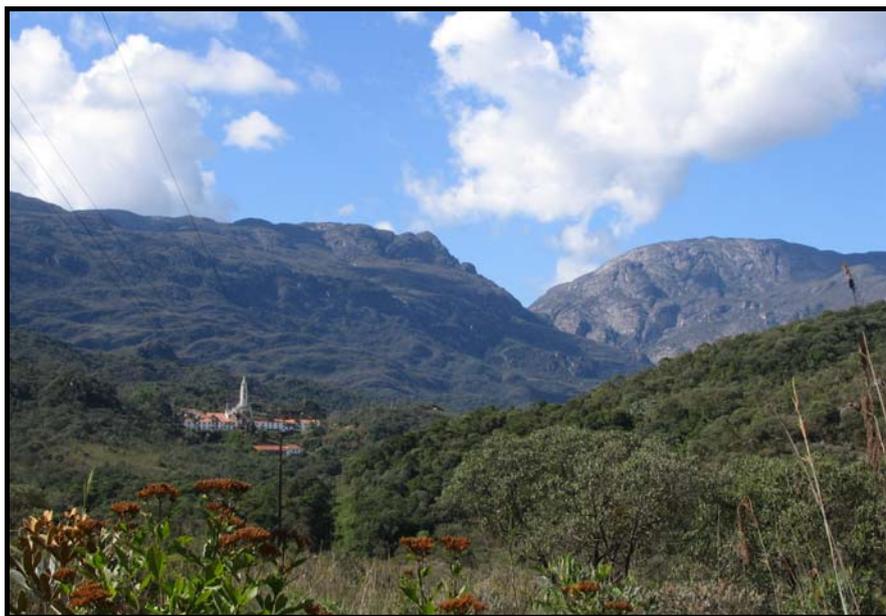


Figura 1.6: Relevo montanhoso do Maciço do Caraça.

1.4 – GOQUÍMICA DE ÁGUAS E SEDIMENTOS

O lançamento de cargas de metais traço de origem antrópica tem causado uma crescente contaminação nos mananciais hídricos. O Quadrilátero Ferrífero constitui uma das regiões de maior atividade de mineração do Estado de Minas Gerais, o que contribui para a grande quantidade de problemas de degradação ambiental. Por meio de pesquisas anteriormente realizadas (Eleutério 1997, Matsumura 1999, Oliveira 1999, Andrade 2000, Costa 2001, Basílio 2005, Parra 2006), foi possível determinar a influência das atividades de mineração na degradação ambiental e contaminação de vários rios, lagos, barragens e aquíferos da região. Até o presente momento, não existem dados sobre a real situação geoambiental dos cursos na bacia hidrográfica do ribeirão Caraça.

Vale destacar os trabalhos de Matsumura (1999) e Costa (2001) onde foram estudadas barragens de rejeitos de minerações localizadas próximas a área de estudo; além do estudo de Parra (2006), por ter sido realizado na bacia hidrográfica do rio Conceição, rio do qual o ribeirão Caraça é um dos tributários.

Matsumura (1999) estudou os parâmetros físico-químicos da qualidade da água na barragem Santarém, pertencente à mineração Samarco. Os dados sugerem que existe uma fonte antropogênica de contaminação para os elementos cromo, manganês, cobre, ferro e níquel.

Costa (2001) desenvolveu a pesquisa no rio Gualaxo do Norte, o qual recebe os efluentes das minas Timbopeba, Samarco, Capanema, Samitri e de garimpos de ouro. Destacam-se nos resultados, altos valores de alcalinidade, sulfato, sódio, condutividade elétrica e sólidos totais nas águas,

associados às atividades antrópicas na área de estudo. Foram também encontrados elevados teores de ferro e manganês, atribuídos a fontes litogênicas e associadas às atividades garimpeiras.

Mediante a análise química dos sedimentos estudados por Parra (2006) foram determinadas altas concentrações dos elementos zinco, cobre e arsênio a jusante do rio, estando relacionados com a exploração de ouro na região. Para o autor, o aumento das concentrações de cálcio, ferro, alumínio, magnésio e potássio, está relacionado com o processo de intemperismo e lixiviação dos litotipos da região. As fontes de alumínio, potássio e magnésio são os xistos do Supergrupo Rio das Velhas, o cádmio e chumbo são oriundos dos veios sulfetados deste Supergrupo, já o cálcio, magnésio e ferro provem dos itabiritos e mármoreos do Supergrupo Minas.

Além destes trabalhos acadêmicos, merece destaque o projeto APA Sul RMBH (2004), situando-se em grande parte dentro da área de influência da bacia do rio das Velhas e que inclui parte da bacia do ribeirão Caraça. Consistiu do levantamento geoquímico, geológico, geomorfológico e uso da terra. Alguns parâmetros físico-químicos de qualidade de água, metais traço nas águas e sedimentos foram analisados em córregos da bacia do ribeirão Caraça, estabelecendo as fontes naturais e as antrópicas, tais como a influência da geologia, das atividades de mineração e da ocupação humana. Dessa forma, foram verificadas concentrações de ferro, manganês e arsênio nas águas acima dos limites definidos pelo CONAMA (2005). Nas amostras de sedimentos, os elementos traços, arsênio, cádmio, cobre e cromo, bem como os elementos maiores, ferro e manganês, apresentaram elevados teores, apontando contribuição tanto natural quanto antrópica.

1.5 – OBJETIVOS E METAS

O objetivo principal dessa dissertação foi avaliar a influência de diversas atividades antrópicas e dos diferentes tipos de uso e ocupação do solo nas características hidrossedimentológicas e geoquímicas de uma bacia hidrográfica. Para tal foi escolhida a bacia do ribeirão Caraça.

Nesse intuito, buscou-se apresentar um diagnóstico ambiental da situação atual da bacia hidrográfica do ribeirão Caraça, a partir das seguintes metas específicas:

- Estudo do uso e ocupação do solo na área de estudo;
- Quantificação das vazões líquidas em diversos pontos do ribeirão Caraça e seus afluentes de forma a se realizar uma análise hidrológica da bacia;
- Monitoramento hidrogeoquímico sazonal de parâmetros físico-químicos de qualidade da água, tais como: temperatura, pH, Eh, oxigênio dissolvido, condutividade elétrica, sólidos totais dissolvidos, turbidez, alcalinidade, sulfato e cloreto;

- Quantificação de elementos maiores e metais traço em águas e sedimentos;
- Verificar através da determinação dos NMP de bactérias do grupo coliformes, as condições sanitárias das águas da bacia do ribeirão Caraça.

CAPÍTULO 2

METODOLOGIA

2.1 – ESTUDO DO USO E OCUPAÇÃO

Este estudo procurou delimitar e identificar a cobertura e uso da terra na bacia do ribeirão Caraça. Para atingir tais metas, utilizou-se das seguintes ferramentas:

2.1.1 – Campo

Os serviços de campo constituíram-se na principal etapa do trabalho realizado. Com o auxílio de um sistema de posicionamento global – GPS, foram realizadas observações pontuais e regionais. O levantamento de campo contemplou toda a área de estudo e foi determinante para elucidação de padrões de uso da terra.

2.1.2 – O acervo cartográfico/fotográfico

- Mapa topográfico, nas escalas 1:50.000 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), folhas topográficas Catas Altas e Acuruí; e a folha topográfica 1:25.000 de Itabira (IBGE 2005);
- Mapa geológico na escala 1:25.000 (Codemig 2004);
- Fotografias aéreas nas escalas 1:10.000, 1:40.000, 1:60.000, dos anos 1986, 1970 e 1962, respectivamente.

2.1.3 – Fotointerpretação

As análises e interpretações das fotografias aéreas foram feitas no laboratório de Sensoriamento Remoto do DEGEO/UFOP, estabelecendo os padrões de drenagem e identificando a evolução temporal da ocupação do meio físico na bacia hidrográfica do ribeirão Caraça.

2.1.4 – Tratamento dos dados

As bases cartográficas compiladas e produzidas foram analisadas através do *software Arcview 9.1*[®] e os dados coletados em campo tratados e integrados. Basicamente, as informações foram categorizadas e dispostas em *layers* (camadas).

As fotografias interpretadas foram *scaneadas*, georeferenciadas individualmente, o que tornou possível executar sobreposições, de forma que em todos os mapas, toda localização foi precisamente ajustada às localizações correspondentes.

2.1.5 – Análise e diagnóstico do meio físico

Os produtos obtidos e tratados nas etapas anteriores retratam as características básicas do meio físico, do meio antrópico e parcialmente do meio biótico. Os mapas temáticos produzidos foram: Drenagem da bacia do Ribeirão, uso e ocupação das décadas 1960, 1970 e 1980.

2.2 – PRECIPITAÇÃO

A partir dos dados de um pluviômetro instalado no Parque Natural do Caraça (02043059), foi possível fazer o estudo da precipitação, assumindo que a área em estudo formava uma região homogênea. A empresa responsável pelo monitoramento é a CEMIG, que faz medições diárias desde 1983. Os dados foram levantados no banco de dados da Agência Nacional de Águas, correspondendo à série histórica de 1983 e 2006 (ANA 2006).

2.3 – COLETA, PRESERVAÇÃO E TRATAMENTO DAS AMOSTRAS

2.3.1 – Generalidades

Os pontos de amostragem da água e dos sedimentos foram determinados depois do reconhecimento e da investigação preliminar da bacia, considerando-se as condições favoráveis à coleta assim como acesso e profundidades das águas. Foi realizado um estudo geológico da área, a fim de se conhecer a estrutura geológica sob a qual o sistema se instalou, tentou-se coletar as amostras antes da confluência entre duas drenagens e após esta confluência, visando conhecer a contribuição geoquímica de cada drenagem, sempre houve a preocupação de se amostrar antes e depois de cada atividade antrópica identificada. Desta forma, foram escolhidos 24 pontos, sendo 5 no ribeirão Caraça e 19 em seus principais tributários (Figura 2.1).

As nomenclaturas utilizadas, coordenadas UTM, descrição e localização dos pontos amostrais encontram-se no Anexo I e na Figura 2.1.

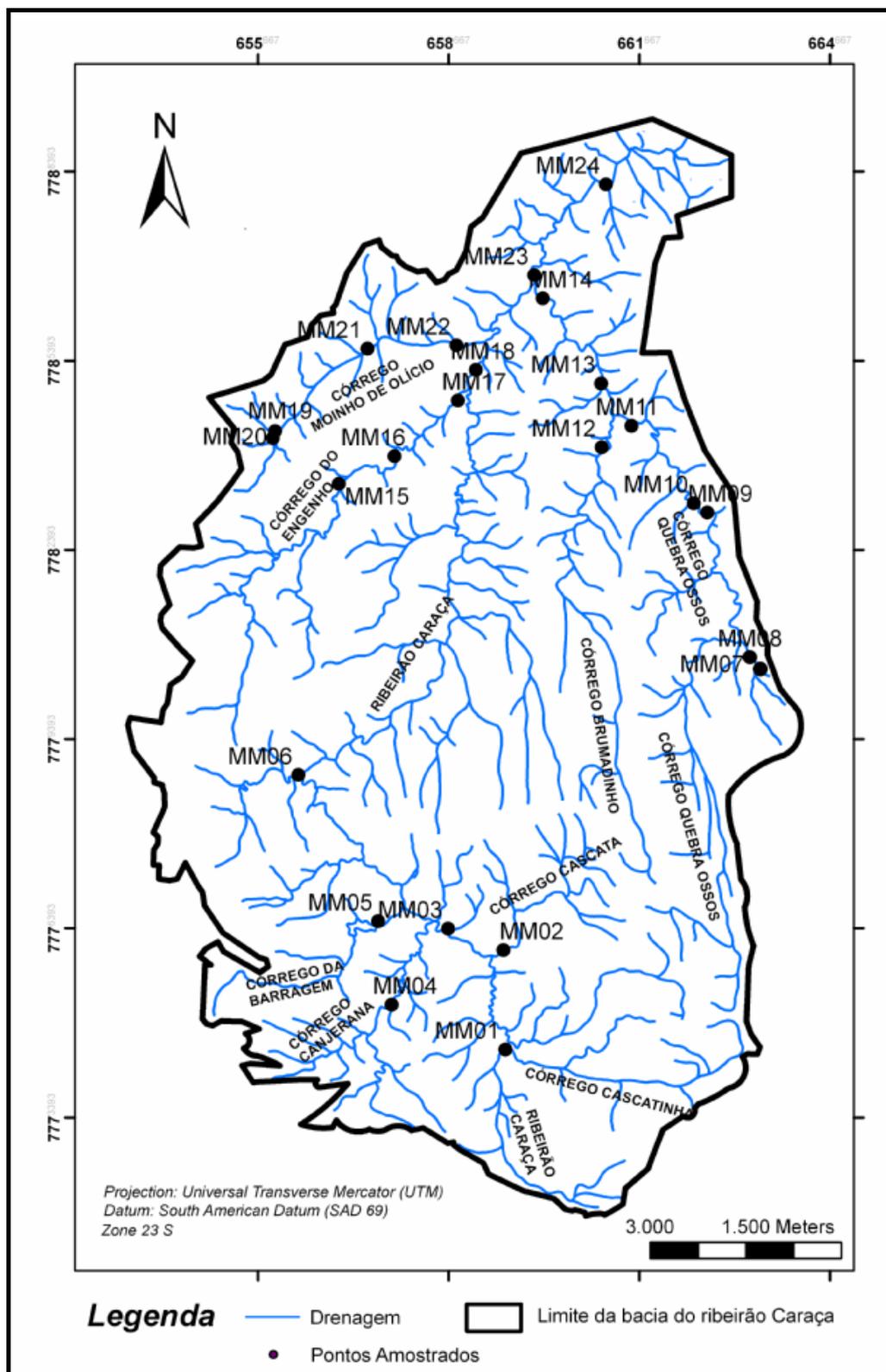


Figura 2.1 - Mapa de localização dos pontos de amostragem, evidenciando a área de estudo (Modificado de IBGE 2005).

2.3.1.1 – Amostras de águas superficiais para análise geoquímica

Para o estudo hidroquímico, foram coletadas 24 amostras entre os meses de agosto e setembro referentes à estação seca de 2005 e 23 amostras no mês de março referentes à estação chuvosa de 2006.

Para o armazenamento das amostras foram utilizados frascos de plástico (polietileno) devido à menor adsorção de íons metálicos, à inércia a todos os constituintes, com exceção a pesticidas, óleos e graxas e, também, devido ao menor preço, ao pequeno peso e à alta resistência à ruptura (Agudo 1987). Por tratar-se de frascos e tampas virgens, os mesmos foram previamente limpos apenas com água deionizada.

Durante a coleta, foram evitados locais com águas estagnadas e próximos à margem (Figura 2.2). Realizou-se primeiramente a lavagem dos frascos com água local (ambiente), posteriormente, realizou-se a coleta de água dispondo a boca do frasco contra a corrente, evitando a presença de materiais sólidos na amostra de água.



Figura 2.2 - Fotos representando o processo de amostragem de água.

Em cada ponto, coletaram-se duas amostras de água: uma em um frasco de 1L para a análise de turbidez, alcalinidade, cloreto e sulfato e outra em frasco de 50mL para análise de metais. Essa última, foi filtrada com membrana de 0,45 μ m e acidificada com ácido nítrico até atingir o pH em torno de 3. Esse procedimento foi adotado a fim de se ressolubilizar os metais da solução evitando a adsorção de metais junto às paredes dos recipientes (Creed *et al.* 1995).

O pH, Eh, a temperatura, a condutividade elétrica e os sólidos totais dissolvidos foram determinados *in situ*, utilizando-se um equipamento multiparâmetro portátil ULLTRAMETER™ 6P. O oxigênio dissolvido foi medido por um Oxímetro Handylab, modelo OXI 1/SET. A medição desses parâmetros foi feita mergulhando-se, inicialmente, o aparelho na água, para se lavar o local onde a mesma seria coletada, e posteriormente, para se recolher um pouco dessa água, e torna-se, imediatamente, a leitura de cada parâmetro.

Imediatamente após a coleta, as amostras de água foram levadas ao laboratório de Geoquímica Ambiental (LGqA) do DEGEO/UFOP e armazenadas em um refrigerador. Em laboratório, foi determinada a turbidez, utilizando Turbidímetro marca Micronal, modelo B250. As análises de alcalinidade e cloreto foram determinadas por titulometria e sulfato pelo método turbidimétrico, seguindo o Procedimento Operacional Padrão (POP) do LGqA, baseado nas metodologias propostas por Greenberg *et al.* (1992). Para determinação de cloreto e sulfato as amostras foram previamente filtradas utilizando membrana de 0,45 µm e sistema a vácuo, a fim de evitar influência da turbidez do material particulado na análise.

As análises dos metais e metalóides (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Fe, Mn, Al, As, Ba, Be, Cd, Co, Cr, Cu, Li, Mo, Ni, Sc, Sr, V, Y, Zn) foram efetuadas por meio do Espectrofotômetro de Emissão Atômica com Fonte Plasma, marca *Spectro*/ modelo *Ciros CCD* com Visão Radial (Figura 2.3).

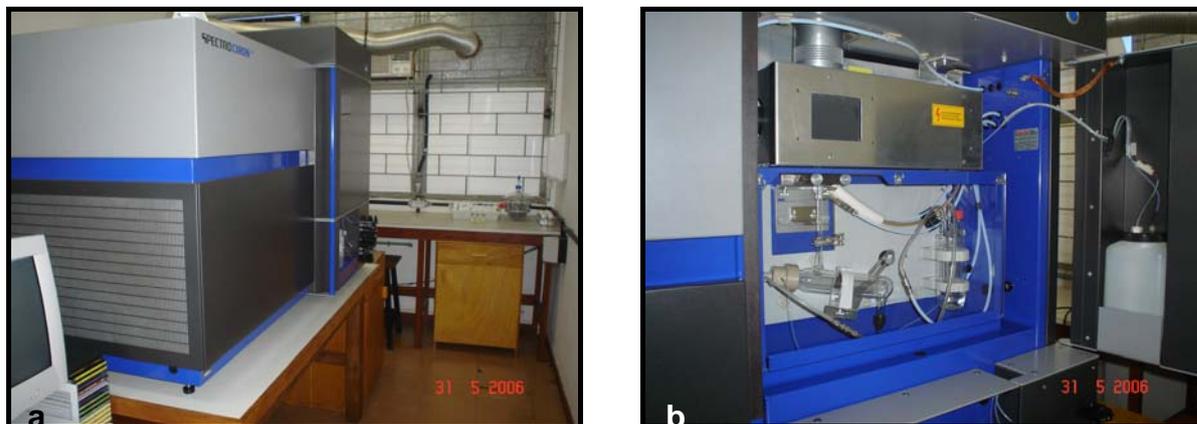


Figura 2.3 - Fotos a e b mostrando Espectrofotômetro de Emissão Atômica com Fonte Plasma, marca Spectro, modelo Ciros CCD com Visão Radial.

2.3.1.2 – Amostras de águas superficiais para análise microbiológica

Para a análise de coliformes foram coletadas 7 amostras de águas no mês de maio de 2006. A seleção dos pontos a serem amostrados foi feita em relação ao uso e ocupação. Foram escolhidos pontos próximos à captação de água e pontos onde a água é destinada a balneabilidade.

Para a coleta das amostras foram utilizados frascos de vidro de 250 mL previamente autoclavados. Imediatamente após a coleta, as amostras de água foram levadas ao laboratório de Microbiologia do ICEB/UFOP.

Para o presente trabalho foi escolhido o método convencional da fermentação em tubos múltiplos, baseado na habilidade das bactérias coliformes em produzir gás a partir da fermentação da lactose, conforme procedimento técnico usual (Greenberg *et al.* 1992). Foram utilizados três meios de cultura de acordo com cada fase do teste: caldo Lauril Sulfato de Sódio (fase presuntiva para coliforme total), caldo Verde Brilhante (fase confirmatória para coliforme total) e caldo EC – *Escherichia coli* (fase confirmatória para coliformes fecais).

Foram preparados 9 tubos de ensaio, sendo que aos 3 primeiros foram adicionados 0,1 mL da amostra de água e 10 mL do caldo Lauril em concentração simples, aos 3 subseqüentes 1 mL da amostra de água e 10 mL do caldo Lauril em concentração simples e aos 3 últimos foram inoculados 10 mL da amostra de água e 10 mL do caldo Lauril em concentração dupla, todos contendo tubos de Durhan invertido. Os tubos foram incubados a 35°C durante 24 horas. Dos resultados positivos evidenciado pela produção de gás nos tubos de Durhan, retirou-se uma alçada de cada tubo que foi semeada em tubos de ensaio, todos contendo tubos de Durhan invertido e 8 mL do caldo Verde Brilhante. Sendo estes também incubados a 35°C durante 24 horas. A positividade, assim como na fase anterior, foi confirmada pela produção de gás nos tubos de fermentação, indicando a presença de bactérias do grupo coliforme. As amostras positivas foram repicadas para tubos contendo 8 mL de caldo EC e tubos de Durhan invertido, e em seguida os tubos foram incubados em banho-maria a 45°C por 24 horas. A confirmação da presença de coliformes fecais foi obtida a partir da produção de gás nos tubos.

Quando tubos múltiplos são usados na técnica de fermentação, o resultado das análises da diluição e replicação dos tubos é relatado em termos de número mais provável (NMP) dos organismos presentes. Este número baseia-se em fórmulas de probabilidade, sendo uma estimativa da densidade média de organismos presentes na amostra, utilizando-se a tabela específica de cálculos conforme Greenberg *et al.* (1992).

2.3.1.3 – Amostras de sedimentos

Segundo documento da CETESB (1993), geralmente os sedimentos de interesse ambiental são aqueles que permanecem nas camadas superficiais e possuem granulometria fina (<0,2 mm). Desta forma, foram coletados os sedimentos relativos à camada superficial de sedimentação (primeiros 10 cm de profundidade).

Para o estudo sedimentológico, foram coletadas 18 amostras no mês de março referentes à estação chuvosa de 2006. Foram utilizados coletores de polietileno manufaturados no LGqA e sacos plásticos de boca larga, que foram imediatamente selados após a coleta (Figura 2.4). Após a coleta, as amostras de sedimentos foram levadas para o laboratório e secas no interior de uma capela utilizando lâmpadas de 200 W, para manter o aquecimento entorno de 40°C, afim de evitar perda de elementos voláteis (Förstner 2004).



Figura 2.4 - Foto representando o processo de amostragem dos sedimentos de fundo.

Depois de secos, as amostras de sedimentos foram desagregadas utilizando gral e pistilo, e separadas em duas frações granulométricas, uma > 2 mm e outra < 2 mm. As amostras < 2 mm foram quarteadas e separadas alíquotas que posteriormente seriam utilizadas para análise granulométrica e análise de metais.

A análise granulométrica foi feita por peneiramento, utilizando as malhas: 35 mesh, 70 mesh, 100 mesh, 230 mesh, e < 230 mesh, obtendo-se, respectivamente, as frações granulométricas 0,5 mm, 0,21 mm, 0,149 mm, 0,063 mm e $< 0,063$ mm.

Os elementos maiores foram analisados por Espectrometria de Fluorescência de RX. Para a sua determinação 0,5 g de amostra foi fundida, a 1200°C, com 3,0 g de metaborato de lítio, 3,0 g de tetraborato de lítio e 50 mg de brometo de lítio. As leituras foram realizadas com um equipamento Philips modelo PW2540.

Para a extração dos metais traço, utilizou o método de Digestão Total (Moutte 2003). Amostras de sedimentos com granulometria < 2 mm foram pulverizadas e pesaram-se cerca de 0,25 g

desse sedimento no interior de um frasco SAVILEX de peso conhecido. Em seguida, foram adicionados 3 mL de ácido clorídrico 10 mol/L seguido de 1 mL de ácido nítrico 10 mL/L. Foram adicionados 2 mL de ácido fluorídrico 40% p/p, deixando o frasco aberto na placa aquecedora a cerca de 140°C até a secura. Novamente, foram adicionados 2 mL de ácido fluorídrico 40% p/p, o frasco foi fechado e colocado na placa aquecedora a cerca de 140°C por cerca de 30 horas. O frasco foi retirado da placa e após o resfriamento foi aberto. Em seguida, o mesmo foi colocado na placa aquecedora a cerca de 110°C até a secura. Foram adicionados 2 mL de ácido nítrico 10 mol/L e o frasco foi colocado na placa aquecedora, mantendo a mesma temperatura até a secura. Novamente, foram adicionados 2 mL de ácido nítrico 10 mol/L e o frasco aberto foi colocado na placa aquecedora, mantendo a mesma temperatura, até a secura. Foi adicionados 2 mL de ácido clorídrico 10 mol/L e o frasco aberto foi colocado na placa aquecedora à cerca de 110°C até a secura. O frasco foi retirado da placa e foram adicionados 25 mL de ácido clorídrico 2 mol/L. O frasco foi fechado e após agitação foi colocado na placa aquecedora a cerca de 100°C por 2 horas. Após o resfriamento, o frasco foi pesado em balança analítica. Com a solução resultante determinaram-se os teores dos elementos: Al, As, Ba, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, Li, Mg, Mn, Mo, Ni, Pb, Sc, Ti, V, e Zn via Espectroscopia de Emissão Atômica com Plasma Indutivamente Acoplado (ICP-OES).

2.4- TRATAMENTO DOS DADOS GEOQUÍMICOS

Os dados coletados em campo e os resultados das análises laboratoriais foram tratados para posterior confecção de gráficos, utilizando o *software Origin 6.1*[®].

2.5 – MEDIDA DE DESCARGA OU VAZÃO

Para a determinação da vazão foram monitorados 21 pontos do ribeirão Caraça e seus principais tributários. A princípio, o monitoramento da vazão foi proposto para ser efetuado mensalmente. Porém, devido às dificuldades encontradas, foram realizadas 4 medições ao longo do ano hidrológico estudado. Foram escolhidos trechos em que a corrente permanecesse paralela às margens, evitando as curvas e privilegiando os trechos retos. Os dados de vazão foram anotados em planilhas específicas. No fim de cada monitoramento os valores eram transcritos para planilha Excel e tratados.

Descarga é definida como volume de água que passa por determinada seção na unidade de tempo. A vazão (Q), sendo o produto da média do fluxo de uma seção (v) pela área (A) desta seção ($Q = v * A$), pode ser determinada indiretamente por meio destas variáveis (Custodio & Llamas 1976).

A velocidade (v) da corrente foi determinada com a ajuda de um micromolinete fluviométrico modelo FP201 Glogal Flow Probe, a 60% de profundidade, assumindo que esta representa a velocidade média de toda a vertical (Chow 1959), sendo medida em verticais diferentes ao longo da seção transversal. Em cada parcela de influência da vertical medida foi calculada a vazão, sendo que a soma das descargas das diversas parcelas representa a vazão total da seção (Figura 2.5). Para medir a profundidade e a distância da seção transversal utilizou-se uma trena.

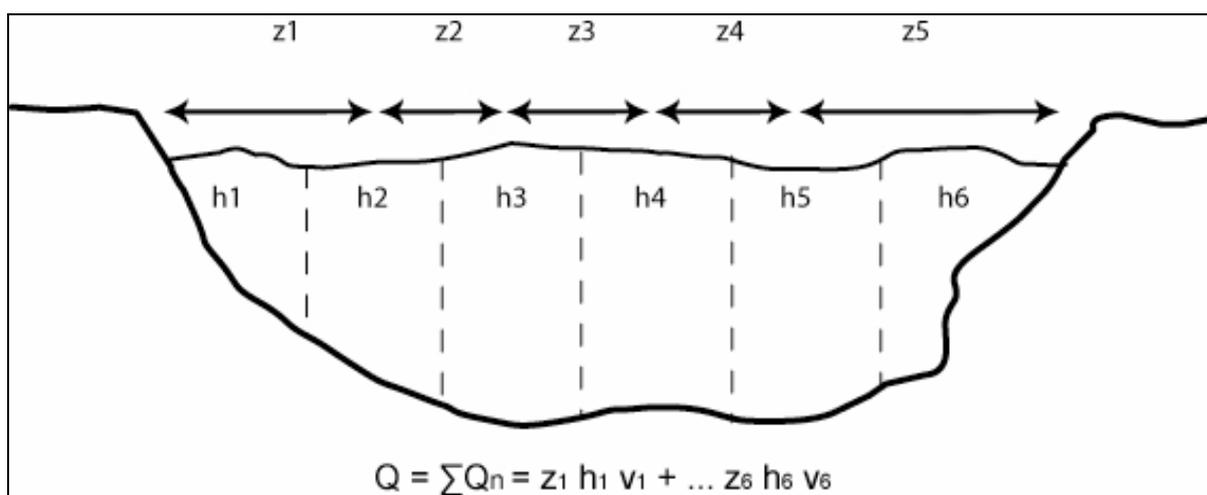


Figura 2.5 - Figura ilustrativa mostrando a metodologia utilizada para a medição de vazão com a equação utilizada em cada vertical.

CAPÍTULO 3

USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

O presente capítulo refere-se ao levantamento da cobertura e uso da terra da bacia do ribeirão Caraça, abrangendo, também, alguns aspectos de vegetação e sua distribuição em relação ao relevo regional.

A consideração do revestimento vegetal e do uso do solo de uma bacia hidrográfica tem importância na análise de fenômenos fluviais e sedimentológicos, principalmente pela sua influência na infiltração, no escoamento superficial e, conseqüentemente, no carreamento de materiais para os rios. Nesse sentido, o estudo de cobertura e uso da terra buscou, também, identificar e analisar os elementos que influenciam diretamente o processo de degradação e, por sua vez, as implicações na auto-sustentabilidade das atividades socioeconômicas nas áreas ocupadas da região.

A bacia foi dividida em 3 áreas de acordo com o uso e ocupação do solo que serão descritas a seguir. Os mapas de uso e ocupação do solo e cobertura vegetal das décadas de 60, 70 e 80 estão representados na Figuras 3.1, 3.2 e 3.3. O estudo das fotografias aéreas juntamente com o trabalho de campo resultou na identificação de classes de cobertura vegetal e uso do solo. Devido à qualidade da resolução e escalas das fotografias aéreas não foi possível diferenciar todos os tipos de vegetação existentes, por este motivo, foi destacado nos mapas o principal tipo de vegetação em cada área. Já através do trabalho de campo, foi possível dividir a vegetação e o uso e ocupação do solo nas seguintes classes: *Mata, Campo Rupestre, Capoeira, Campo Graminoso, Pastagem, Agricultura, Aglomerados Urbanos, Mineração e Solo Exposto.*

3.1 – DESCRIÇÃO DAS ÁREAS

3.1.1 – Área 1

A área 1 (A1) está posicionada na porção central da região de trabalho e abrange uma superfície de 62,36 km². Nela está inserida o Parque Natural do Caraça, abrigando a nascente do ribeirão Caraça e seus principais afluentes, os córregos Cascata, Barragem e Canjerana. Observando os mapas de uso e ocupação do solo e cobertura vegetal (Figuras 3.1, 3.2 e 3.3) podemos observar a ocorrência das seguintes principais classes de vegetação e uso e ocupação do solo:

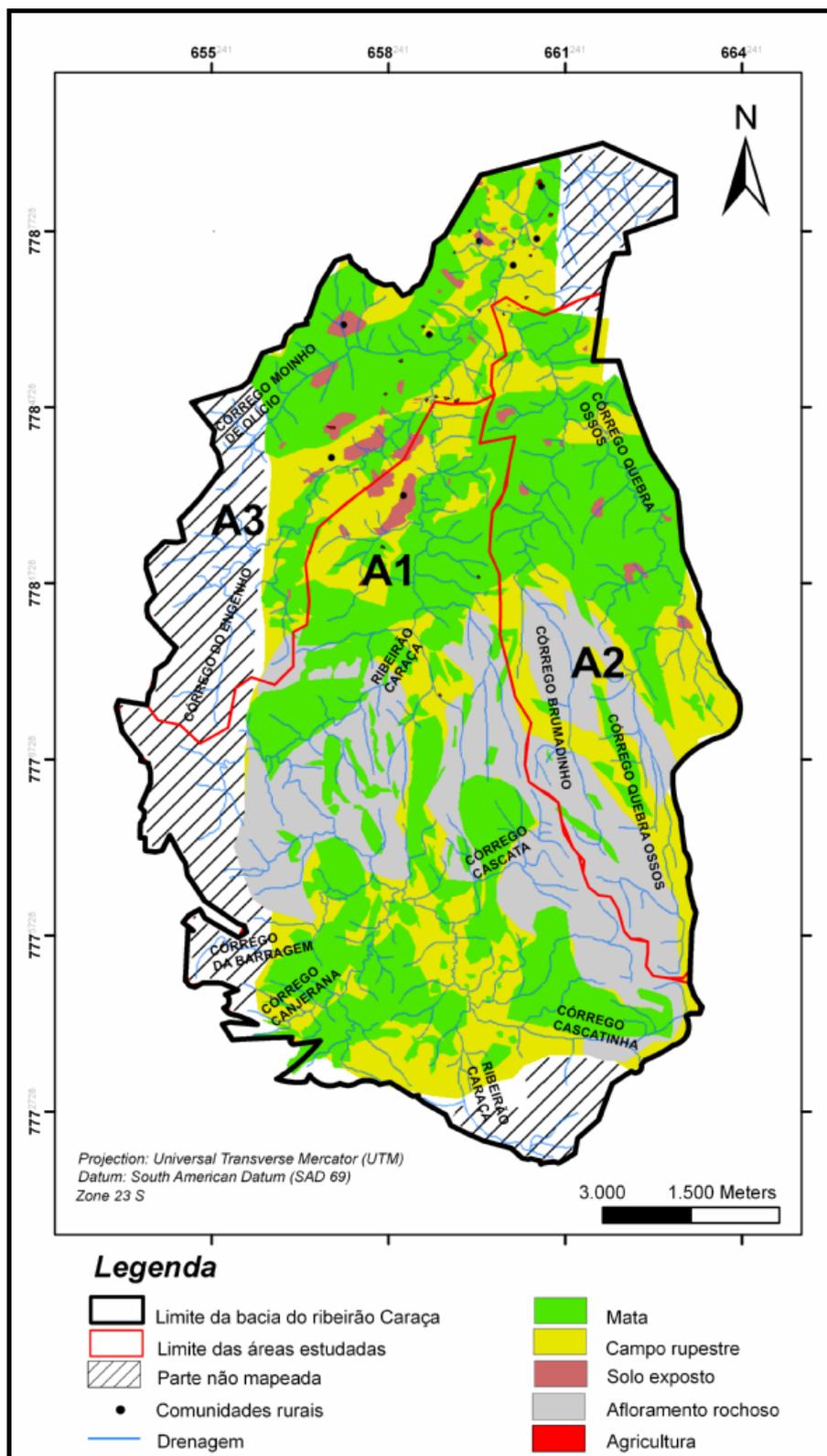


Figura 3.1 - Mapa de uso e ocupação do solo e cobertura vegetal da década de 60.

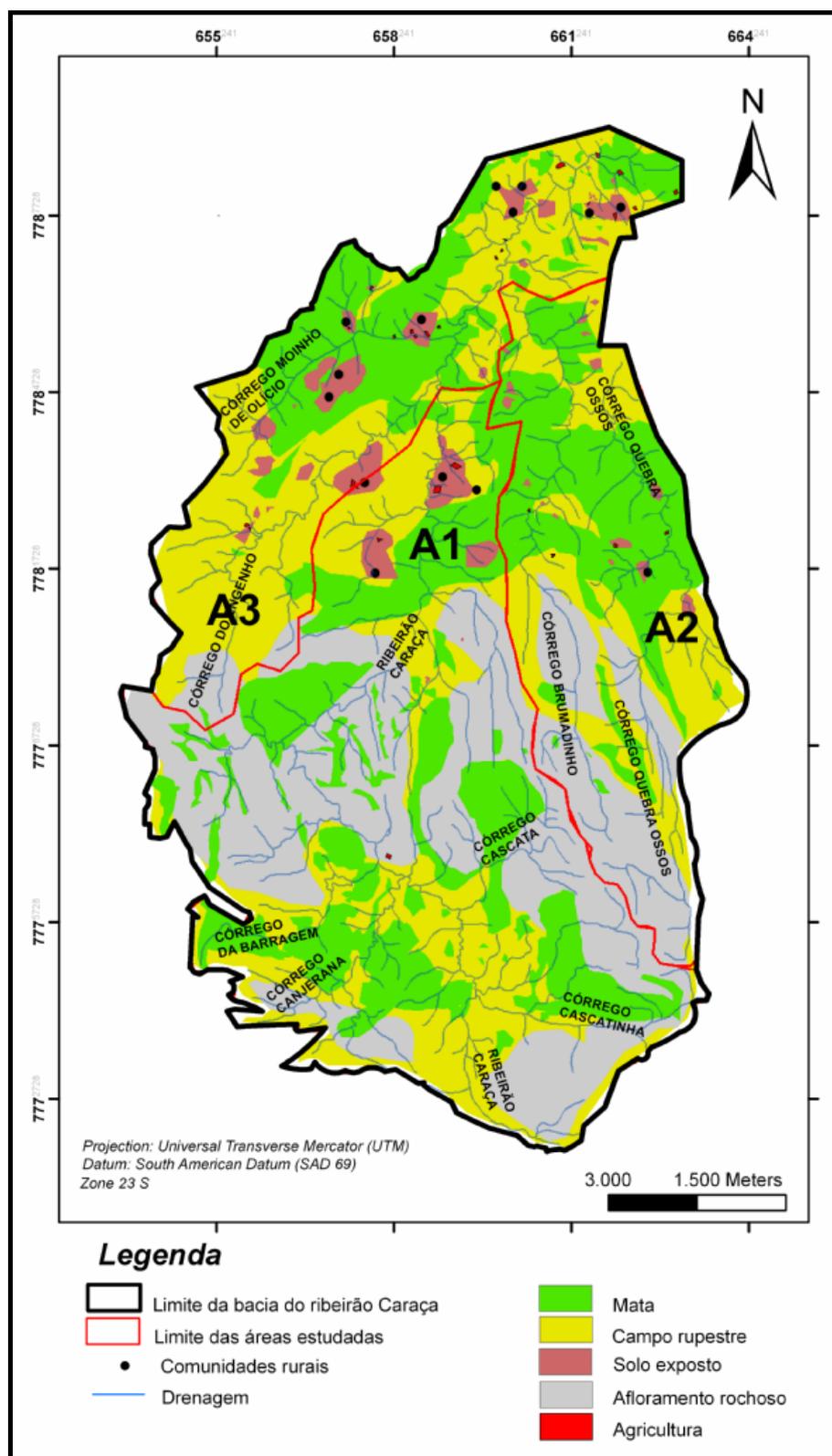


Figura 3.2 - Mapa de uso e ocupação do solo e cobertura vegetal da década de 70.

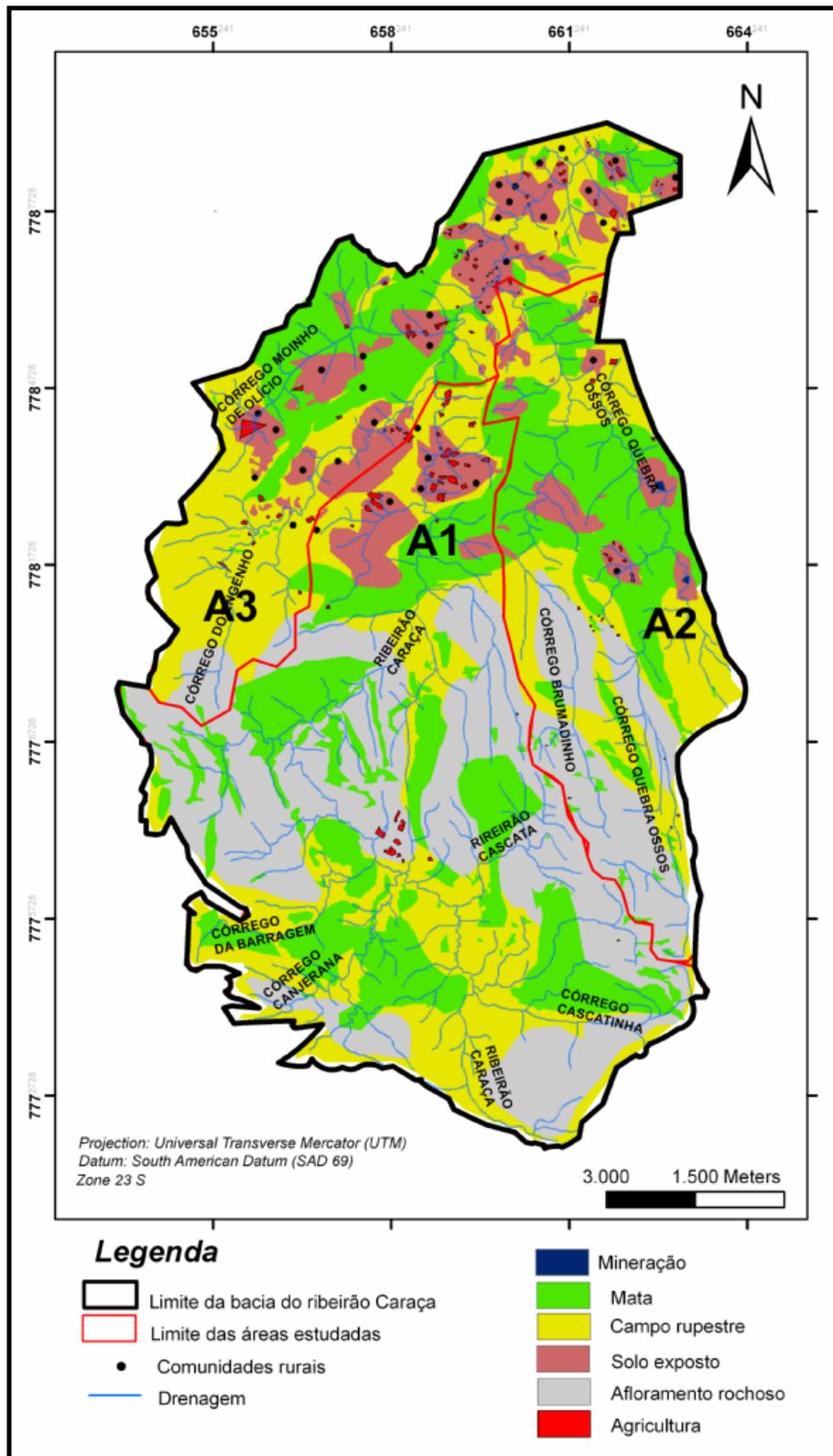


Figura 3.3 - Mapa de uso e ocupação do solo e cobertura vegetal da década de 80.

Afloramento Rochoso

O afloramento rochoso compreende as exposições de rochas em superfície, normalmente relacionadas às áreas de relevo mais acentuado. Estão distribuídas ao longo de toda a área, ocupando as partes mais elevadas, fazendo parte da unidade morfoestrutural do Maciço do Caraça, onde o relevo é caracterizado por maciços montanhosos e vegetação ausente ou rarefeita, composta principalmente por gramíneas, pteridófitas e bromélias esparsas. A Figura 3.4 mostra o relevo montanhoso do Maciço do Caraça, onde aparecem as áreas com os afloramentos rochosos.



Figura 3.4 - Relevo montanhoso do Maciço do Caraça.

Mata

Corresponde às áreas cobertas por estrato arbóreo de alto porte, correspondente a florestas primárias ou secundárias maduras em avançado estágio de regeneração. Rica biodiversidade, com presença de diversas espécies animais e vegetais. As árvores apresentam folhas largas perenes. Há grande diversidade de epífitas, como bromélias e orquídeas. (Figura 3.5).

Como o próprio nome já diz, a mata ciliar refere-se às matas que ocorrem nas margens dos rios, formando uma espécie de “cílios” ao longo desses cursos d’água. Ressalte-se que, nas áreas mais preservadas, fica ainda mais difícil estabelecer um limite entre a mata e a mata ciliar, pois os padrões são semelhantes, diferindo-se apenas pela proximidade dos cursos d’água. Por essa razão, a mata ciliar nessa área foi incluída na classe mata pela impossibilidade de sua individualização.

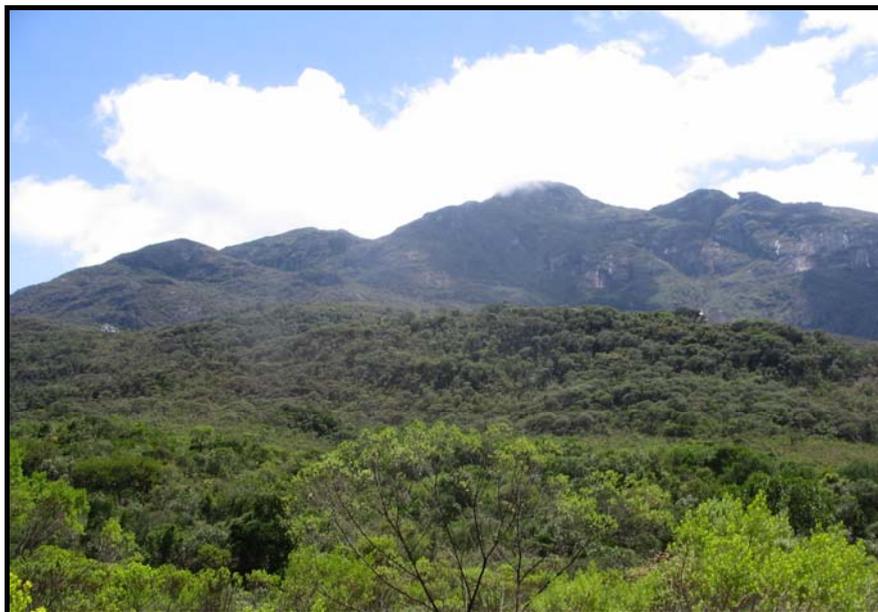


Figura 3.5 - Vista geral do Parque do Caraça com ocorrência de mata.

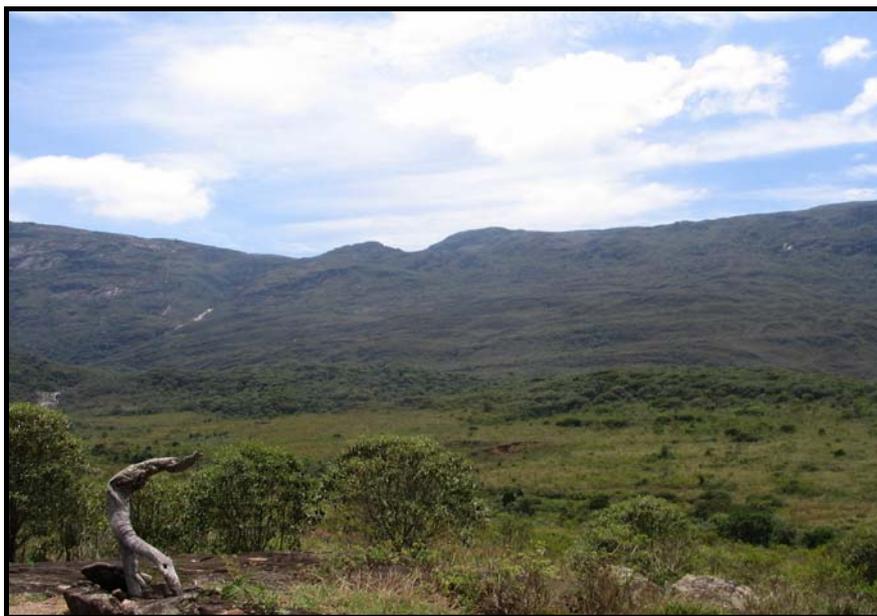
Campo Rupestre

É um tipo fitofisionômico predominantemente herbáceo-arbustivo, com a presença eventual de árvores pouco desenvolvidas de até 2 metros de altura. Abrange um complexo de vegetação que agrupa paisagens e microrelevos com espécies típicas, ocupando trechos de afloramentos rochosos. Nesses terrenos, praticamente, não há solo contínuo, apenas pequenas camadas que sustentam, em parte, esse tipo de vegetação (Figura 3.6).

Agricultura

Corresponde às áreas agrícolas, com cultivo predominante de olerícolas de ciclo curto, especialmente nos terraços aluviais e baixas encostas, com ocorrências de pequenas áreas com cultivos tradicionais (mandioca, milho, feijão) nas encostas baixas e médias.

A partir da análise espacial e temporal dos mapas de uso e ocupação do solo, nota-se o aumento significativo de atividades de agricultura, associado com aumento de solo exposto, na porção norte da área **A1**. Essas áreas eram anteriormente ocupadas por matas e campos rupestres.



Figuras 3.6 - Locais de ocorrência de campos rupestres no Parque do Caraça.

3.1.2 – Área 2

A área 2 (**A2**) está posicionada a leste da região de trabalho e abrange uma superfície de 28,46 km². Os principais córregos, afluentes do ribeirão Caraça, localizados nesta área são o Brumadinho e o Quebra-Ossos. Observando os mapas de uso e ocupação solo e cobertura vegetal podemos observar que existem pequenas áreas de campo rupestre e agricultura, semelhantes às observadas na área **A1** (Figuras 3.1, 3.2 e 3.3). As outras classes identificadas serão discutidas a seguir.

Capoeira

A capoeira corresponde à primeira fase do processo de sucessão vegetal. Compreende aquelas áreas onde houve intervenção humana no terreno, com distintas finalidades, tais como: mineração, agricultura ou pecuária. Essas atividades descaracterizaram a vegetação primária e as áreas ficam sujeitas a um processo de regeneração natural quando abandonadas, de acordo com o tempo e seu uso.

A vegetação que surge nessa área reflete sempre os parâmetros ecológicos característicos do ambiente. Essa sucessão de uso obedece a um ritmo, ao refazer o solo degradado pela ação antrópica. O tempo para a recuperação natural dessas áreas depende do estado de abandono. A perda da matéria orgânica pelas queimadas e a dos elementos químicos do solo pela lixiviação, esta provocada pelas águas das chuvas, empobrecem rapidamente os solos tropicais que mostram processo lento de recuperação natural (Oliveira *et al* 2004).

A partir da fotointerpretação não é possível saber a fase da sucessão vegetal, por isso todo tipo de vegetação está representado por matas e através de visitas ao campo foi possível observar que a capoeira é o tipo predominante nessa área, sendo que a mata ciliar também foi incluída nessa classe (Figura 3.7).



Figura 3.7 - Área coberta por capoeira, córrego Brumadinho, bacia do ribeirão Caraça.

Mineração

A classe mineração compreende toda a área abrangida pela extração de bens minerais. Isto é, refere-se às minerações a céu aberto de pequeno a médio porte em atividade e toda a sua área de influência. Ou seja, incluem-se nesta categoria todas as terras utilizadas para cavas, as pilhas de estéril e/ou de rejeito.

A principal atividade desenvolvida nesta área é a mineração de dunito/serpentinito. A exploração dessas rochas é feita pela empresa Valemix, em sua mina Francisco III. A partir de informações da empresa, a mesma começou a ser explorada a partir de 1980, comprovado pelo mapa da Figura 3.3. A partir de dados de campo, a mina continua sendo explorada, como mostra a foto da Figura 3.8.



Figura 3.8 - Foto mostrando a mina Francisco III.

Solo Exposto

Essa classe corresponde às áreas desprovidas de vegetação ou de cultura, excetuando-se os afloramentos de rocha. O solo exposto ocorre em áreas que sofreram alterações devido às ações antrópicas e que não se regeneraram em decorrência do tipo de solo, do tempo de exposição e do regime climático. Um dos motivos do aparecimento de solo exposto, nessa área, refere-se à retirada de sua cobertura vegetal original, principalmente pelas atividades mineiras e de agricultura. (Figura 3.9). A partir da análise dos mapas de uso e ocupação do solo/coertura vegetal, nota-se um expressivo aumento dessa classe, principalmente no córrego Quebra-Ossos, onde há presença de mineração.



Figura 3.9 - Antiga mineração de dunito/serpentinito, representando a classe solo exposto na área A2.

3.1.3 – Área 3

A área 3 (A3) está posicionada a oeste da região de trabalho e abrange uma superfície de 29,54 km². Os principais tributários do ribeirão Caraça, nesta área são o córrego do Engenho e Moinho de Olício.

Campo Graminoso/Pastagem

O Campo Graminoso é a formação vegetal mais expressiva da área A3 (Figura 3.10). Essa classe constitui uma formação vegetal associada ou mista, composta de cerrado, com ocorrência expressiva de espécies típicas de campo. Essa unidade está relacionada à ocorrência de solos pobres e/ou solos rasos, cascalhentos ou pedregosos.

A classe Pastagem foi incluída nessa unidade por não ser possível diferenciá-la na fotointerpretação. Nos mapas esta classe está identificada como campo rupestre. A classe pastagem abrange, além de pastagem plantada, as classes denominadas de “pasto sujo”. O termo “pasto sujo” refere-se às áreas cobertas por gramíneas, com intensa infestação de espécies invasoras herbáceas e sem investimento na formação da pastagem. As observações de campo, complementadas pela análise de fotografias aéreas permitem concluir que o aparecimento das pastagens ocorre muitas vezes com a retirada da classe mata.



Figura 3.10 - Classe campo graminoso/pastagem na área A3.

Áreas Alagadas

Compreendem as áreas planas e baixas que periodicamente são alagadas e que correspondem às zonas de transbordamento próximas a rios, lagos e lagunas. Trata-se, conforme descrito pelo IBGE (1992), de comunidades vegetais presentes nas planícies aluviais, susceptíveis às cheias dos rios, ou em depressões alagáveis todos os anos. Nesses terrenos aluvionares, conforme a quantidade de água empoçada e ainda o tempo de permanência desta, as comunidades vegetais variam desde a pantanosa (hidrófitos) até os terraços alagáveis temporariamente. Um exemplo de extensa planície aluvial, classificado como Área Alagada, pode ser visto na Figura 3.11 que retrata o córrego do Engenho.



Figura 3.11 - Parte alagada da planície do córrego do Engenho (FONTE: APA Sul 2004).

Agricultura

O cultivo de café é o mais expressivo, sendo cultivado em pequena escala, restringindo-se à região próxima ao Parque do Caraça, ocorre em solos profundos bem drenados, desenvolvidos em relevo ondulado. Existem outros tipos de agricultura de subsistência próximos às comunidades rurais.

Mineração

A classe Mineração na área **A3** refere-se à área de influência da mineração Anglogold. Nessa área faz parte dessa classe a barragem de contenção de rejeitos sólidos e efluentes oriundos do processo de beneficiamento da mineração de ouro Córrego do Sítio (Figura 3.12). Não foi possível identificá-la nas fotografias aéreas estudadas, pois a mesma começou a ser construída no fim da

década de 90. Este barramento está localizado no córrego Moinho de Olício, a jusante do ponto MM-21 (Figura 2.1).



Figura 3.12 - Barragem de contenção de rejeitos oriundos da mineração de ouro pertencente à empresa ANGLOGOLD.

Aglomerados Urbanos

A unidade Aglomerados Urbanos é representada principalmente por comunidades rurais dos distritos e sub-distritos. Como as aglomerações não têm representatividade na escala de trabalho, essas ficaram indicadas apenas por pontos nos mapas. Também foram incluídas nessa classe as fazendas de pequeno e médio porte dessa área. Analisando os mapas, percebe-se o aumento das mesmas durante as últimas décadas.

Solo Exposto

A classe Solo Exposto na área **A3** está relacionada com as aglomerações urbanas, principalmente fazendas e comunidades rurais. A classe pastagem foi incluída na classe campo graminoso, mas através de observações de campo foi possível identificar que muitas vezes a presença de solo exposto está relacionado também com áreas de pastagens. Assim como na área **A2**, o aumento de solo exposto está acompanhado pela redução das Matas.

CAPÍTULO 4

CARACTERIZAÇÃO AMBIENTAL DAS ÁGUAS

4.1 – REGIME PLUVIOMÉTRICO

A identificação dos padrões pluviométricos foi feita com o cálculo das precipitações médias mensais e a elaboração do hietograma com as precipitações totais anuais da estação selecionada para este estudo, inserida no Parque Natural do Caraça.

A pluviometria da região da bacia do ribeirão Caraça apresenta características que a incluem no regime tropical, com uma média anual de 2001,4 mm. A partir da série histórica estudada, compreendida entre os anos de 1983 e 2006, caracteriza-se um ciclo básico unimodal bem definido, com verão chuvoso e inverno seco (Figura 4.1.a). O período chuvoso se estende de outubro a março e concentra 87,8% da precipitação anual. O período de abril a setembro concentra apenas 12,2% da precipitação. Na Figura 4.1.b pode-se observar também os totais anuais da série histórica, destacando-se os anos de 1985, 1991 e 1992, quando o total precipitado ultrapassou os 2500 mm anuais.

A altitude elevada da região instalada o pluviômetro (1297 m) é um dos fatores responsáveis pelo alto índice pluviométrico, o que demonstra a importância da topografia associada aos altos índices de umidade relativa, induzindo precipitações isoladas ou intensificando as linhas de instabilidade tropicais.

A partir do hietograma da Figura 4.2, observa-se um regime de chuvas no ano hidrológico monitorado semelhante ao regime de toda série histórica, com a precipitação anual de 2036,6 mm. Ressalte-se que a análise de chuvas no período estudado foi feita considerando-se o ano hidrológico monitorado, ou seja, iniciando em setembro de 2005 e terminando em agosto de 2006. O regime de precipitações apresenta oscilações bem definidas, com verão chuvoso e inverno seco.

O trimestre mais chuvoso corresponde aos meses de novembro, dezembro e janeiro e apresenta índices médios de 276,6 mm; 517,3 mm e 386 mm respectivamente, abrangendo 58% do total anual das chuvas, precipitado em 54 dias.

No período seco, os meses de junho, julho e agosto, a precipitação atinge a 11,10 mm; 11,49 mm e 21,87 mm, respectivamente, correspondendo a 2,18% do total anual da precipitação, distribuídos em cerca de 9 dias.

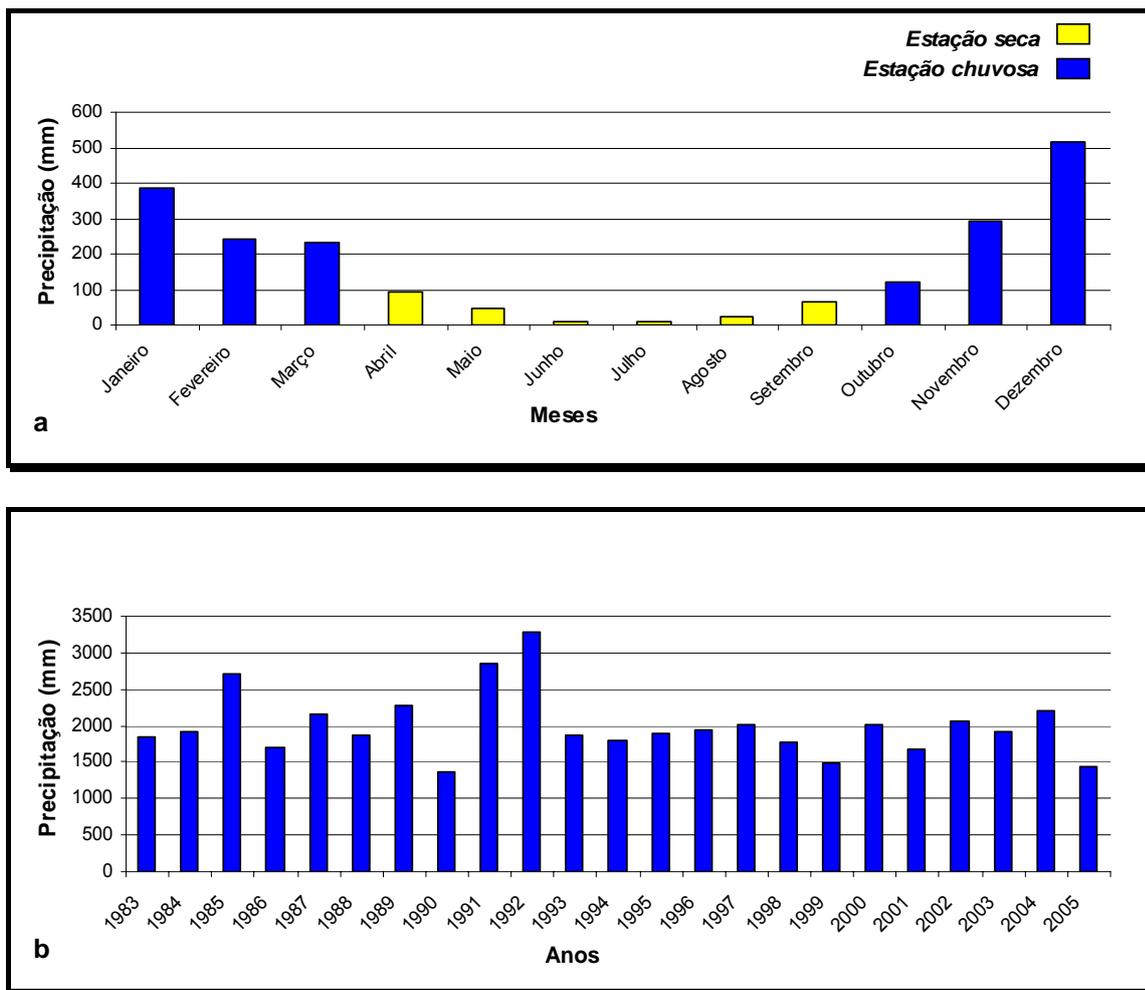


Figura 4.1- Hietograma média mensal da precipitação pluviométrica, a disposição das colunas evidencia o ciclo básico unimodal (a), hietograma anual - período 1983/2006 (b).

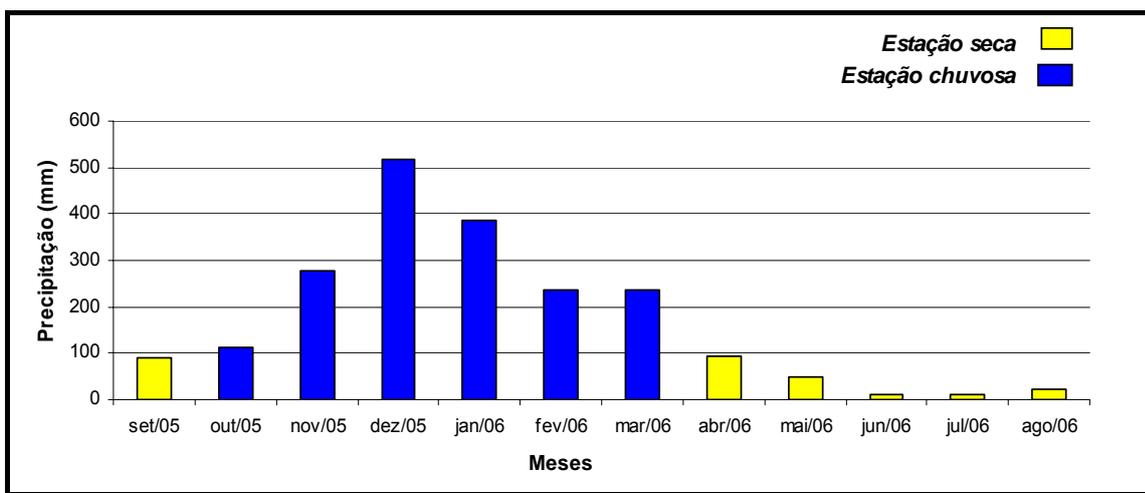


Figura 4.2 - Hietograma do total mensal do ano hidrológico estudado – período 09/2005 a 08/2006.

4.2 – VAZÃO

Uma bacia hidrográfica é um sistema que integra as conformações de relevo e drenagem. Parte da chuva que cai sobre a área de uma bacia e que irá transformar-se em escoamento superficial, chamada precipitação efetiva, escoam a partir das maiores elevações do terreno, formando cursos preferenciais de água, correndo em direção aos vales. Esses, por sua vez, concentram esse escoamento em córregos, riachos e ribeirões, os quais confluem e formam o rio principal da bacia. O volume de água que passa pelo exutório na unidade de tempo é a vazão ou descarga da bacia. (Chow 1959). De uma maneira geral, a vazão (Q) varia com a forma característica de cada bacia. O gráfico de $Q(t)$ é chamado hidrograma e encontra-se esquematicamente representado na Figura 4.3.

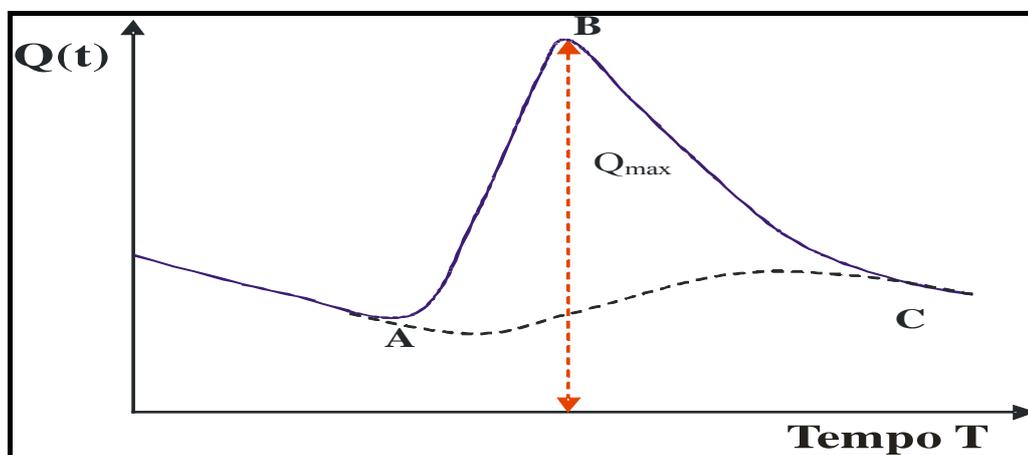


Figura 4.3 - Hidrograma hipotético para uma bacia hidrográfica (Modificado de Custódio & Llamas 1976).

As áreas que contribuem para a formação da vazão Q se estendem desde aquelas mais adjacentes aos cursos d'água até as mais distantes, delineando as características da parte ascendente A-B do hidrograma. Se a extensão espacial e a duração da chuva forem suficientemente grandes, todos os pontos da bacia irão contribuir, concentrando a totalidade do escoamento superficial no exutório. Nesse ponto, forma-se um estado de equilíbrio na bacia e a vazão Q encontra-se em seu ponto máximo - a vazão de pico Q_{max} , se a chuva efetiva continuar com a mesma intensidade, a vazão ficará estacionária nesse ponto máximo. Caso contrário, as áreas de contribuição irão diminuir gradativamente, iniciando a fase descendente B-C do hidrograma (Naghetini & Pinheiro 1997).

Os dados de vazão total de todos os pontos monitorados encontram-se no Anexo II. Os pontos monitorados no ribeirão Caraça foram da montante para jusante: MM-01, MM-03, MM-06, MM-18 e MM-24 (Figura 2.1). No ponto MM-24 ocorre a captação de água para o município de Santa Bárbara (Figura 4.4).

Analisando o gráfico da Figura 4.5, observa-se que a vazão diminui drasticamente entre os meses de maio e agosto, reflexo da variação na precipitação. Destaca-se neste gráfico a grande redução de vazão no ponto MM-24, ocorrida nos meses de seca. Tal fato está relacionado com a grande retirada de água para abastecimento urbano, que durante o período chuvoso não é tão perceptível.



Figura 4.4 - Foto mostrando o ponto MM-24, localizado no ribeirão Caraça.

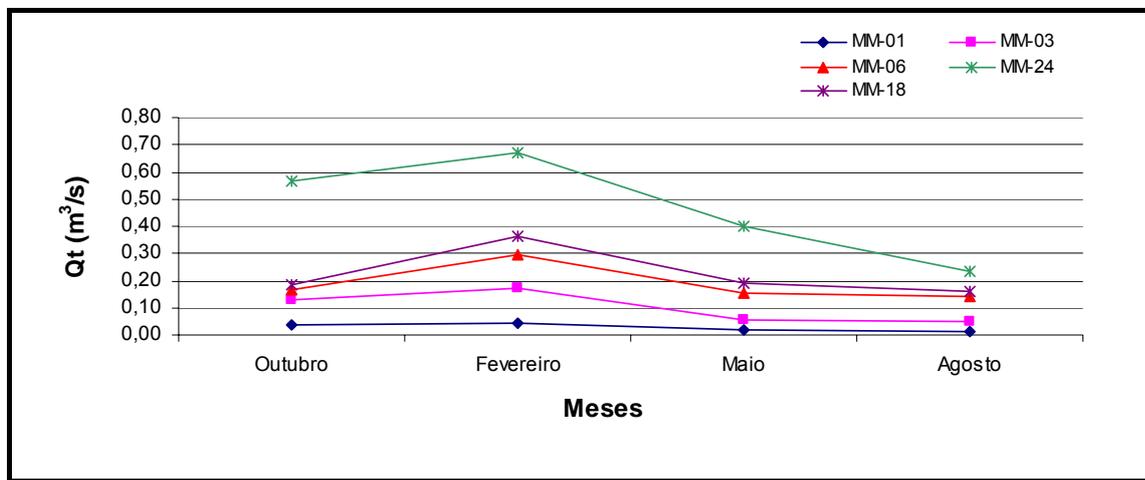


Figura 4.5 - Hidrograma do córrego Caraça.

Os pontos monitorados no córrego Quebra-Osso foram da montante para jusante: MM-08, MM-09, MM-10 e MM-11 (Figura 2.1). Destaca-se neste córrego a presença da mineração Francisco III (Figura 4.6) a jusante do ponto MM-09 e de aglomerados urbanos a montante do ponto MM-11. No gráfico da Figura 4.7, nota-se uma clara influência destas atividades antrópicas, provocando mudanças na vazão total. Percebe-se claramente a influência do lançamento de efluentes da mineração nos meses chuvosos e a retirada de água para abastecimento, este principalmente nos meses de seca.

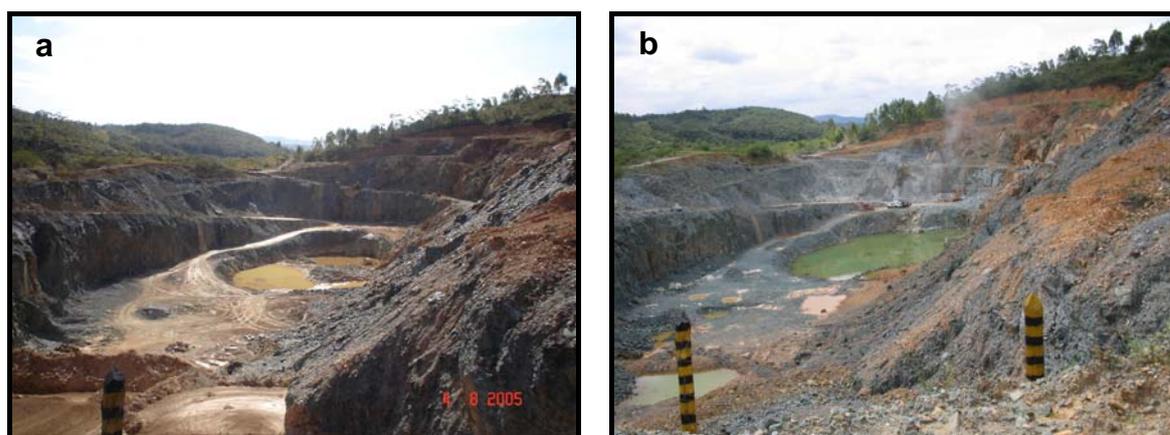


Figura 4.6 - Mineração Francisco III durante a estação de seca (a) e estação de chuva (b).

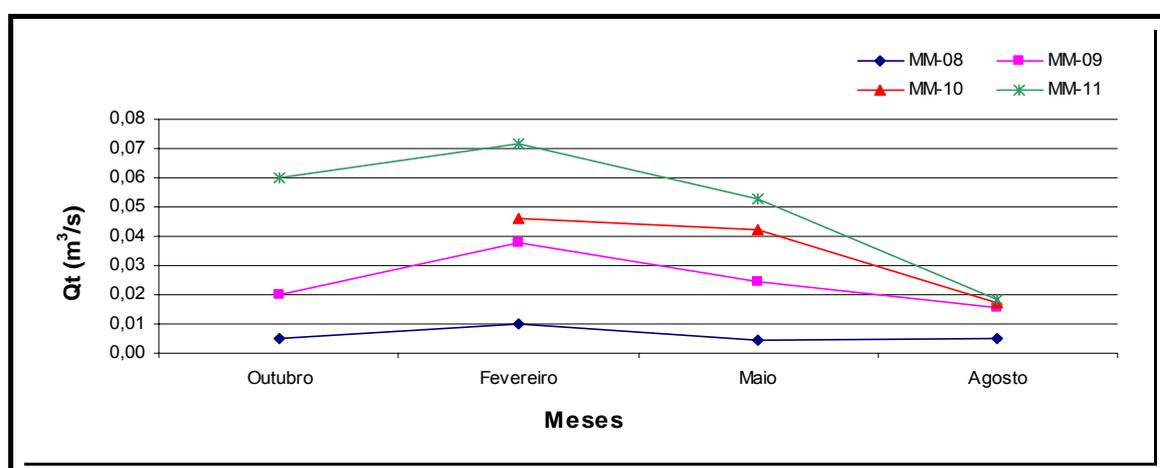


Figura 4.7 - Hidrograma do córrego Quebra-Ossos.

Os pontos monitorados no córrego Moinho de Olício foram da montante para jusante: MM-20, MM-21 e MM-22 (Figura 2.1). Os pontos MM-20 e MM-21 estão localizados à montante da barragem de rejeitos da ANGLOGOLD (Figura 4.8), sendo que no ponto MM-21 há uma nítida influência dos efluentes industriais oriundos na mineração de ouro, com o lançamento de seus efluentes a montante do mesmo. As variações observadas são reflexos da atividade da mina e de seu barramento. Durante o campo do mês de fevereiro, a mineradora encontrava-se lançando seu rejeito diretamente no córrego, aumentando sua vazão e a quantidade de sedimentos em suspensão (Figura 4.9). Já os valores reduzidos encontrados no ponto MM-22 são consequência do regime de liberação de águas da barragem, que libera vazões reduzidas para manutenção de seu nível mínimo do reservatório.

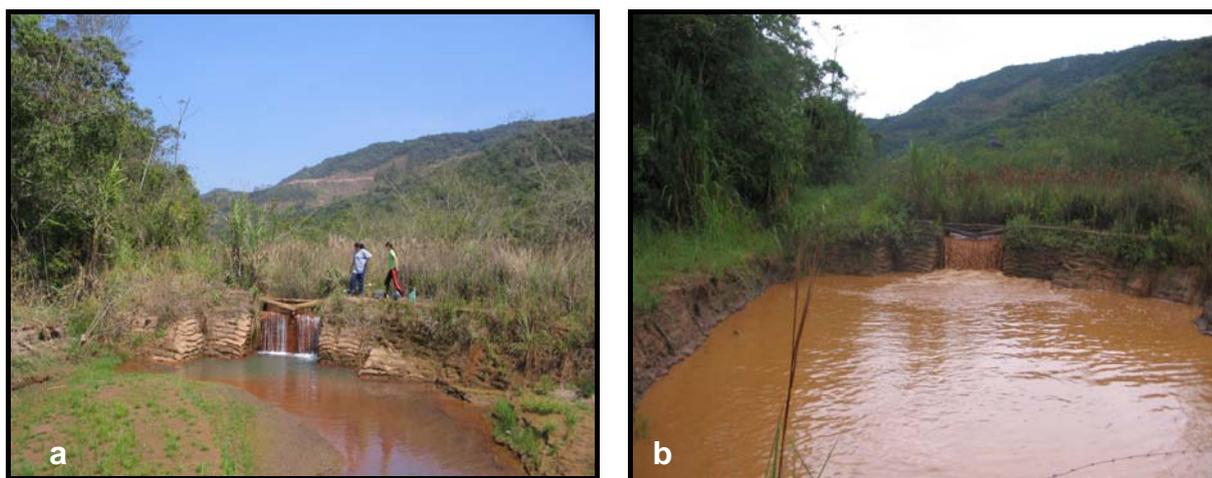


Figura 4.8 - Foto mostrando a barragem de contenção de rejeitos oriundos da mineração de ouro na estação de seca (a) e na estação de chuva (b).

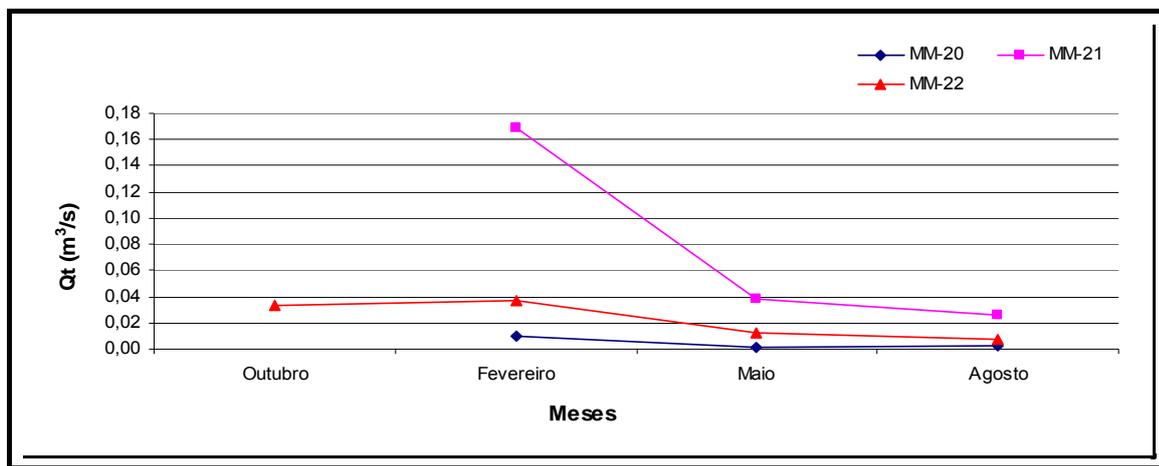


Figura 4.9 - Hidrograma do córrego Moinho de Olício.

Os pontos monitorados no córrego do Engenho foram da montante para jusante: MM-15, MM-16 e MM-17 (Figura 2.1). O ponto MM-17, no mês de fevereiro, estava recebendo um efluente extra, derivado da construção de uma estrada de terra a montante do ponto (Figura 4.10). Tal fato justificaria a alta vazão nesse ponto no referido mês (Figura 4.11).



Figura 4.10 - Foto mostrando parcialmente a construção de uma estrada a montante do ponto MM-17.

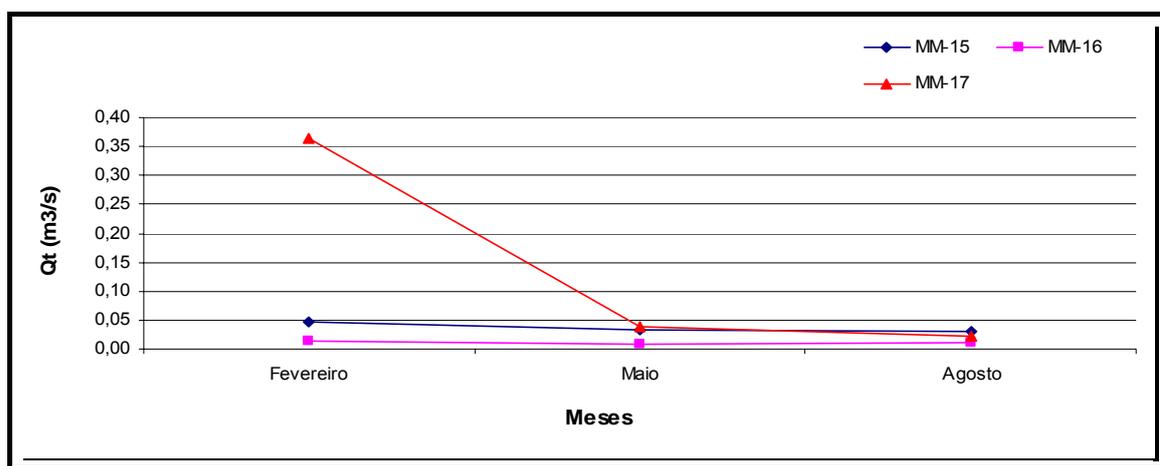


Figura 4.11 - Hidrograma do córrego do Engenho.

4.3 – HIDROGEOQUÍMICA

A concentração dos metais no meio ambiente é determinada por sua mobilidade, que é função da solubilização e liberação de depósitos minerais e das reações de absorção e precipitação que ocorrem em solos e sedimentos (Thornton 1983). Além das fontes naturais que são responsáveis pela mobilização destes elementos, grande parte destes são liberados pelo homem.

Os depósitos minerais de ouro e de dunito/sepentinito explorados na área de estudo, possuem associações minerais ricas em metais traço, os quais apresentam alto potencial tóxico. Estes elementos encontram-se inicialmente incorporados às rochas e através de atividades antrópicas podem ter sua velocidade de mobilização acelerada para as águas e sedimentos dos cursos d'água.

Os elementos ferro e manganês e os metais traço porventura oriundos da atividade de extração podem apresentar riscos consideráveis de contaminação por não se degradarem. Portanto, permanecem solubilizados nas águas e/ou junto aos sedimentos, dependendo das condições físico-químicas.

4.3.1 – Considerações iniciais

Nesse tópico serão apresentados os parâmetros de qualidade da água, buscando-se conhecer a contribuição hidrogeoquímica dos principais tributários, a explicação de possíveis anomalias existentes e o reconhecimento de suas respectivas fontes, sejam elas naturais ou antropogênicas.

No Brasil, a legislação de controle ambiental de qualidade de água baseia-se em usos da água e seus correspondentes limites de poluição e/ou contaminação. Atualmente, está em vigor a Resolução N° 357 de 17/03/2005 do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA 2005), que divide as águas em doces, salobras e salinas, além de designar seus usos preponderantes. As águas doces, com salinidade igual ou inferior a 0,5‰ são classificadas em quatro classes:

I - Classe especial: águas destinadas:

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

II - Classe 1: águas que podem ser destinadas:

- ao abastecimento para consumo humano, após tratamento simplificado;
- à proteção das comunidades aquáticas;
- à recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme resolução CONAMA n° 274, de 2000;
- 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
- à proteção das comunidades aquáticas em Terras Indígenas.

III - Classe 2: águas que podem ser destinadas:

- ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional;
- à proteção das comunidades aquáticas;
- à recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme resolução CONAMA n° 274, de 2000;
- 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

- à aqüicultura e à atividade de pesca.

IV - Classe 3: águas que podem ser destinadas:

- ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional ou avançado;
- à irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras;
- à pesca amadora;
- à recreação de contato secundário; e
- à dessedentação de animais.

V - Classe 4: águas que podem ser destinadas:

- à navegação; e
- à harmonia paisagística.

Para se determinar o máximo das variações na composição química entre o período da chuva e da seca, as amostras foram coletadas no final do período seco, quando máximas concentrações são esperadas e no final do período chuvoso, quando a máxima diluição é esperada.

Os parâmetros analisados foram escolhidos de forma a obter uma melhor representatividade das reais condições qualitativas dos corpos d'água, sendo eles: temperatura, pH, Eh, turbidez, condutividade elétrica, sólidos totais dissolvidos (STD), alcalinidade, oxigênio dissolvido (OD), sulfato (SO_4^-), cloreto (Cl^-), metais principais (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Fe, Mn) e metais traço (Al, As, Ba, Be, Cd, Co, Cr, Cu, Li, Mo, Ni, Sc, Sr, V, Y, Zn).

Os resultados máximos e mínimos dos referidos parâmetros analisados nas amostras de água em ambas as estações na bacia do ribeirão Caraça encontram-se na Tabela 4.1 e alguns são discutidos a seguir. Nessa tabela encontram-se ainda os limites permissíveis de alguns parâmetros considerados pela Resolução CONAMA 357/05 estabelecidos para águas de classes 1, 2 e 3. Os resultados de todas as análises das amostras de água encontram-se no Anexo III, IV e V.

No verão, o ponto MM-07 não foi amostrado devido ao difícil acesso. Os demais pontos que não estão representados nos gráficos devem-se ao fato de estarem abaixo do limite de quantificação.

4.3.2 – Propriedades Físico-Químicas

4.3.2.1 – Temperatura

Caracteristicamente, a temperatura influencia processos biológicos, reações químicas, bioquímicas e aumenta também a taxa de transferência de gases. A solubilidade dos gases é inversamente proporcional à temperatura, de modo que quanto maior é a temperatura da água, menor é sua capacidade em reter gases (Atkins 1978).

A temperatura das águas na bacia do ribeirão Caraça, durante o inverno, apresentou uma variação entre 16,4°C e 26,1°C, estando a temperatura média em torno de 20,8°C. No verão, a variação registrada na temperatura foi entre 13,8°C e 25,1°C, sendo a temperatura média de 21,1°C. Observa-se que, de uma maneira geral, a temperatura média das águas em estação de seca (inverno) é menor do que a temperatura média de estação de chuva (verão); porém, em alguns pontos, as temperaturas foram maiores no inverno (Figura 4.12).

Tabela 4.1 - Limites permissíveis pela CONAMA 357/05 para águas das classes 1, 2 e 3 e parâmetros analisados na bacia do ribeirão Caraça durante o verão e o inverno.

Parâmetros Físico-químicos	Unidades	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Resolução CONAMA 357/05			
		Inverno 2005		Verão 2006		Classe 1	Classe 2	Classe 3	
Propriedades Físicas e Agregadas	Temperatura	°C	16,4	26,1	13,8	25,1			
	Turbidez	FTU	0,5	14	0,2	3	40	100	100
	Condutividade	µS/cm	3,83	66,9	4,14	84,7			
	TDS	mg/L	2,35	27	2,7	55,6	500	500	
	Alcalinidade	mg/L HCO ₃ ⁻	1,28	54,06	5,01	51,32			
	Eh	mV	3,2	252	91	220			
Constituintes Inorgânicos não-metálicos	pH	-	4,4	8,1	6,18	8,55	6 a 9	6 a 9	6 a 9
	OD	mg/L	4,71	7,78	5,4	7,82	6	5	4
	Cloretos	mg/L Cl ⁻	0,48	6,4	2,58	5,49	250	250	250
	Sulfato	mg/L SO ₄ ²⁻	1	2	1	2,10	250	250	250
Metais Principais	Cálcio	µg/L Ca	0,17	71,0	0,07	9,04			
	Magnésio	µg/L Mg	0,1	4,79	0,04	2,39			
	Sódio	µg/L Na	0,18	2,91	0,15	0,98			
	Potássio	µg/L K	0,07	1,71	0,08	0,6			
	Ferro	µg/L Fe	31,2	645	35	798	300	300	500
	Manganês	µg/L Mn	3,8	4510	4	4286	100	100	500
Metais Traço	Alumínio	µg/L Al	<7,5	123,5	<7,5	90,5	100	100	200
	Arsênio	µg/L As	< 85	< 85	< 85	< 85	10	10	33
	Bário	µg/L Ba	1,4	103,9	1	115,5	700	700	1.000
	Berílio	µg/L Be	< 4	< 4	< 4	< 4			
	Cádmio	µg/L Cd	< 8	< 8	< 8	< 8	1	1	10
	Cromo	µg/L Cr	<10	<10	<10	<10	50	50	50
	Cobre	µg/L Cu	<2,5	11,3	<2,5	11,3	9	9	13
	Cobalto	µg/L Co	<15	52,9	<15	52,6	50	50	200
	Lítio	µg/L Li	<0,75	19,6	<0,75	19,4	2.500	2.500	2.500
	Molibdênio	µg/L Mo	<20	<20	<20	<20			
	Níquel	µg/L Ni	<20	<20	<20	<20	25	25	25
	Escândio	µg/L Sc	<1	<1	<1	<1			
	Estrôncio	µg/L Sr	1,3	304,5	0,7	36,7			
	Vanádio	µg/L V	<10	<10	<10	<10	100	100	100
	Ítrio	µg/L Y	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0			
Zinco	µg/L Zn	<5,0	14,1	<5,0	9,2	180	180	5.000	

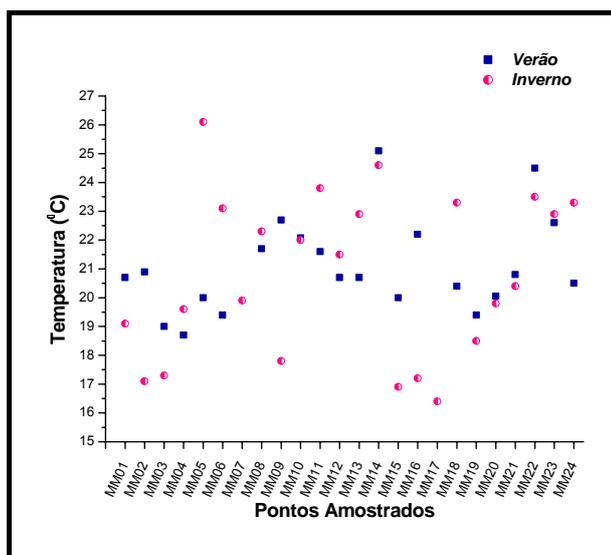


Figura 4.12 - Gráfico de temperatura das águas na área de estudo nas estações de inverno e verão.

4.3.2.2 – Turbidez

A turbidez é uma característica física de ordem estética da água, que reflete a sua dificuldade da água transmitir a luz, provocada pelos sólidos em suspensão como: silte, argila, matéria orgânica (Feitosa *et al.* 1997). Esse parâmetro é avaliado por um turbidímetro, e os valores são fornecidos em FTU (Unidade de Turbidez em Formazina) ou em UNT (Unidade Nefelométrica de Turbidez).

Na amostragem referente à estação chuvosa a turbidez variou de 0,2 FTU a 3 FTU e na estação seca variou de 0,5 FTU a 14 FTU. Em todos os pontos a turbidez foi maior no inverno, quando o volume de água era menor (Figura 4.13).

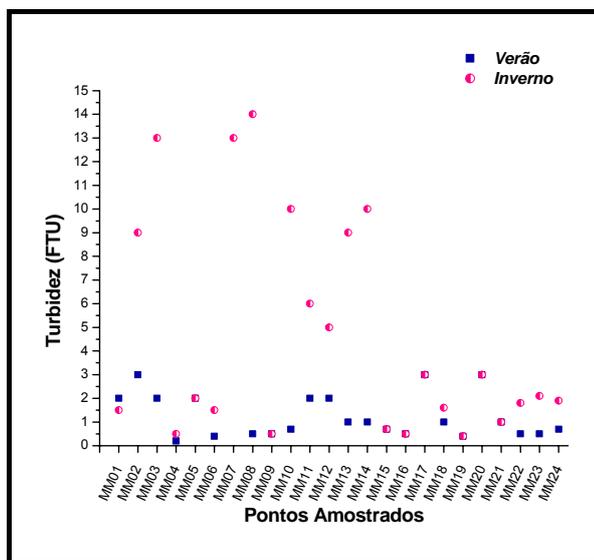


Figura 4.13 - Variação de turbidez entre as estações de seca e chuva na bacia do ribeirão Caraça.

4.3.2.3 – Condutividade Elétrica (CE) e Sólidos Totais Dissolvidos (TDS)

A condutividade (CE), expressa em $\mu\text{S}/\text{cm}$, representa a capacidade da água conduzir corrente elétrica, apresentando relação proporcional à concentração dos sólidos totais dissolvidos (TDS), expressos em mg/L , que representam os materiais dissolvidos e coloidais, voláteis ou não-voláteis, com ou sem conteúdo orgânico (Santos 1997, Mestrinho 1999). Os parâmetros CE e TDS dependem da concentração total, mobilidade e valência dos íons e da temperatura da água no momento da medição (Greenberg *et al.* 1992). A quantidade de TDS e CE contidos nas águas podem diminuir por diluição (água de chuva) ou aumentar pela adição de despejos industriais (CETESB 1993).

No verão houve uma variação da CE de $4,1 \mu\text{S}/\text{cm}$ e $84,7 \mu\text{S}/\text{cm}$ e no inverno a variação foi de $3,6$ e $66,9 \mu\text{S}/\text{cm}$. Os valores de TDS variaram de $2,7 \text{ mg}/\text{L}$ e $55,6 \text{ mg}/\text{L}$ no verão e $2,3 \text{ mg}/\text{L}$ e $27 \text{ mg}/\text{L}$ no inverno. Através da Figura 4.14, observa-se que os menores valores de CE e TDS foram encontrados na área **A1**, onde está localizado o Parque Natural do Caraça, podendo ser explicado pela geologia local, pois a principal rocha aflorante nessa área é quartzito que tende a mobilizar baixa quantidade íons para a água por intemperismo, refletindo na menor quantidade de TDS e conseqüentemente nos valores de condutividade.

Para um mesmo ponto de amostragem, observa-se que não existe mudança significativa nesses parâmetros entre o inverno e o verão e, além disso, nota-se que estes parâmetros mantêm-se, relativamente, constantes até o ponto MM-20, onde foi detectada a maior anomalia, refletindo-se nos pontos MM-21 e MM-22 que recebem águas desse ponto. O aumento de CE e TDS a jusante da mineração de ouro podem ser reflexo dos efluentes industriais oriundos da mesma. Após o córrego Moinho de Olício desaguar no ribeirão Caraça, ocorre a dissolução de íons e a redução da CE, esse fato deve-se a maior vazão no ponto MM-24.

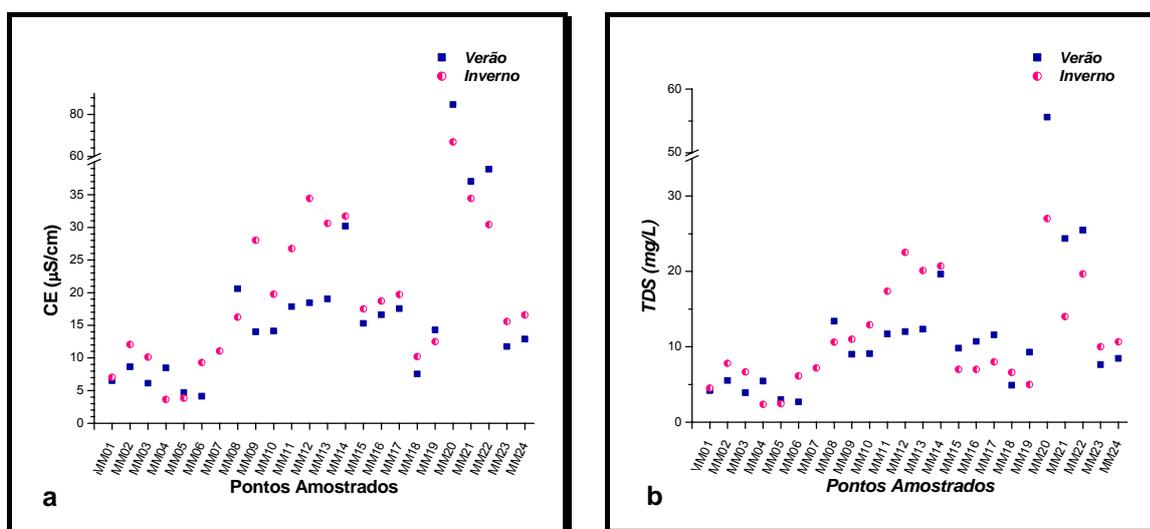


Figura 4.14 - Gráficos de condutividade elétrica (a) e sólidos totais dissolvidos (b) das águas na área de estudo nas estações de inverno e verão.

4.3.2.4 – Oxigênio Dissolvido

Oxigênio dissolvido é o agente oxidante mais importante nas águas naturais, sendo também um dos parâmetros de qualidade da água mais importantes devido aos seus efeitos na flora e na fauna aquáticas (Huber 1993, McCutcheon *et al* 1993, Manahan 1994, Baird 1999). Reduções significativas na concentração de oxigênio dissolvido são decorrentes da presença de matéria orgânica, principalmente, esgotos.

Os valores de oxigênio dissolvido apresentaram pouca variação no inverno e verão, variando entre 5,4 mg/L e 7,8 mg/L no verão e no inverno entre 4,7 mg/L e 7,7 mg/L (Figura 4.15). A maioria das águas analisadas apresentaram concentrações de oxigênio dissolvido dentro do limite estabelecido pelo CONAMA 357/05 para águas de classe 1, que é 6 mg/L.

Os pontos MM-15, MM-16, MM-17, MM-20 e MM-21 apresentaram valores abaixo do limite permitido pela resolução federal vigente para as classes 1 e 2. Uma explicação para esse fato poderia ser as altas quantidades de Fe e Mn nas áreas onde esses pontos estão localizados, pois águas que apresentam quantidades apreciáveis de Fe e Mn são deficientes em oxigênio e ricas no conteúdo de dióxido de carbono.

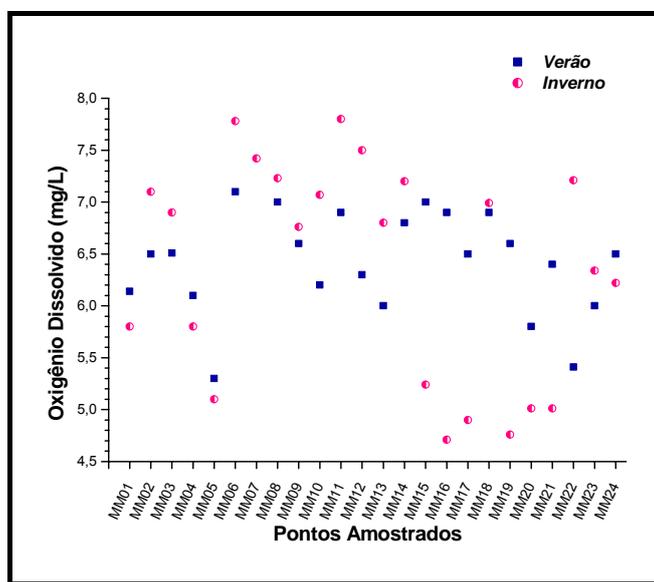


Figura 4.15 - Valores de oxigênio dissolvido determinados em amostras de águas de estações de seca e chuva.

4.3.2.5 – pH e Eh

O pH é a medida da concentração hidrogeniônica da água, sendo essencialmente função do gás carbônico dissolvido e da alcalinidade da água (Feitosa *et al.* 1997). A concentração de íons hidrogênio é dado em unidade de pH que é expressa como sendo $\text{pH} = -\log[\text{H}^+]$. O pH é a capacidade de um ambiente fornecer prótons (íons H^+) para uma base ou tomar prótons de um ácido. O pH

determina em grande parte, a capacidade agressora da água para atacar precipitados (minerais), lixiviando seus constituintes. Geralmente, em baixos valores de pH os metais tendem a ser solubilizados, podendo aumentar a toxidez das águas, enquanto que em altos valores de pH os metais tendem a ser precipitados como óxidos, hidróxidos, carbonatos e sulfetos dependendo das condições oxi-redutoras, melhorando a autodepuração das águas (Bourg 1995, Mestrinho 1999).

Eh é uma medida elétrica, sendo que, valores baixos traduzem uma maior disponibilidade de elétrons, revelando um meio mais redutor, enquanto valores elevados de Eh indicam que existem poucos elétrons disponíveis para a redução, ou seja, o meio é oxidante (Langmuir 1997).

O pH da maioria das amostras de águas analisadas, em ambas as estações, situou-se próximo ao neutro tendendo a alcalino. Observar-se uma constância, como mostra a Figura 4.16.a, com valores entre 6,18 e 8,55 no verão e no inverno variando entre 7,0 e 8,10; com exceção dos pontos MM-02 e MM-03 que apresentaram valores 5,23 e 4,4 respectivamente. Nesses pontos há considerável quantidade de matéria orgânica, sendo os ácidos húmicos possíveis responsáveis por valores baixos de pH.

O Eh analisado nas amostras de água mostrou-se mais elevado no verão que no inverno variando, respectivamente, de 91 mV a 252 mV e de 3 mV a 198 mV (Figura 4.16.b). Estes valores indicam águas levemente mais oxidantes no verão que no inverno, o que é coerente com a estação já que a maior quantidade de água e, conseqüentemente, a maior turbulência.

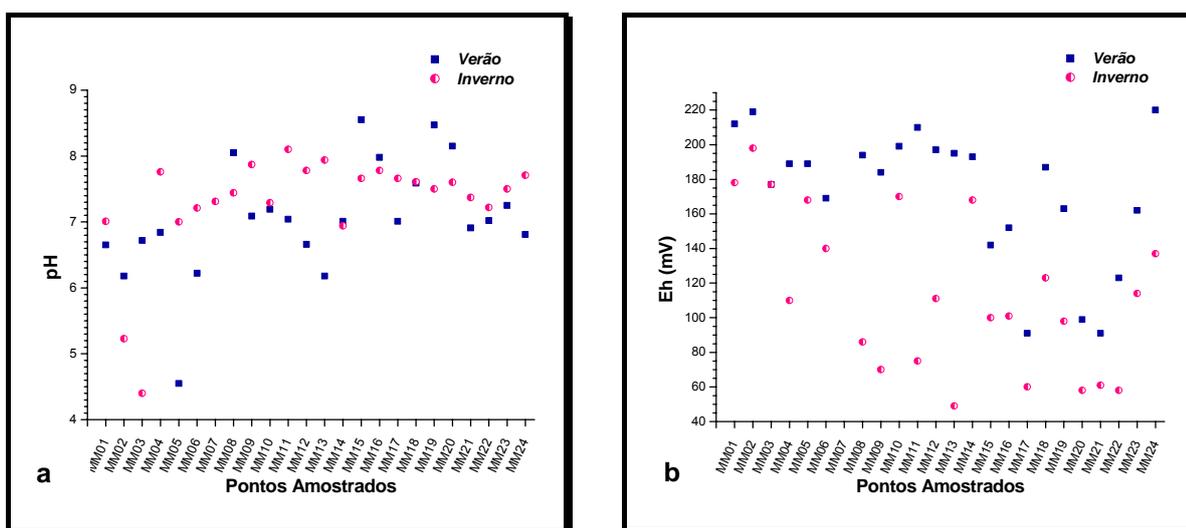


Figura 4.16 - Gráficos de pH (a) e Eh (b) das águas da bacia do ribeirão Caraça nas estações de inverno e verão.

4.3.2.6 – Alcalinidade

É a quantidade de íons na água que reagirão para neutralizar os íons hidrogênio. É uma medida da capacidade da água de neutralizar os ácidos (capacidade de resistir às mudanças de pH:

capacidade tampão) (Sperling 1996). Segundo Batalha (1993), a alcalinidade é causada principalmente por sais de sódio e cálcio.

O excesso de alcalinidade da água pode ser oriundo do substrato geológico (solos e rochas alcalinas) ou de efluentes industriais (Manahan 1994). Na amostragem referente à estação chuvosa a alcalinidade variou de 5,01 mg/L a 51,32 mg/L e na estação seca variou de 1,28 mg/L a 54,06 mg/L, sendo relativamente constante a concentração, de ambas as estações, para um mesmo ponto (Figura 4.17).

Nos pontos referentes à área **A1** foram encontrados os menores valores de alcalinidade, fato esse que pode ser justificado pela litologia, as águas que infiltram no quartzito tendem a residirem por um longo tempo nesta rocha, que atua como aquífero na região, impedindo o contato das mesmas com o ar, e conseqüentemente com o CO₂. Nota-se que os valores de alcalinidade é maior nas áreas **A2** e **A3**, a jusante das minerações de dunito/serpentinó e de ouro, sugerindo uma forte relação com os efluentes dessas minerações.

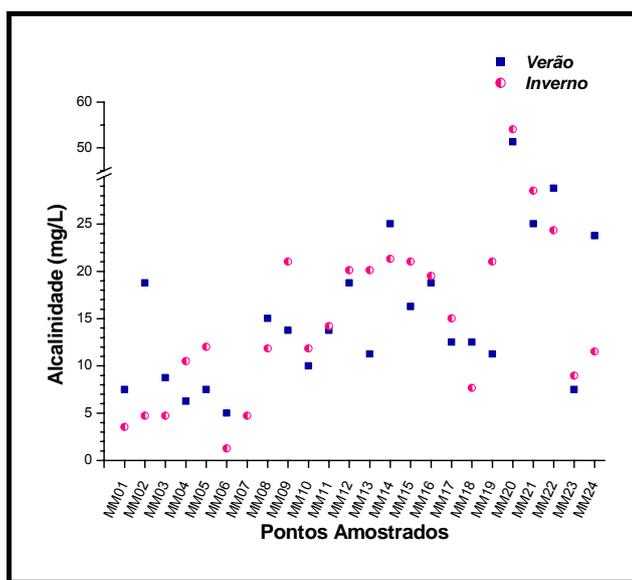


Figura 4.17 - Valores de alcalinidade determinados em amostras de águas de estações de seca (inverno) e chuva (verão).

4.3.2.7 – Sulfato (SO_4^-) e Cloreto (Cl)

O sulfato origina-se do enxofre presente nas rochas e da lixiviação de compostos sulfatados que são muito solúveis, exceto SrSO₄ e BaSO₄ (Feitosa *et al.* 1997). Na bacia do ribeirão Caraça, as concentrações de SO₄⁼ variaram entre 1 mg/L e 2 mg/L no inverno e no verão variaram entre 1 mg/L e 2,10 mg/L (Figura 5.18.a).

O íon cloreto é um dos principais ânions inorgânicos presente nas águas naturais, sendo caracteristicamente muito solúvel e estável, não precipitando facilmente, além de não oxidar e nem reduzir em condições normais (Greenberg *et al.* 1992). Está presente em todas as águas em concentrações variadas devido ao intemperismo de minerais e, também, a fontes antrópicas decorrentes de esgotos domésticos e efluentes industriais diversos (Santos 1997). As concentrações de cloreto variaram no inverno, de 0,48 mg/L a 6,40 mg/L, e no verão, de 2,58 mg/L a 5,79 mg/L (Figura 5.18.b).

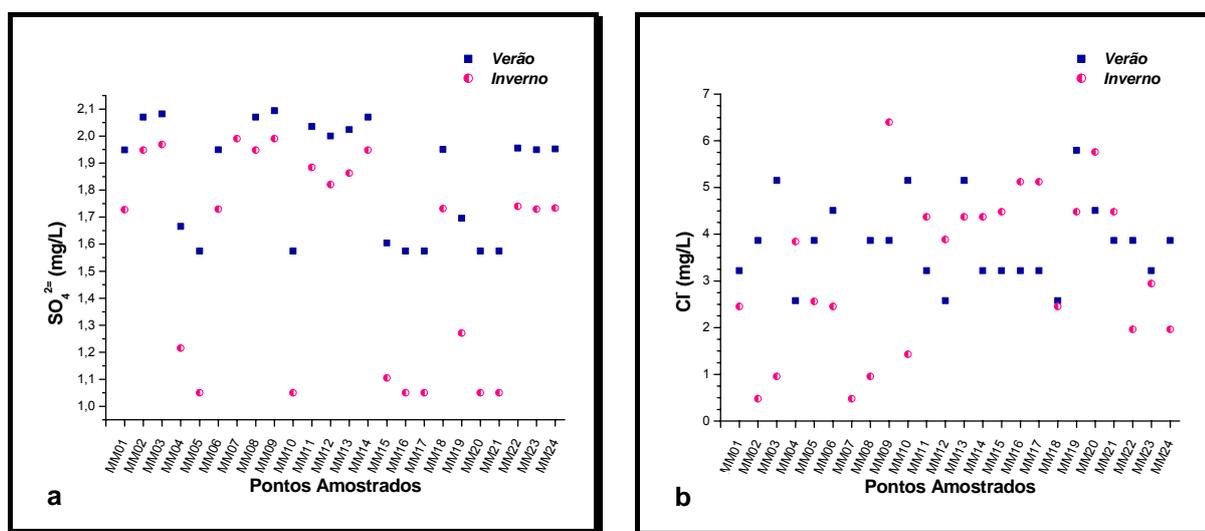


Figura 4.18 - Variação de SO_4^{2-} (a) e Cl^- (b) entre as estações de seca e chuva na bacia do ribeirão Caraça.

4.3.3 – Teores de Elementos Maiores - Cálcio (Ca^{2+}), Magnésio (Mg^{2+}), Sódio (Na^{2+}) e Potássio (K^+)

Os sais de cálcio possuem solubilidade de moderada a elevada, sendo muito comum precipitar como carbonato de cálcio (CaCO_3). É um dos principais constituintes da água e ocorre principalmente nos minerais de calcita, aragonita e dolomita, em rochas calcárias, sendo o plagioclásio e a apatita as maiores fontes de cálcio das rochas ígneas (Santos 1997).

O magnésio apresenta propriedades químicas similares ao cálcio, porém é mais solúvel. A principal fonte de Mg são os dolomitos – $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ (Santos 1997).

O sódio é um dos metais alcalinos mais importantes e abundantes nas águas devido à sua ampla distribuição nos minerais e à sua solubilidade elevada e à difícil precipitação da maioria dos seus compostos químicos (Feitosa *et al.* 1997).

O potássio ocorre principalmente nos feldspatos potássicos e micas. Esse elemento ocorre em pequenas quantidades nas águas devido à sua participação intensa em processos de troca iônica (Feitosa *et al.* 1997).

As concentrações de cálcio variaram de 0,17 µg/L a 71,0 µg/L nas amostras de água do inverno e de 0,07 µg/L a 9,04 µg/L nas de verão (Figura 4.19.a), enquanto as concentrações de magnésio variaram de 0,1 µg/L a 4,79 µg/L no inverno e de 0,04 µg/L a 2,39 µg/L no verão (Figura 4.19.b).

As águas apresentaram concentrações de sódio que variaram de 0,18 µg/L a 2,91 µg/L no inverno e de 0,15 µg/L a 0,98 µg/L no verão (Figura 4.19.c), enquanto que as concentrações de potássio mostraram variações de 0,07 µg/L a 1,71 µg/L no inverno e de 0,08 µg/L a 0,60 µg/L no verão (Figura 4.19.d). As concentrações de sódio e potássio revelaram uma pequena variação ao longo da bacia. As concentrações desses elementos apresentaram valores relativamente maiores no inverno, que pode ser justificado pelo volume de água nesta estação.

O ponto MM-04 localiza-se a jusante de rochas intrusivas (Figura 1.4) e apresenta concentrações altas de Ca, Mg, Na e K. Suas águas se misturam às do ponto MM-03 e MM-05 indo desembocar no ponto MM-06. Neste último, os altos teores desses elementos não se fazem sentir devido ao processo de diluição dos cursos d'água.

Observa-se que o ponto MM-20 apresenta altos teores desses elementos, assim como alta concentração de alcalinidade, tendo reflexo nos valores de CE e TDS que, como já vimos, também são altos. Como este ponto localiza-se imediatamente a jusante do lançamento de efluentes e rejeitos da mineração ANGLOGOLD, estes valores podem ser reflexos de sua influência.

4.3.4 – Metais Traço

Dos metais e metalóides analisados os resultados obtidos para: As, B, Cd, Cr, Cu, Mo, Ni, e V apresentaram valores abaixo do limite de quantificação para a técnica utilizada (ICP-OES) para todas as amostras (Tabela 4.2).

Tabela 4.2: Limite de quantificação dos elementos analisados nas amostras de água por ICP-OES.

Elemento	As	Be	Cd	Cr	Cu	Mo	Ni	V
LQ (µg/L)	100	0,3	4	7	2	3,9	15	3

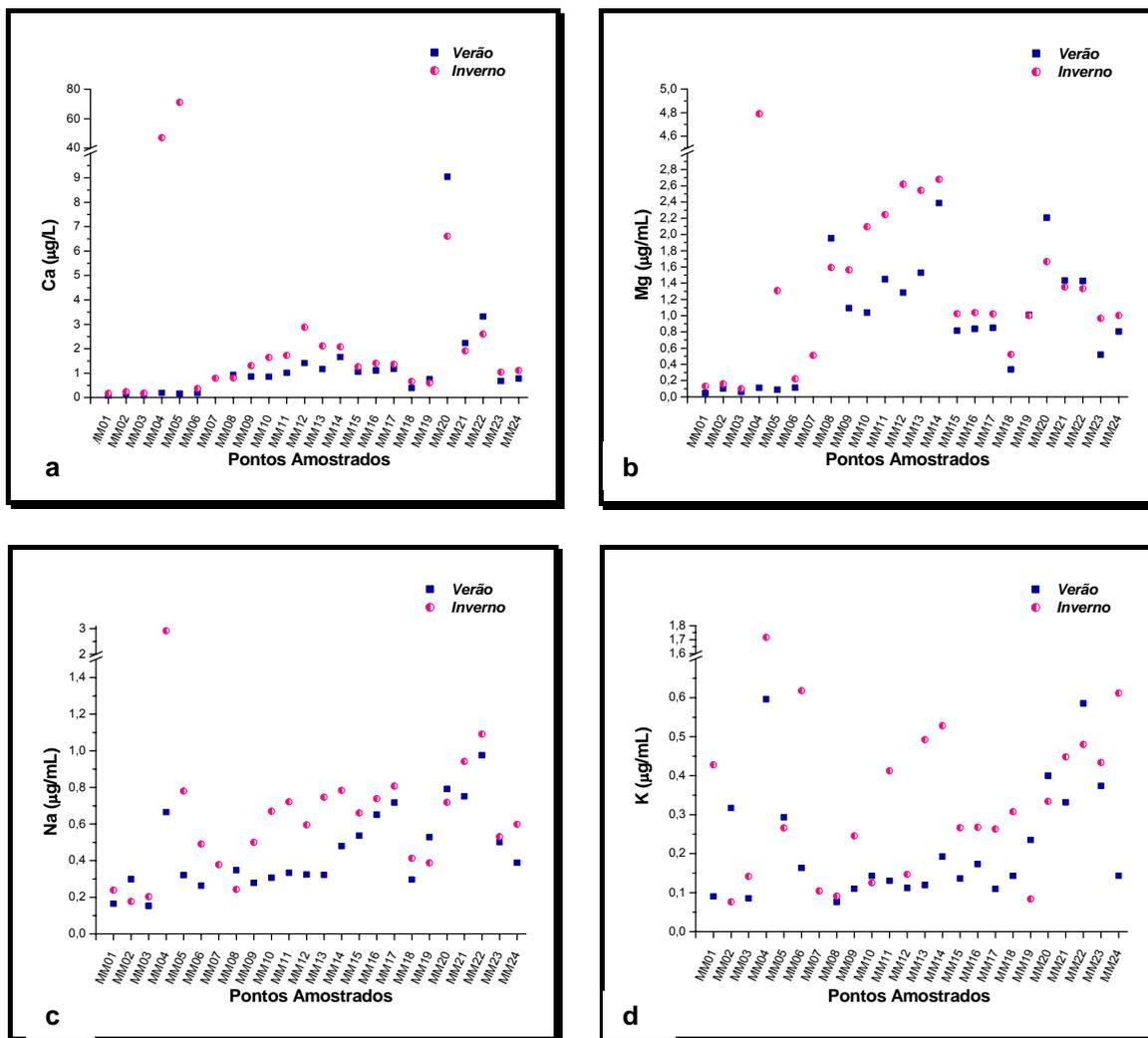


Figura 4.19 - Concentrações cálcio (a), magnésio (b) de sódio (c) e potássio (d), em amostras de água da bacia do ribeirão Caraça nas estações de seca e chuva.

4.3.4.1 – Alumínio (Al)

Em geral, foram encontradas baixas concentrações de alumínio nas amostras de água. Isso pode ser justificado pela baixa solubilidade desse elemento frente a processos de intemperismo (Wedepohl 1978). Algumas amostras apresentaram concentrações de Al solúvel abaixo do limite de quantificação ($<0,05 \mu\text{g/L}$). Nas amostras coletadas no verão a concentração de alumínio variou de $20,01 \mu\text{g/L}$ a $90,05 \mu\text{g/L}$ e no inverno a variação foi $14,0 \mu\text{g/L}$ a $123,5 \mu\text{g/L}$ (Figura 4.20). Altas concentrações de Al foram encontradas no Parque do Caraça nos pontos MM-02, MM-03 e MM-06, podendo ser atribuídas à presença de rochas típicas locais, provavelmente associadas à dissolução de feldspato, sob condições de baixo pH da água, que pode ter liberado maiores quantidades de íons desse elemento.

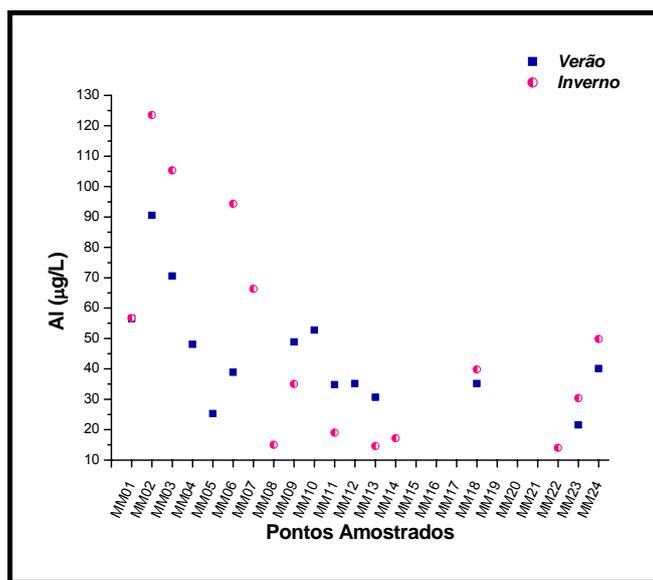


Figura 4.20 - Concentrações de alumínio em amostras de águas de estações de seca e chuva.

4.3.4.2 – Ferro (Fe)

O ferro ocorre principalmente na superfície da terra, como o cátion Fe^{3+} , sob a forma de hidróxido férrico, podendo também ocorrer como Fe^{2+} , que se apresenta como hidróxido ferroso. O ferro no estado ferroso é instável na presença do oxigênio do ar, sofrendo oxidação para o estado férrico. Os minerais ferromagnesianos, componentes das diversas rochas ígneas e metamórficas, tais como piroxênios, olivinas e biotita são os principais minerais portadores de ferro na crosta terrestre (Santos 1997).

As amostras de água apresentaram concentrações de ferro total, durante o verão e inverno, que variaram de 35 $\mu\text{g/L}$ a 798 $\mu\text{g/L}$ e de 31,2 $\mu\text{g/L}$ a 645 $\mu\text{g/L}$, respectivamente (Figura 4.21). As maiores concentrações foram encontradas nas áreas **A2** e **A3**, provenientes de rochas pertencentes à formação ferrífera aflorantes nessas áreas. Nas amostras localizadas a jusante da mineração de ouro (pontos MM-20, MM-21, MM-22 e MM-24) e nas amostras localizadas próximas à mineração de dunito/serpentinó (pontos MM-09, MM-10, MM-11, MM-12, MM-13 e MM-14) foram identificadas concentrações de Fe acima do permitido pela resolução CONAMA 357/05 para as classes 1, 2 e 3. As atividades mineiras podem estar atuando na disponibilização e mobilização do ferro para o meio aquático.

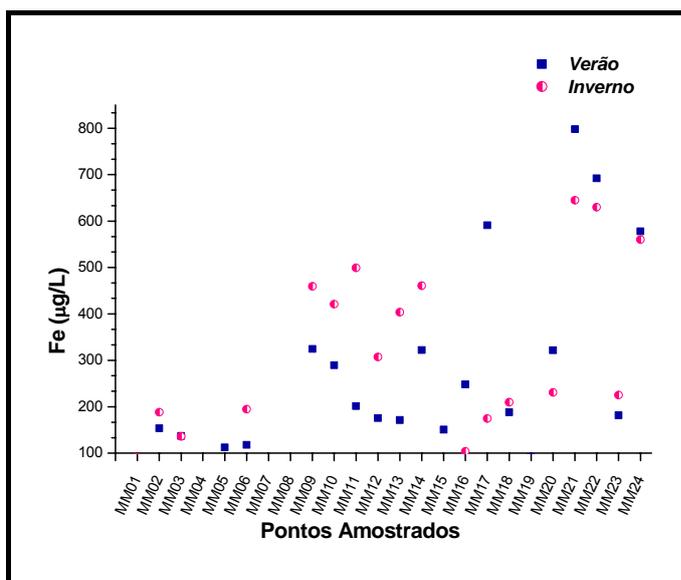


Figura 4.21 - Variação de ferro entre as estações de seca e chuva na bacia do ribeirão Caraça.

4.3.4.3 – Bário (Ba) e Estrôncio (Sr)

O bário distribui-se principalmente nas estruturas de feldspatos e micas, muitas vezes em substituição ao Ca. O estrôncio é um elemento associado aos feldspatos e, secundariamente, aos minerais ferro-magnesianos. É parcialmente substituído por Ba e Ca, tendo relativa abundância em minerais contendo Ca (Henderson *et al.* 1984).

As concentrações de bário variaram de 1 µg/L a 115,5 µg/L no verão e de 1,4 µg/L a 103,9 µg/L no inverno (Figura 4.22.a). As águas apresentaram concentrações de estrôncio que variaram de 1,3 µg/L a 304,5 µg/L no inverno e de 0,7 µg/L a 36,7 µg/L no verão (Figura 4.22.b). Maiores concentrações de Ba e Sr são observadas quando o volume de água é menor (inverno). Nota-se o aumento da concentração desses elementos nas amostras MM-04 e MM-05 localizadas na área A1, associados à presença de rochas intrusivas a montante desses pontos. Observa-se também altas concentrações desses elementos nos pontos MM-20 e MM-21, provavelmente associadas à presença de coberturas recentes que cortam essa área.

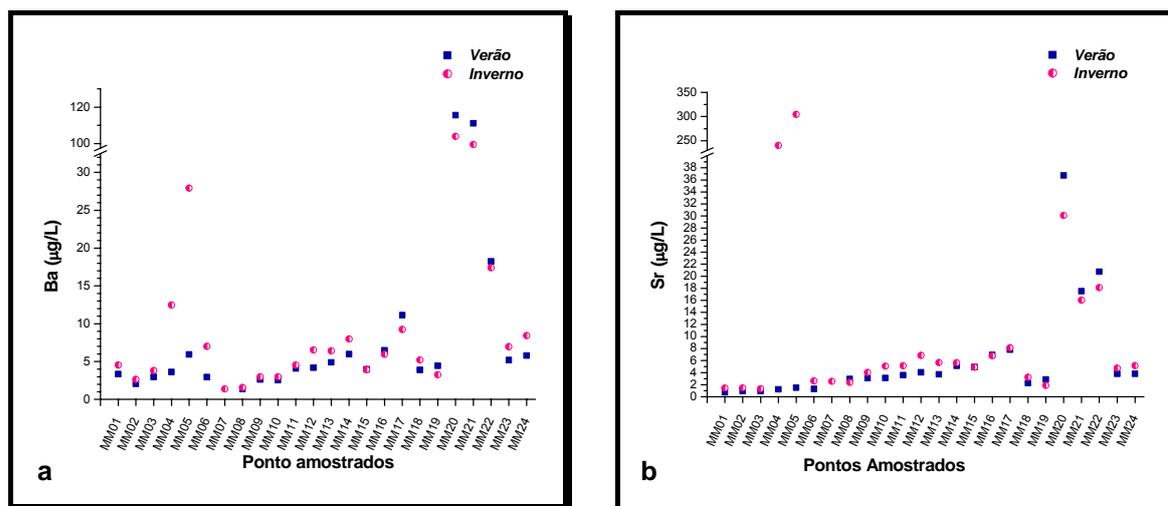


Figura 4.22 - Concentrações de bário em amostras de água da bacia do ribeirão Caraça nas estações de seca e chuva.

4.3.4.4 – Manganês (Mn)

O manganês assemelha-se ao ferro quimicamente sendo menos abundante que o mesmo na crosta terrestre. Conseqüentemente, sua presença nas águas naturais é menos comum e a sua concentração, em geral, é muito menor que a do ferro (Santos 1997). A ocorrência de manganês no estado reduzido (Mn^{+2}) é mais freqüente nas águas subterrâneas do que nas águas superficiais, devido ao fato do oxigênio presente nas águas superficiais oxidar a forma menos solúvel do óxido de manganês hidratado (CESTESB 1993).

As concentrações de manganês variaram de 3,8 µg/L a 4510 µg/L no inverno e de 4 µg/L a 4286 µg/L no verão (Figura 4.23). De uma maneira geral, as anomalias de Mn estão associadas às anomalias de Fe. Concentrações acima do permitido pela resolução CONAMA 357/05 para as classes 1, 2 e 3 foram encontradas à jusante da mineração pertencente a ANGLOGOLD, nos pontos MM-20, MM-21 e MM-22, sendo os efluentes da mineração de ouro a provável fonte de contaminação de manganês nas águas.

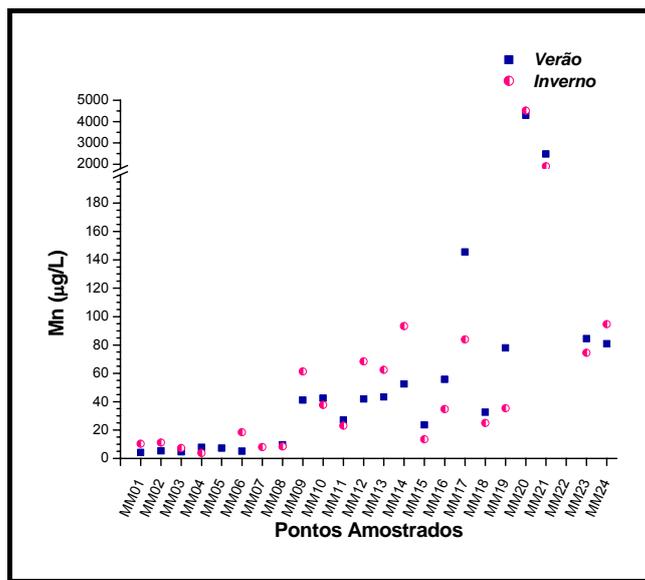


Figura 4.23 - Concentrações de manganês em amostras de água da bacia do ribeirão Caraça nas estações de seca e chuva.

4.4 – ANÁLISE MICROBIOLÓGICA

Entre os contaminantes biológicos da água, estão os organismos patogênicos como bactérias, vírus, protozoários e helmintos que, através da ingestão de água podem parasitar o organismo humano (Branco & Rocha, 1977).

Foi realizado o estudo das bactérias do grupo coliformes, consideradas organismos indicadores de contaminação fecal. Estas não são patogênicas, mas apresentam resistência similar, podendo indicar quando uma água apresenta contaminação por fezes humanas ou de animais e, conseqüentemente a sua potencialidade para transmitir doenças (Christovão 1974).

Os resultados de coliformes totais e fecais nas amostras de água na bacia do ribeirão Caraça encontram-se na Tabela 4.3 e são discutidos a seguir. Na Tabela 4.4 encontram-se ainda os limites permissíveis considerados pela Resolução CONAMA 357/05 estabelecidos para águas de classes 1, 2 e 3.

Tabela 4.3 - Número Mais Provável (NMP) de coliformes totais e fecais nas águas da bacia do ribeirão Caraça.

Amostra	NMP (Número Mais Provável)	
	Coliformes Totais	Coliformes Fecais
MM-03	240	240
MM-10	1100	1100
MM-14	23	9
MM-16	240	240
MM-18	150	150
MM-23	23	23
MM-24	1100	460

Tabela 4.4 - Padrões de coliformes em corpos d'água (Resolução CONAMA 357/05).

Padrão (organismos/100ml da amostra de água)		
Classe do corpo d'água	Coliformes Totais	Coliformes Fecais
Especial	ausente	ausente
Classe 1	1000	200
Classe 2	5000	1000
Classe 3	20000	4000

As águas do ponto MM-03, localizado no Parque Natural do Caraça, podem ser destinadas à recreação de contato primário, tais como natação e mergulho, conforme resolução CONAMA 357/05, mas são consideradas impróprias se destinadas à preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral.

Em todos os outros pontos é realizada captação de água para consumo humano. De acordo com a Resolução CONAMA 357/05, todas amostras de água analisadas podem ser consideradas impróprias para abastecimento doméstico sem ou com simples desinfecção.

Vale destacar que na área de estudo é comum a utilização de poços e nascentes, em diversos domicílios, como forma de abastecimento de água. A população próxima aos pontos onde foram coletadas as amostras de água foi perguntada, entre outros itens, sobre a forma como seu domicílio é abastecido de água. A resposta a este item dependeu do entendimento dos moradores sobre a maneira preponderante de como aquele domicílio é abastecido, sendo comum o abastecimento por fontes alternativas, através de mangueiras ou recebendo água diretamente de poços tubulares.

CAPÍTULO 5

CARACTERIZAÇÃO DOS SEDIMENTOS

5.1 – ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

Para a análise granulométrica foram selecionados 14 pontos ao longo da bacia hidrográfica do ribeirão Caraça, amostrados durante o verão. Foram identificadas as seguintes frações granulométricas: areia muito grossa (AMG), areia grossa (AG), areia média (AM), areia fina (AF), areia muito fina (AMF) e silte + argila (S/A). Os resultados obtidos mostram que as porcentagens granulométricas são bastante variáveis ao longo da bacia (Figura 5.1 e Anexo VI). No entanto, a fração areia representa a fração dominante para os sedimentos estudados.

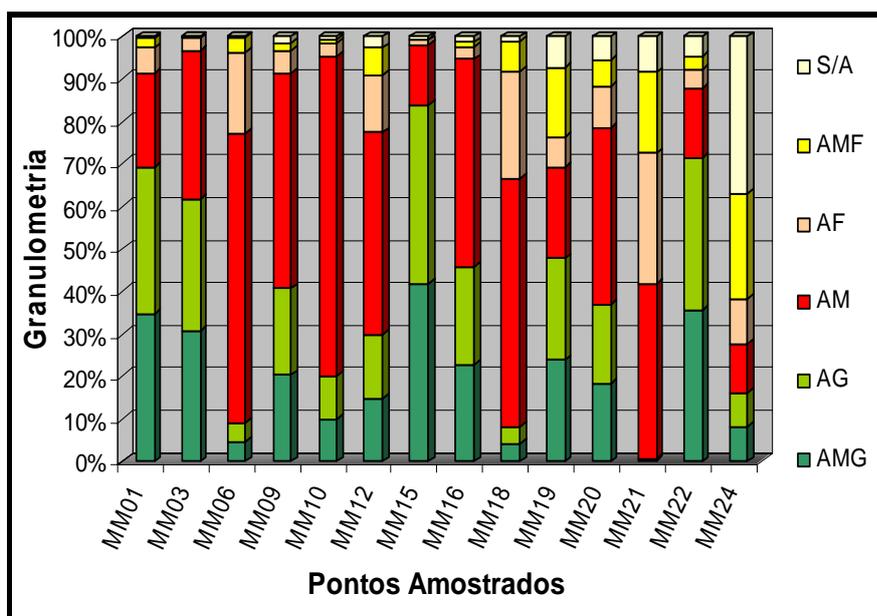


Figura 5.1 - Gráfico mostrando a variação granulométrica ao longo da bacia hidrográfica do ribeirão Caraça.

Na área **A1**, região do Parque do Caraça, para as amostras coletadas no ribeirão Caraça, pontos MM-01, MM-03 e MM-06, a fração maior (areia muito grossa) diminui da montante à jusante, devido a diminuição da declividade neste trecho e conseqüente menor energia de transporte. Na área **A2**, destaca-se o ponto MM-10, localizado no córrego Quebra-Ossos, a jusante da mina Francisco III. Nota-se que não houve aumento da fração fina à jusante da mina, esse fato deve-se à existência de uma pequena barragem cuja função é a retenção dos efluentes e particulados em suspensão oriundos da mina (Figura 5.2).



Figura 5.2 - Foto mostrando a barragem de contenção de efluentes e materiais particulados oriundos da mina Francisco III.

A granulometria das amostras analisadas da área **A3**, variou da seguinte maneira: No córrego do Engenho, a fração mais fina aumenta da montante à jusante, observado nos pontos MM-15, MM-16, MM-18. No córrego Moinho de Olício, o ponto à montante e bem próximo da barragem (MM-21) é composto por sedimentos de granulometria fina, por se tratar de um ambiente de deposição. O ponto MM-24, localizado no ribeirão Caraça, recebe a contribuição de todos os córregos da bacia, o que justifica o aumento considerável da fração fina.

5.2 – ANÁLISE GEOQUÍMICA

Os sedimentos participam ativamente dos processos biogeoquímicos desempenhando importante função no comportamento de metais aportados para o sistema hídrico. São importantes depositários de metais poluentes e também atuam como fontes potenciais de liberação desses metais para o ambiente aquático, tornando-os disponíveis para incorporação pela biota.

Vários estudos (Eleutério 1997, Lottermoser 1998, Costa 2001) demonstraram que a contaminação por metais em sedimentos é mais intensa do que em águas, ou seja, estes são mais estáveis como solutos do que como íons dissolvidos na solução.

Durante o transporte no sistema fluvial, metais traço em forma de soluto, tornam-se complexados e também adsorvidos ou absorvidos em sedimentos em suspensão ou em sedimentos de fundo (Banks *et al.* 1980). Hidróxidos de ferro, alumínio, manganês e substâncias húmicas são

respectivamente fases minerais e orgânicas que conferem propriedade de adsorção à sedimentos, que por sua vez exercem papel importante no acúmulo, transporte e biodisponibilidade de metais traço em ambientes aquáticos (Francisco & Masini 1999). Dessa forma, o estudo dos sedimentos é importante para o entendimento da dinâmica dos metais durante a dispersão fluvial.

Os resultados das análises químicas dos sedimentos estudados encontram-se no Anexo VII. Para o estudo dos sedimentos foram selecionados elementos que refletissem a assinatura geoquímica das rochas e que pudessem retratar a geologia local. As análises em sedimentos envolveram a determinação dos elementos maiores (Na, K, Ca, Mg, Al, Fe, Si, Mn e Ti) e metais traço (As, Ba, Bi, Cd, Co, Cr, Cu, Li, Na, Ni, Pb, S, Sb, Sc, Sr,Th,Ti, V, Y, Zn e Zr). Na figura 5.3 encontra-se o mapa geológico detalhado da área. Alguns pontos não foram amostrados devido a questões operacionais, tais como, profundidade e ausência de material fino. Os valores que não estão representados nos gráficos devem-se ao fato de estarem abaixo do limite de quantificação.

5.2.1 – Elementos Maiores

5.2.1.1 – Cálcio (Ca) e Magnésio (Mg)

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

O magnésio participa da composição de minerais de vários grupos: óxidos e hidróxidos; silicatos; carbonatos; sulfatos; fosfatos, arseniados; boratos, halóides e outros minerais. Nos sedimentos, além dos minerais evaporitos, que é um caso especial, está presente principalmente na dolomita e nos filossilicatos (Turekian & Wedepohl 1961).

É evidente que o Ca e o Mg apresentaram padrões de ocorrência similares, sugerindo uma correlação vinculada à litologia. A concentração de cálcio atingiu valores entre 77,4 mg/kg e 3841,0 mg/kg (Figura 5.4.a). Os teores de magnésio variaram entre 1,6 g/kg e 63,7 g/kg e encontram-se relativamente mais elevados que o cálcio. (Figura 5.4.b). Em geral, os teores mais elevados destes elementos foram encontrados na área **A2**, possivelmente relacionados às rochas máficas ali aflorantes.

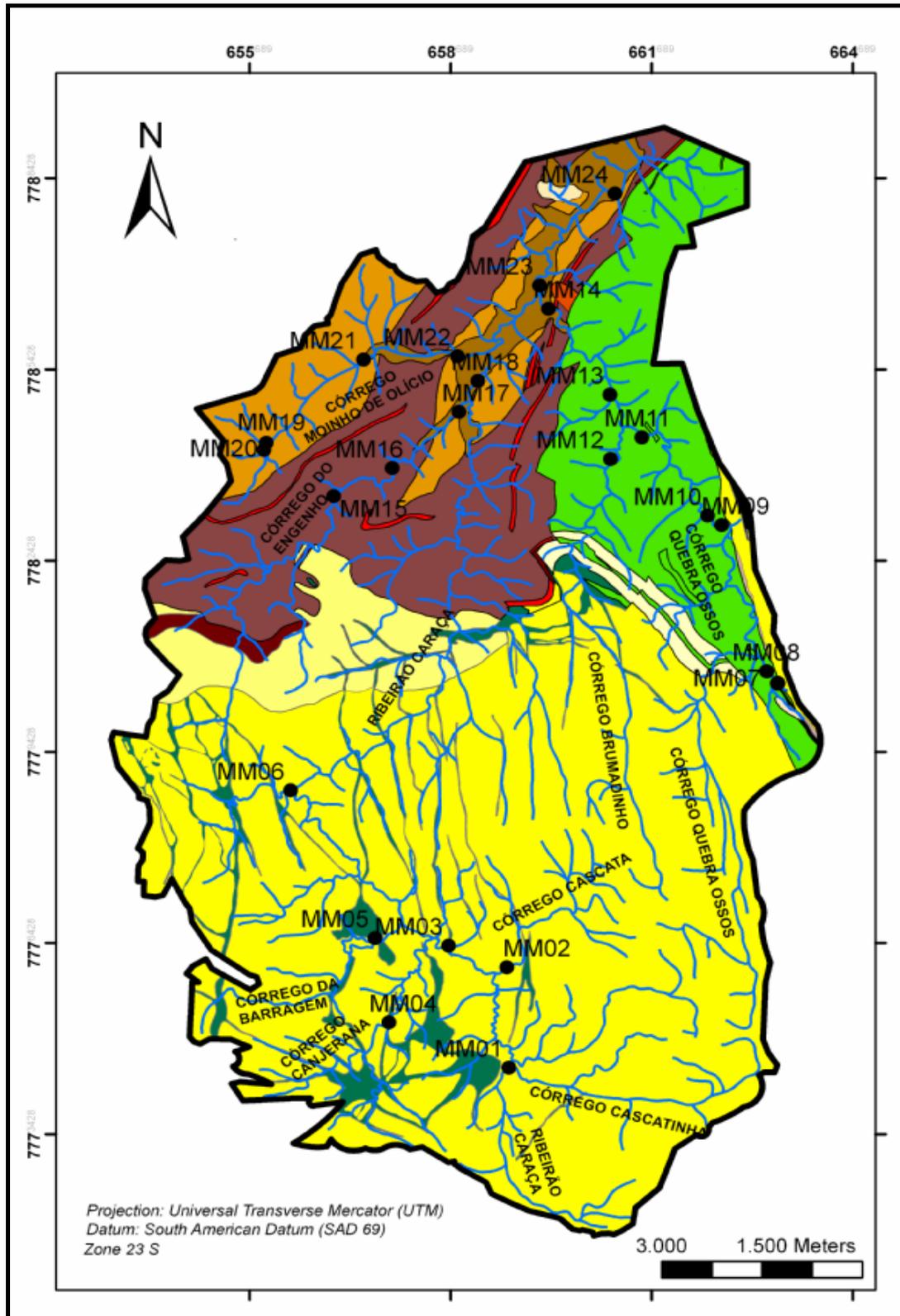


Figura 5.3 - Mapa geológico detalhado da bacia hidrográfica do ribeirão Caraca (Modificado de Codemig 2004).
Legenda: página ao lado.

Legenda

□ Limite da bacia

• Pontos Amostrados

— Drenagem

Litologia

■ Diabásio

■ Talco xisto, serpentinito, dunito, peridotito, lava komatiítica, formação ferrífera e turmalinito

■ Formação Ferrífera

■ Canga: contendo rolados e laterita; com formação ferrífera detrítica cimentada por limonita

■ Areia, argila e cascalho

■ Mica-quartzo xisto, clorita-quartzo xisto, sericita-clorita xisto, xisto carbonoso, formação ferrífera e metachert

■ Metaparaconglomerado polimítico e quartzito

■ Filito sericítico, filito carbonoso, lente de quartzito fino e de formação ferrífera

■ Quartzito-carbonato-mica-clorita xisto, quartzito-mica xisto, filito carbonoso; formação ferrífera subordinada (metapelitos e metapsamitos com estratificação gradacional e cruzada)

■ Quartzito, grit, conglomerado polimítico e filito; quartzito fino e quartzito filítico

■ Quartzito sericítico de granulação média a fina e quartzito conglomerático subordinado

■ Quartzito fino, quartzito filítico, filito e conglomerado

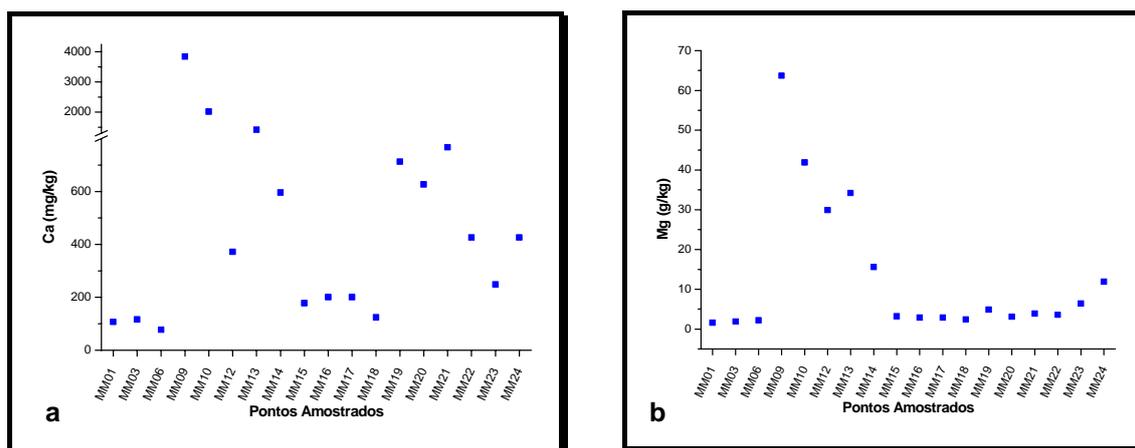


Figura 5.4 - Gráficos evidenciando as variações dos teores de cálcio (a) e magnésio (b), em amostras de sedimentos na estação chuvosa (verão).

5.2.1.2 – Potássio (K) e Sódio (Na)

Os minerais que contêm potássio como principal constituinte são os feldspatos, micas (muscovitas) leucita e nefelina. O sódio está frequentemente associado às mesmas fontes litogênicas do potássio, por exemplo, rochas que contenham feldspatos (Wedepohl 1978).

O potássio apresentou concentrações na faixa de 1,0 g/kg e 15,7 g/kg (Figura 5.5.a). A concentração de sódio nos sedimentos variou entre 14,4 mg/kg e 7889,0 mg/kg (Figura 5.5.b). As anomalias de sódio e potássio encontram-se a jusante da mineração de ouro na área A3, indicando uma relação com a litologia e possivelmente os efluentes da mineração causam o enriquecimento desses elementos nos sedimentos de fundo.

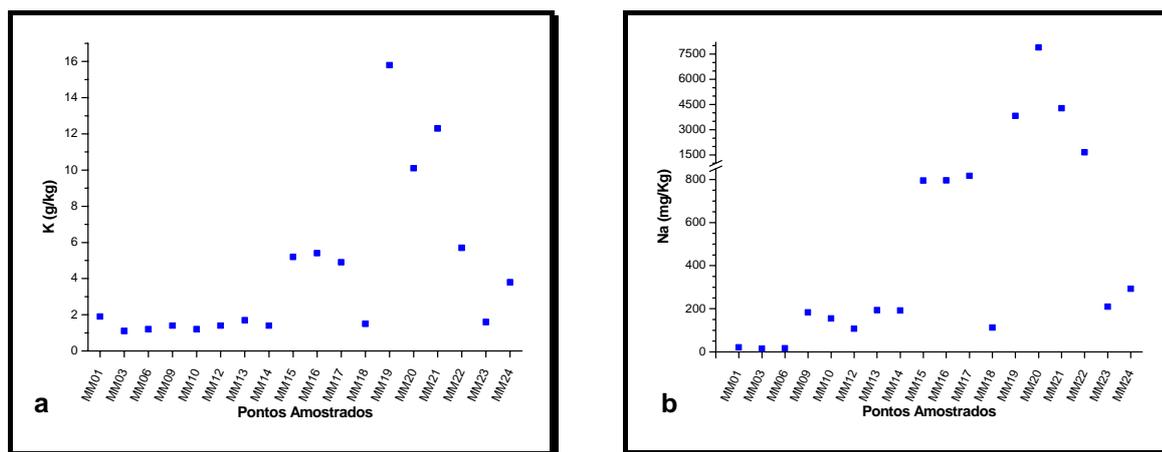


Figura 5.5: Gráficos evidenciando as variações dos teores de potássio (a) e sódio (b) em amostras de sedimentos na estação chuvosa (verão).

5.2.1.3 – Ferro (Fe), Manganês (Mn) e Alumínio (Al)

O ferro é um dos elementos químicos mais abundantes na natureza. Nas rochas ígneas os minerais contendo ferro são os piroxênios, anfibólios e as micas ferromagnéticas. (Braga 1980). Na área sedimentar o ferro apresenta-se basicamente na forma de Fe^{+3} , sendo os óxidos e hidróxidos de ferro como a hematita e a goethita os principais minerais representantes nos solos. Os minérios de ferro e os itabiritos desempenham um papel importante, especialmente na região do Quadrilátero Ferrífero, pois são constituídos, em maior parte, por hematita, magnetita e goethita (Krauskopf 1956).

Para Parra (2006) os teores de ferro no rio Conceição, localizado a jusante da área de estudo, estão relacionados basicamente com a goethita e a hematita, presentes na área e nas formações ferríferas que ocorrem na região.

O manganês é um constituinte significativo das rochas basálticas, ricas em olivinas, piroxênios e anfibólios. Pequenas quantidades de manganês estão comumente presentes na dolomita e no calcário, substituindo o cálcio. O principal mineral de manganês é a pirolusita (MnO_2). No intemperismo o manganês forma óxidos de manganês como a pirolusita e outros (Heineck 1980).

O alumínio ocorre em quantidades substanciais em muitos minerais de rochas ígneas tais como os feldspatos, os feldspatóides, as micas e os anfibólios. Os sedimentos mais comuns enriquecidos em alumínio são os folhelhos e argilitos (Wedepohl 1978).

As concentrações de ferro estiveram na faixa de 1,6 g/kg e 206,2 g/kg (Figura 5.6.a). Os sedimentos apresentaram teores de manganês entre 0,4 g/kg e 4,9 g/kg (Figura 5.6.b). Os altos valores de Fe e Mn nos córregos localizados na área A2 estão relacionados aos processos de intemperismo de

rochas, como os dunitos e serpentinitos do Grupo Nova Lima (Figura 5.3). Acredita-se que a mina Francisco III contribui para as altas concentrações desses elementos.

Altos valores de Fe e Mn nos córregos da área **A3** estão relacionados com os depósitos auríferos à montante desses pontos. Observa-se que os valores aumentam significativamente a jusante da mineração de ouro, sugerindo que a atividade mineradora contribui para as altas concentrações desses metais nos sedimentos.

As concentrações de manganês, também estão relacionadas com as ocorrências de ferro, sendo que o manganês e o ferro são elementos tanto siderófilos quanto litófilos, ocorrendo juntos na natureza.

A solubilização do alumínio em processos de intemperismo é baixa, tendendo a se encontrar em solos residuais, como laterias e bauxitas, muitas vezes associados a óxidos e hidróxidos de Fe-Mn. Encontra-se presente alumino-silicatos e caulinita (Wedepohl 1978). Os valores encontrados para alumínio estiveram entre 5,8 g/kg e 88,3 g/kg no período do verão (Figura 5.6.c). As altas concentrações de Al e Mn na área **A3** indicam uma associação que pode refletir a fonte litogênica e/ou a participação desses dois elementos no processo de intemperismo e mobilização.

5.2.2 – Metais Traço

5.2.2.1 – *Arsênio(As), Cobre (Cu) e Zinco (Zn)*

O arsênio é um elemento que ocorre freqüentemente em rochas sulfetadas. O cobre ocorre sob a forma dos minerais cobre nativo, cuprita, pirita e malaquita. O zinco pode substituir o ferro e o manganês em silicatos e óxidos (Wedepohl 1978).

O cobre apresenta-se sob a forma de sulfuro, devido ao seu caráter de metal nobre (Bornemisza 1982). O cobre ocorre nos minerais primários: calcopirita, bornita e calcocita, e nos minerais secundários: cuprita, azurita e malaquita, podendo ainda ser encontrado sob a forma solúvel e trocável (Braga 1980).

O zinco pode substituir o ferro e o manganês em silicatos e óxidos. Minerais de argila, óxidos de ferro e substâncias orgânicas podem conter altas concentrações de zinco, mesmo quando ocorrem distantes de rochas fonte (Wedepohl 1978).

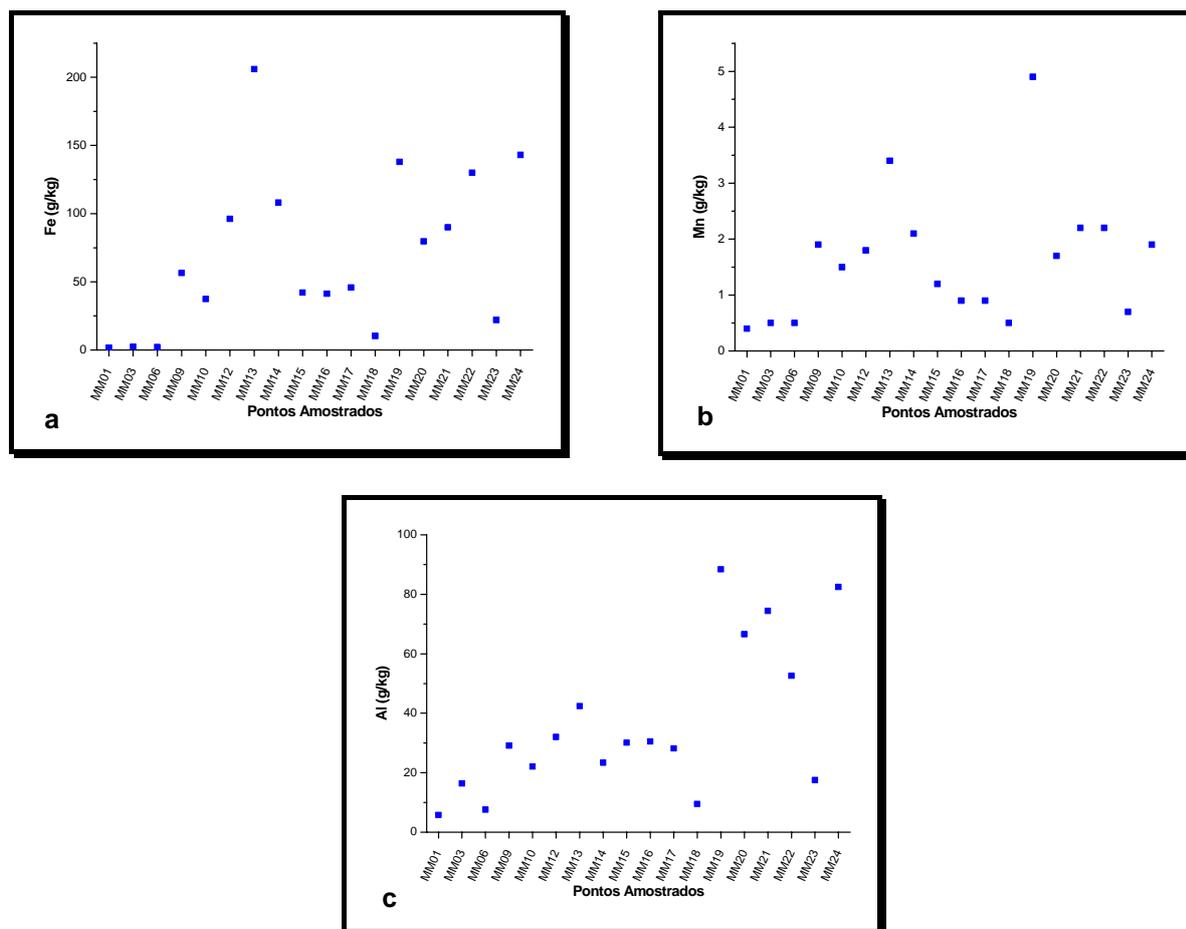


Figura 5.6 - Distribuição gráfica dos teores de ferro (a), manganês (b) e alumínio (c) em amostras de sedimentos na estação chuvosa (verão).

O As apresentou concentrações abaixo do limite de quantificação nos pontos da área 1. Os teores de arsênio variaram entre 8,4 mg/kg e 970,0 mg/kg. (Figura 5.7.a). Concentrações de Cu variaram entre 0,1 mg/kg e 91,0 mg/kg (Figura 5.7.b). Foram determinadas concentrações de zinco variando entre 0,9 mg/kg e 237,6mg/kg.(Figura 5.7.c).

Os altos teores de Cu e Zn na área A2 podem estar relacionados com os veios sulfetados que ocorrem nessa região; além disso, a mineração de dunito/serpentinó pode também estar influenciando o enriquecimento desses elementos nos sedimentos estudados. O elemento As ocorre no QF em associação com processos hidrotermais e supergênicos. Cerca de 80% das anomalias de As estão vinculadas às formações ferríferas (Heineck 1980). A alta concentração de As nos sedimentos de fundo, identificada no ponto MM-13, pode estar associada à formação ferrífera do Supergrupo Rio das Velhas.

Na área A3 também foram determinadas altas concentrações de arsênio, cobre e zinco relacionadas com os depósitos auríferos que ocorrem na região. Nota-se o aumento significativo das

concentrações de As, Cu e Zn à jusante da mineração de ouro, sendo essa, a provável fonte das altas concentrações desses metais.

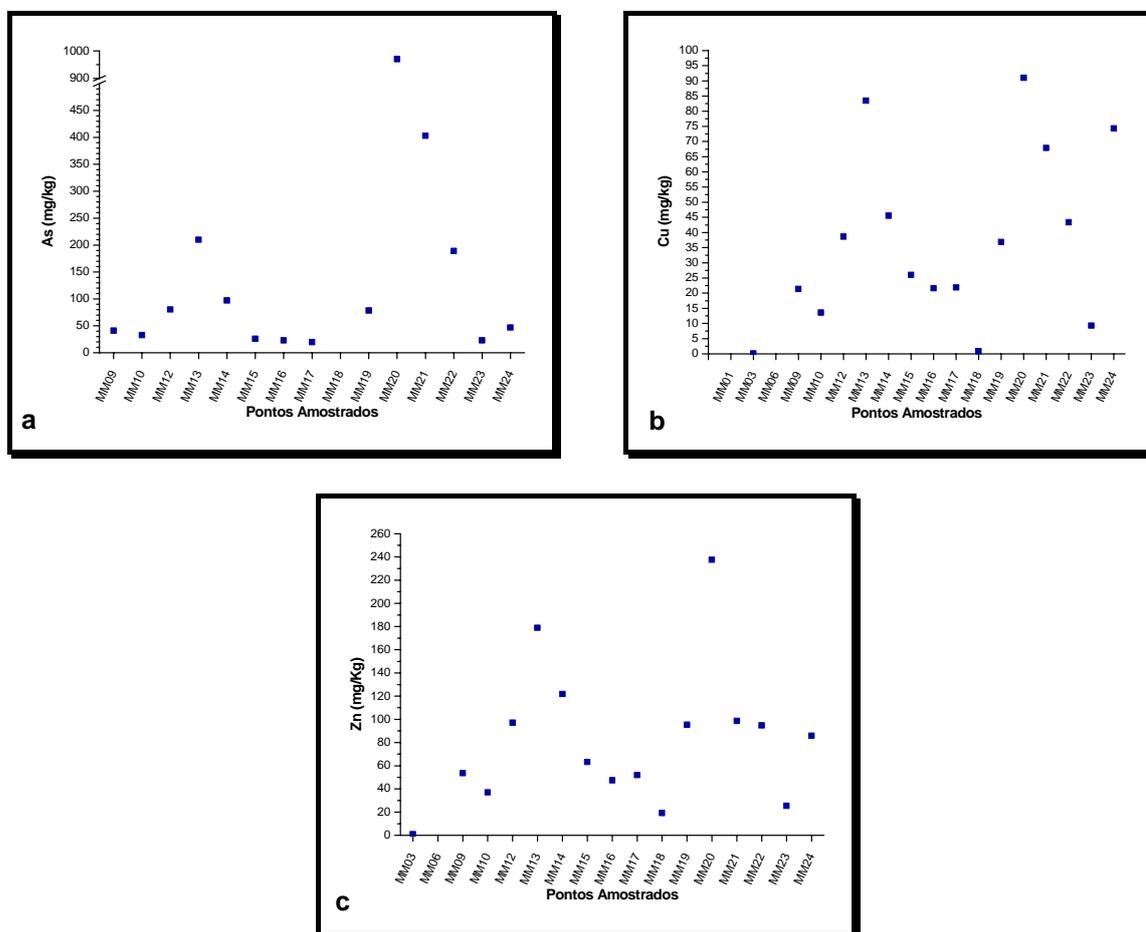


Figura 5.7 - Distribuição gráfica dos de arsênio (a), cobre (b) e zinco (c) em amostras de sedimentos na estação chuvosa (verão).

5.2.2.2 – Cobalto (Co) e Níquel (Ni)

Em rochas máficas e ultramáficas há uma forte correlação da concentração de cobalto com o número total de moles de ferro e magnésio (Andrews-Jones 1968). O níquel é ligeiramente mais abundante em rochas crustais do que o cobalto. Os dois elementos têm algumas características similares, uma vez que podem substituir o Fe^{2+} e, especialmente, o magnésio em minerais ferromagnesianos de rochas ígneas (Wedepohl 1978).

Na bacia do ribeirão Caraça, o cobalto apresentou concentrações entre 77,5 mg/kg e 242,2 mg/kg (Figura 5.8.a). Foram determinadas concentrações de níquel variando entre 11,46 mg/kg e 869,0 mg/kg.(Figura 5.8.b). Os altos teores de Co e Ni na área **A2** devem-se a presença de rochas máficas e ultramáficas ali aflorantes (Figura 5.3).

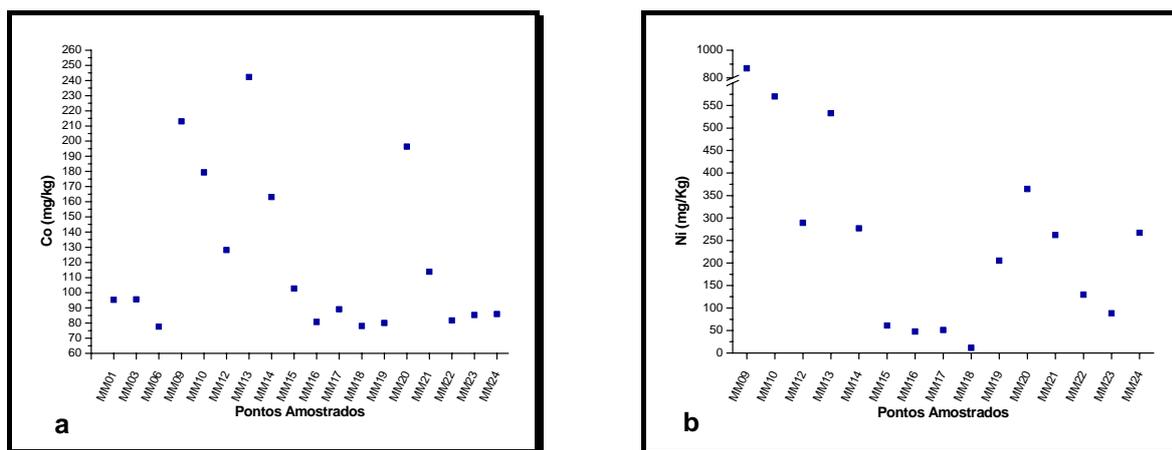


Figura 5.8 - Gráficos evidenciando as variações dos teores de cobalto (a) e níquel (b) em amostras de sedimentos na estação chuvosa (verão).

5.2.2.3 – Cromo(Cr) e Vanádio (V)

Na crosta terrestre, a abundância de cromo é similar à do vanádio. O cromo ocorre em rochas máficas e ultramáficas, sendo as últimas as mais ricas em cromo. Vários minerais contêm o cromo como constituinte majoritário. O mais comum é a cromita ($FeCr_2O_4$), a qual pode estar concentrada em resíduos lateríticos desenvolvidos sobre rochas ultramáficas (Bornemisza 1982).

O vanádio pode ser encontrado, em menor quantidade, como um constituinte da magnetita, do piroxênio, do anfibólio e da biotita (Mc Cutcheon *et al.* 1993). O vanádio é um elemento quimicamente semelhante ao As, sendo encontrado em depósitos sulfetados associados ao Pb, Cu, Zn e Mn e também em silicatos e micas (Krauskopf 1956).

Nas amostras estudadas, os teores de cromo atingiram valores entre 7,51 mg/kg e 2051,0 mg/kg (Figura 5.9.a). As concentrações de vanádio estiveram na faixa de 13,1 mg/kg e 267,5 mg/kg (Figura 5.9.b) As altas concentrações de Cr e V na área **A2** podem estar relacionadas com as rochas máficas e ultramáficas aflorantes na região.

Altas concentrações de cromo e vanádio e na área **A3**, possivelmente estão associadas com o As e com depósitos sulfetados e presentes a montante dessa área (Costa 2001).

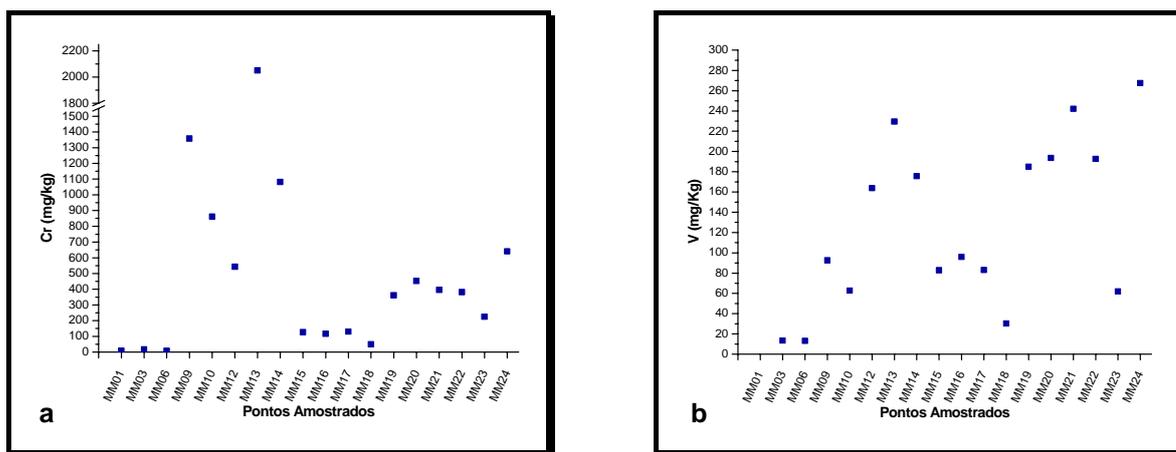


Figura 5.9 - Distribuição gráfica dos teores de cromo (a) e vanádio (b) em amostras de sedimentos na estação chuvosa (verão).

5.2.2.4 –Estrôncio (Sr) e Bário (Ba)

O estrôncio é um elemento associado aos feldspatos e, secundariamente, aos minerais ferro-magnesianos. Bário distribui-se principalmente nas estruturas de feldspato e micas. (Wedepohl 1978). O bário distribui-se principalmente nas estruturas de feldspatos e micas, muitas vezes em substituição ao Ca (Wedepohl 1978).

Nas amostras estudadas, os teores de Sr atingiram valores entre 1,4 mg/kg e 100,2 mg/kg (Figura 5.10.a). Os teores de Ba, nas amostras de sedimentos, atingiram valores entre 15,5 mg/kg e 513,0 mg/kg (Figura 5.10.b). As maiores concentrações de Sr e Ba foram encontradas na área A3. Acredita-se que as altas concentrações desses elementos nessa área, assim como, as concentrações de Co e Ni, estejam relacionadas com as ocorrências auríferas na região.

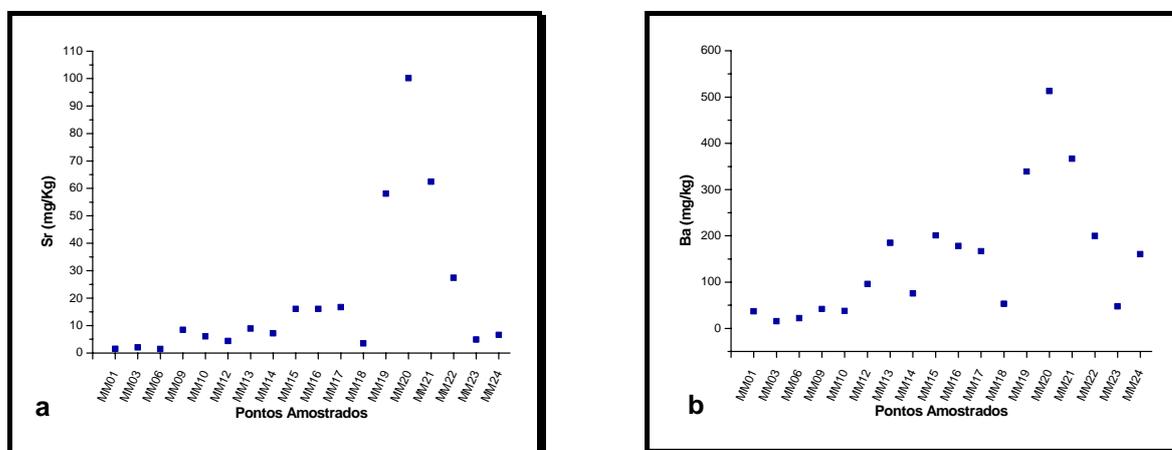


Figura 5.10 - Gráficos evidenciando as variações dos teores de estrôncio (a) e bário (b) em amostras de sedimentos na estação chuvosa (verão).

CAPÍTULO 6

CONSIDERAÇÕES FINAIS

6.1 – SITUAÇÃO AMBIENTAL DA BACIA DO RIBEIRÃO CARAÇA

Todas as coletas, análises e observações realizadas na bacia do ribeirão Caraça durante o período de monitoramento desta pesquisa possibilitaram configurar o atual quadro ambiental da área. Além disso, as informações geradas por esse estudo, poderão propiciar, também, uma visão mais integrada dos processos de degradação dos terrenos ocupados na bacia, bem como, auxiliar na elucidação dos fatos históricos que marcaram essa ocupação. Para tal, procurou-se organizar as informações e dados obtidos de tal forma que estes permitam aos leitores obter subsídios para novos estudos de preservação dos recursos hídricos e ecossistemas da região, bem como, quantificar o avanço da expansão urbana e conseqüências para a sua cobertura vegetal.

A partir do estudo dos padrões pluviométricos da bacia foi possível definir um ciclo sazonal da área, com verão chuvoso e inverno seco. Este padrão é comum para a região do Quadrilátero Ferrífero, onde se insere a bacia. Destaca-se, porém, o alto índice pluviométrico anual, superior a 2000 mm, provavelmente relacionado com a geomorfologia única da Serra do Caraça. É claro que este volume elevado de chuvas vai condicionar todos os ecossistemas encontrados na bacia.

6.1.1 – Área 1

A área **A1** fica localizada em quase sua totalidade na unidade morfoestrutural do Maciço do Caraça, com altitudes variando entre 900 e 2070 m e declividades acentuadas. Predominam na área os quartzitos e filitos do Grupo Caraça, ocorrendo localmente rochas intrusivas. Em função da tectônica, o padrão de drenagem é subparalelo a retangular de baixa densidade, com cursos de água alongados.

Esta porção da bacia engloba em sua totalidade o Parque Natural do Caraça e é, sem dúvida, a área mais preservada da bacia. Existem apenas algumas pequenas áreas que são utilizadas para agricultura de subsistência, próximas ao Santuário do caraça e mais a jusante, associadas às comunidades rurais.

Apesar de existirem 2 grandes reservatórios de água próximos à sede do Parque, a vazão monitorada nos pontos MM-01, MM-03 e MM-06, não apresentou indícios de interferência antrópica. Verificou-se, também, que o pH da água é ácido nos pontos MM-02 e MM-03, devido à presença considerável de ácidos húmicos nesses pontos. Esses valores baixos de pH podem constituir um problema na utilização dessa água na estação de seca. As altas concentrações de Ba, K, Mg, Na e Sr nos pontos MM-04 e MM-05, são reflexo da presença de rochas intrusivas à montante desses pontos.

No ponto MM-03, onde foi detectada a presença de coliformes, não há lançamento de esgoto, acredita-se que a principal fonte de contaminação seria a presença de animais de sangue quente nessa área.

Na área **A1** não foram encontrados valores significativamente altos para as concentrações de elementos traço nas águas e sedimentos analisados. Os únicos valores potencialmente prejudiciais à saúde se restringem ao alumínio na água, identificados nos pontos MM-02, MM-03 e MM-06 (CONAMA 357/05), relacionados com a presença de quartzitos do Grupo Caraça, aflorantes nessa área.

6.1.2 – Área 2

A maior parte da área **A2** encontra-se sobre as rochas do Grupo Nova Lima, em especial sobre sua unidade metavulcânica, correspondente ao antigo Grupo Quebra-Ossos. Geomorfologicamente, esta área pertence, em sua maior parte, à denominada Depressão Marginal do Rio Piracicaba.

Esta porção da bacia encontra-se ainda relativamente preservada, porém através da análise temporal e espacial do uso e ocupação do solo e cobertura vegetal, foi possível identificar ao longo destas últimas décadas um aumento de solo exposto na **A2**, relacionado com a presença de minerações e com pequenas áreas utilizadas para pastagem e agricultura. Em especial a partir de 1975 quando a empresa Valemix passou a explorar dunito/serpentinito aflorantes na região.

Ao contrário da área **A1**, na área **A2** há uma clara influência das atividades antrópicas na vazão monitorada no córrego Moinho de Olício, devido ao lançamento de efluentes oriundos da mineração de dunito/serpentinito e da retirada de água para abastecimento urbano. A presença de coliformes na amostra MM-10 deve-se principalmente a presença de criação de gado a montante desse ponto, sendo essa utilizada para consumo humano e irrigação.

Os elementos maiores Fe e Mn apresentaram concentrações elevadas nas águas e sedimentos à jusante da mina Francisco III. Os resultados mostram que a atividade mineira causa o aumento da mobilização de Fe e Mn para as águas. Destaca-se a alta concentração de As nos sedimentos, identificada no ponto MM-13, que pode estar associada à formação ferrífera do Supergrupo Rio das Velhas.

Já em relação aos sedimentos, as rochas máficas, tão abundantes na área, são as fontes principais dos elementos maiores Ca e Mg e dos metais traço Co, Cr, Ni, e V nos sedimentos. Os teores elevados desses elementos podem ser associados aos jazimentos metálicos naturais de ferro, manganês e ouro; ressalta-se que as atividades de mineração existentes em **A2** contribuem para que as concentrações dos metais fiquem mais disponíveis nos sedimentos.

6.1.3 – Área 3

Como a área **A2**, a maior parte da área **A3** encontra-se sobre as rochas do Grupo Nova Lima, porém aqui predomina sua unidade metassedimentar clástica, composta principalmente por xistos, filitos e quartzitos. Geomorfológicamente, esta área também pertence à denominada Depressão Marginal do Rio Piracicaba.

A área **A3** é sem dúvida a porção mais degradada da bacia, englobando a maioria de seus centros urbanos. O aumento de solo exposto na área está relacionado principalmente com o aumento de aglomerados urbanos, o que provocou também a expansão de áreas de pastagem e agricultura.

Semelhante ao que ocorre na área **A2**, foram encontradas diversas variações da vazão no córrego Moinho de Olício resultantes da atividade mineira, especialmente relacionadas com o barramento do referido córrego. Já porção mais a jusante da bacia, as discrepâncias dos valores de vazão são oriundas da captação de água por parte da Prefeitura. A presença de coliformes nas amostras de água analisadas está relacionada com o lançamento de esgoto a montante desses pontos, sendo estes utilizados para captação de água ou irrigação. Concentrações altas de Fe e Mn foram identificadas nas águas e sedimentos à jusante da mineração de ouro Córrego do Sítio, sugerindo que ocorre carreamento de sedimentos com alta concentração desses elementos da mineração para os córregos. Valores altos de alcalinidade, condutividade elétrica e sólidos totais dissolvidos nessa área, também são reflexos da atividade mineira da empresa ANGLOGOLD.

Em termos de sedimentos, os altos teores dos elementos maiores Al, K e Na encontrados podem ser relacionados à litologia local, associados principalmente com os minerais como feldspatos, e micas presentes nas rochas do Grupo Nova Lima. Os teores altos de Ba e Sr podem estar relacionados com a presença de rochas intrusivas diabásica ricas em sulfetos, que cortam toda essa área.

Na região a montante da área de estudo encontram-se cartografadas ocorrência de minerações de ouro e de garimpos em atividade (CPRM 1993). É provável que as ocorrências auríferas na região estejam associadas às rochas do Supergrupo Rio das Velhas. Esses depósitos de ouro do Arqueano apresentam uma associação característica com Cu, Pb, Zn, Ni, Cr e As (Förstner 1993). Sugere-se, portanto que as concentrações elevadas de Cu, Zn, Cr e Ni na área **A3** estejam associadas aos depósitos auríferos relacionados ao Grupo Maquiné, constituindo então uma provável fonte das mesmas. O aumento da concentração de As nos sedimentos, a jusante da mineração de ouro, sugere que a atividade da mesma proporciona um enriquecimento considerável desse metal traço.

6.2 – CONCLUSÃO

A divisão da bacia em áreas proporcionou o entendimento de como o uso e ocupação do solo interfere nas características geoquímicas e hidrossedimentológicas. Junto com o aumento da população, das atividades mineiras e a da utilização sem critério dos recursos hídricos introduziram modificações significativas nos cursos d'água da região estudada.

A presença de bactérias do grupo coliformes não gera impacto direto à biota do corpo d'água em si, mas afeta alguns usos a ele destinados, tais como abastecimento de água potável e balneabilidade. Ficou evidenciado que a população não é informada da necessidade de manutenção, limpeza e higienização dos reservatórios de água e não conhecem as possibilidades da água está contaminada. As comunidades envolvidas no presente estudo são originárias de distritos rurais e de bairros peri-urbanos da cidade de Catas Altas. A maioria da população vive na mais absoluta pobreza, em habitações precárias, sem saneamento básico e condições de higiene.

Os parâmetros físico-químicos analisados (condutividade elétrica, sólidos totais dissolvidos, sulfato e cloreto) e metais traço apresentaram, em geral, baixos valores nas águas, portanto de acordo com a Resolução CONAMA 357/05 tais águas enquadram-se na classe I. Valores baixos de pH encontrados na área **A1** podem constituir um problema na utilização dessa água na estação de seca. As concentrações de oxigênio dissolvido (OD) nas águas das áreas **A2** e **A3** classificam-na como de classe III. As concentrações de Fe e Mn nas áreas **A2** e **A3**, estão acima do permitido para as classes I, II e III. Ferro e manganês podem causar sérios riscos para a biota quando ocorrem em altas concentrações na água. Para o homem, teores elevados de Mn podem gerar além da manganose (infecção pulmonar causada pela saturação de poeiras), uma doença conhecida como Manganismo ou Loucura Mangânica. Trata-se de uma doença irreversível quando atinge um determinado grau de contaminação que varia conforme o indivíduo (Oliveira 1984).

Com base na análise da geologia local, foi possível conhecer algumas fontes potenciais desses metais nas amostras de sedimentos analisadas. Observa-se que os valores considerados anômalos, principalmente nas áreas **A2** e **A3**, estão relacionadas com o processo de intemperismo e lixiviação dos litotipos da região, e com a presença das minerações. Embora tenham sido encontradas elevadas concentrações de metais em sedimentos, a maioria destes apresentam a tendência de neles permanecerem, considerando as condições físico-químicas, principalmente pH e Eh das águas que tendem a associá-los a óxidos e hidróxidos.

Este trabalho constitui-se na fase inicial do planejamento de uma bacia hidrográfica, identificando as principais atividades antrópicas e o reflexo das mesmas na cobertura vegetal e contaminação dos mananciais. Assim, espera-se que a análise hidrossedimentológica e geoquímica na

bacia hidrográfica do ribeirão Caraça, realizada nesta pesquisa, sirva de base para futuros estudos ambientais e até inclusive para projetos de gestão da bacia.

Por tratar-se de uma região que possui uma reserva ecológica, acreditamos ser extremamente importante investir em um Programa de Educação Ambiental objetiva formal (escolar) e informal (sociedade). A presença da qualidade das águas é uma necessidade universal, que exige séria atenção por parte das autoridades sanitárias e órgãos de saneamento.

Referências

- Agudo E. G. 1987. *Guia de coleta e preservação de amostras de água*. CESTEB, São Paulo, 150p.
- Alkmim F.F., Marshak S. 1998. Transamaznian Orogeny in southern São Francisco craton region, Minas Gerais, Brazil: evidence for Paleoproterozoic collision and collapse in the Quadrilátero Ferrífero. *Precambrian Research*, **90**: 29-58.
- Almeida F.F.M. 1977. O cráton do São Francisco. *Rev. Bras. Geoc.*, **7**(4): 349-364.
- Almeida F.F.M., Hasui Y. 1984. *O Pré-Cambriano do Brasil*. Blücher, São Paulo, 374p.
- ANA 2006. Sistema de informações hidrológicas. Disponível em <http://hidroweb.ana.gov.br/>. Acessado em 2005 e 2006.
- Andrade J. A. 2000. *Diagnóstico geoambiental da cabeceira do Rio das Velhas – APA Cachoeira das Andorinhas, Ouro Preto, Minas Gerais*. Dissertação de Mestrado. Departamento de Geologia, Universidade Federal de Ouro Preto, 188p.
- Andrews-Jones, D. A. 1968. *The application of geochemical techniques to mineral exploration. Mineral Industries Bull.* Colorado School of Mines Research Foundation, Inc. 84p. Traduzido por Tomaz A. M. Lobato, SUREG/BE.
- APA Sul RMBH 2004. Área de proteção ambiental da região metropolitana de Belo Horizonte. CEMAD-CPRM, Belo Horizonte, CD-ROOM.
- Atkins P. W. 1978. *Physical chemistry*. 6 ed. Oxford University Press, Oxford, 252p.
- Baird C. 1999. The chemistry os natural waters. In: Baird C. *Enviroment chemistry*, 2th, USA, p.421-459.
- Banks D., Yiunger P. L., Duples S. 1980. The historical use of mine-drainage and pyrite-oxidation waters in Central and Eastern England, United Kingdom. *Hidrology Journaul*, **4**(4): 55-68.
- Batalha B. L., Parllatore A. C. 1993. *Controle da qualidade da água para consumo humano: bases conceituais e operacionais*. CETESB, São Paulo, 198p.
- Braga J. M. 1980. *Avaliação da fertilidade do solo*. Edições da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 87p.
- Branco S. M., Rocha A.A. 1977. *Poluição, proteção e usos múltiplos de represas*. CETESB, São Paulo, 197p.
- Barbosa A. L. M. 1968. *Contribuições recentes à geologia do Quadrilátero Ferrífero*. Ouro Preto, Escola de Minas, 6p.
- Barbosa A. L. M. 1980. Superfícies de erosão no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. *Rev. Bras. Geoc.*, **10**(1):89-101.
- Barbosa G. V., Rodrigues D. M. S. 1965. O Quadrilátero Ferrífero e seus problemas geomorfológicos. *Bol. Min. Geogr.* **10-11**: 3-35.
- Barbosa G. V., Rodrigues D. M. S. 1967. *Quadrilátero Ferrífero*. Belo Horizonte. IG/UFMG, Belo Horizonte, 130p.
- Basílio M. S. 2005. *Geoquímica dos sedimentos associados aos minérios de ferro da região leste-sudeste do Quadrilátero Ferrífero, MG e seu potencial para adsorção e dessorção de metais traço*. Dissertação de Mestrado, Departamento de Geologia, Universidade Federal de Ouro Preto, 202p.
- Bigarella J. J. 2003. *Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais*. Editora da UFSC, Florianópolis, 560p.
- Bornemisza E. 1982. *Introducción a la química de suelos*. Facultad de Agronomía, Universidad de Costa Rica, Costa Rica, 74p.
- Bourg A. C. M. 1995. Speciation of heavy metals in soils and growundwater and implications for their natural and provoked mobility. In: Salomns W., Forstner U., Mader R. *Heavy metals: problems and solutions*. Springer, Germany, p.19-31.
- CETESB 1993. *Controle da qualidade da água para consumo humano*. CETESB, São Paulo, 198p.
- Christovão, D. A. 1974. Padrões bacteriológicos. In: *Água: qualidade, padrões de potabilidade e poluição*. CETESB, São Paulo, p.57-119.
- Chow V. T. 1959. *Open channel hydraulics*. New York. McGraw Hill Book Company. Inc. 680p.

- Codemig 2004. Geologia do Quadrilátero Ferrífero: integração e correção cartográfica em SIG, Belo Horizonte, CD-ROOM.
- Costa A. T. 2001. *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 atividades de extração mineral*. Dissertação de Mestrado, Departamento de Geologia, Universidade Federal de Ouro Preto, 138p.
- CONAMA 2005. Resolução do CONAMA N° 357 de 17 de março de 2005. Disponível em <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>. Acessado em 2005.
- CPRM 1993. *Texto explicativo – Mariana, folha SF-23-X-B*. Programa levantamentos geológicos básicos do Brasil. DNPM/CPRM, Brasília. 183p.
- Creed J. T., Sivaganesan M. 1995. Preservation of traces in water samples. *Journaul Am. Water Wks Assoc.*, **8**(2): 104-114.
- Custodio E., Llamas M. R. 1976. *Hidrologia subterranea*. Ediciones Omega, Barcelona, 157 p.
- Decreto 98.914 de 31 de janeiro de 1990. Dispõe sobre a instituição, no território nacional, de Reservas Particulares do Patrimônio Natural, por destinação do proprietário. Diário oficial da República Federativa do Brasil, Brasília.
- Derby O. A. 1906. The serra do espinhaço. *Journal Geologia*, **14** (5): 374-401.
- Dorr J. V. N., Gair J. E., Pomerene J. B., Reynearson G. A. 1957. *Revisão estratigráfica pré-cambriana do Quadrilátero Ferrífero*. DNPM/DFPM, Rio de Janeiro, 33p. Trad. A. L. M. Barbosa.
- Dorr J. V. N. 1969. *Physiographic, stratigraphic and structural development of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil*. DNPM/USGS, Rio de Janeiro, Boletim, 110p.
- Dunne T., Leopold L. B. 1978. Formation and controls of channel networks. *Progres in Phys. Geo.*, **4**: 211-239.
- Eleutério L. 1997. *Diagnóstico da situação ambiental da cabeceira da bacia do rio Doce MG, no âmbito das contaminações por metais pesados, em sedimentos de fundo*. Dissertação de Mestrado, Departamento de Geologia, Universidade Federal de Ouro Preto, 154p.
- Feitosa F. A. C., Manoel Filho J. 1997. *Hidrologia, conceitos e aplicações*. CPRM, Labhid-UFPE, Fortaleza, 421p.
- Forman R. T. T. 1995. *Land Mosaics. The Ecology of Landscapes and Regions*. New York. Cambridge University Press, 245p.
- Förstner R. P. 1993. *Gold metallogeny and exploration*. Chapman & Hall, New York, 432p.
- Förstner U. 2004. Traceability of sediment analysis. *Trends in Analytical Chemistry*, **23**(3):217-236.
- Francisco W., Masini J. C. 1999. Concentração de metais pesados em sedimentos do Rio Tietê (SP), extratíveis durante a titulação acidimétrica. In: X Encontro Nacional de Química Analítica, Santa Maria/RS, *Resumos*, Q-A.17.
- Greenberg A. E., Clesceri L. S., Eaton A. D. 1992. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 18th. American Public Health Association.
- Harder E. C., Chamberlin R. T. 1915. The geology of central Minas Gerais, Brazil. *Journal Geology*. **23**(4): 341-378, p.358-424.
- Heineck C. A. 1980. Geoquímica no Quadrilátero Ferrífero. In: SICEG, XVI Semana de Estudos Geológicos do Quadrilátero Ferrífero, Ouro Preto, *Resumos*, p.99-119.
- Henderson P., Pakhurst R. J. 1984. Analytical chemistry. In: Herderson P. *Rare earth element geochemistry*, 5th. Elsevier, Amsterdam, p.457-499.
- Herz N. 1970. Gneissic and igneous rocks of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. USGS/DNPM. *Professional Paper*, **641** (B): 1-57.
- Huber W. C. 1993. Contaminant transport in surface water. In: Maidment D. R. *Handbook of hydrology*. McGraw-Hill, Inc. USA, p.14.1-14.50.
- IBGE 2005. Coleção digital de mapas topográficos: folhas Catas Altas, Acuruí, Itabira. Disponível em <http://biblioteca.ibge.gov.br>. Acessado em 2005.

- Krauskopf, K. B. 1956. *Introducion to geochemistry*. Internacional Studente Edition. McGraw Hill Book Company.
- Ladeira E. A. 1980. *Metallogenesis of gold at the Morro Velho mine and in the Novas Lima district, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil*. Ph.D. Thesis. Universidade de Ontário, Canadá, 272p.
- Langmuir D. 1997. *Aqueous environmental geochemistry*. Prentice-Hall, New Jersey, 600p.
- Lei Federal 9433 de 8 de janeiro de 1997. Política Nacional dos Recursos Hídricos. Diário oficial da República Federativa do Brasil, Brasília.
- Lottermoser B. G. 1998. Heavy metal pollution of coastal river sediments, north-eastern, New South Wales, Australia: lead isotope and chemical evidence. *Environmental Geology*. **36**(1-2):118-126.
- Manahan S. E. 1994. *Environmental chemistry*. 6th. Lewis Publishers, USA, 811p.
- Matsumura M. S. 1999. *Avaliação e estudo de emissões de metais pesados pela barragem de Santarém (Samarco Mineração S. A) no sistema hídrico da região de Ouro Preto e Mariana: um estudo de qualidade de águas*. Dissertação de Mestrado, Departamento de Geologia, Universidade Federal de Ouro Preto, 117p.
- Marshak S., Alkimim F. F. 1989. Proterozoic contraction extension tectonics of the southern São Francisco region, Minas Gerais, Brazil. *Tectonics*, **8**(3): 555-571.
- McCutcheon S. C., Martin J. L. Barnwell Jr. T. O. 1993. Water quality. In: *Handbook of hydrology*. McGraw-Hill, USA. p.11.1-11.73.
- Medina A. I. M., Dantas M. E., Saadi A. 2004. APA Sul RMBH - *Geomorfologia*. Volume 6. CEMAD-CPRM, Belo Horizonte, CD-ROOM.
- Mestrinho S.S.P. 1999. *Geoquímica e contaminação de águas subterrâneas*. ABAS/PE-DNPM, p.47-64.
- Moutte J. 2003. Procedure for multiacid digestion of rocks and minerals. Géochimie, École des Mines de Saint Etienne. Disponível em <http://www.emse.fr/moutte/enplasma/prepar.htm#top>. Acessado em 2005.
- Naghetini, M. C., Pinheiro, M. C. 1997. Notas de aula de hidrologia aplicada. Desenvolvimento de material didático ou instrucional - acadêmico. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.
- Naveh Z., Lieberman A. S. 1993. *Landscape ecology. Theory and application*. 2^{ed}. Springer, New York, 123p.
- Noce C. M. 1995. *Geocronologia dos eventos magmáticos, sedimentares e metamórficos na região do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais*. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, Tese de Doutorado, 128p.
- Oliveira G. S. R., Jaques P. D., Shinzato E. 2004. APA Sul RMBH - *Cobertura e Uso da Terra*. Volume 3. CEMAD-CPRM, Belo Horizonte, CD-ROOM.
- Oliveira M. R. 1999. *Investigação da contaminação por metais pesados no sedimento de corrente e água do Parque Estadual do Itacolomi, Minas Gerais e arredores*. Dissertação de Mestrado, Departamento de Geologia, Universidade Federal de Ouro Preto, 181p.
- Oliveira O. A. 1984. Manganês – manganismo. *Revista Escola de Minas, REM*. Ano LVIII. **XXXVII**(3):35-41.
- Parra, R. R. 2006 – *Análise geoquímica de água e de sedimentos na bacia hidrográfica do rio Conceição, Quadrilátero Ferrífero, MG*. Dissertação de Mestrado, Departamento de Geologia, Universidade Federal de Ouro Preto, 112 p.
- Pires J. S. R., Santos J. E. 1995. Bacias hidrográficas - integração entre meio ambiente e desenvolvimento. *Ciência Hoje*. **19**(110): 40-45.
- Pollete M. 1993. *Planície do Perequê. Ilha de São Sebastião – SP. Diagnóstico e planejamento ambiental costeiro*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos.
- Renger F. E., Noce C. M., Romano A. W., Machado N. 1994. Evolução sedimentar do Supergrupo Minas: 500 Ma de registro geológico no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil. *Geonomos*, **2**:1-11.
- Rodrigues L. C. 1992. *O contexto geológico – estrutural do Parque Natural do Caraça e adjacências, Quadrilátero Ferrífero, MG*. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, 109p.
- Rodrigues L.C., Chemale F.Jr., Jost H. 1993. O posicionamento estratigráfico dos quartzitos da Serra do Caraça. In: Simp. Geol. de Minas Gerais, **7**, *Boletim da Soc. Bras. Geol., Núcleo Minas Gerais*, **12**:34-38.

- Santos A. C. 1997. Noções de hidrogeoquímica. In: Feitosa F. A. C., Manoel Filho J. *Hidrogeologia, conceitos e aplicações*. CPRM, Fortaleza, p.81-108.
- Santos S. A. M., Ruffino P. H. P., Schiel D. 2000. *Programa de educação ambiental com a visão integrada de bacias hidrográficas*. Prefeitura Municipal de São Carlos, São Carlos.
- Schiavetti A., Camargo A. F. M. 2002. *Conceitos de bacias hidrográficas. Teorias e aplicações*. Editus, Bahia, 294p.
- Schorscher H. D. 1978. Komatiitos na estrutura Greenstone Belt, Série Rio das Velhas, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil. In: *Cong. Bras. Geol., Resumo de comunicações*, p.292-293.
- Sperling M. V. 1996. *Introdução à qualidade das águas e o tratamento de esgoto*. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 24 p.
- Thornton I. 1983. *Applied environmental geochemistry*. London, 501p.
- Tucci C. E. M. 1997. *Hidrologia: ciência e aplicação*. ABRH:EDUSP, Porto Alegre.
- Turekian K., Wedepohl, K. H. 1961. Distribution of the elements in some major units of the earth's crust. *Geol. Soc. Amer. Bull.* Vol. 72, p.641-664.
- Varajão C. A. C. 1988. *Estudo comparativo das jazidas de bauxita do Quadrilátero Ferrífero, MG: micromorfologia, geoquímica, geomorfologia e sensoriamento remoto*. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, Dissertação de Mestrado, 213p.
- Wedepohl K. H. 1978. *Handbook of geochemistry*. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York.

ANEXOS

Anexo I

Nomenclatura e localização dos pontos de amostragem

Pontos	Coordenadas		Ribeirão/Córrego	Mata ciliar	Forma de leito	Características principais
MM01	659559	7774469	ribeirão Caraça	preservada	arenoso	trecho não-impactado, próximo à cachoeira da Bocaina
MM02	659530	7776045	córrego Cascata	preservada	cascalhoso	trecho não-impactado, conhecido como Cascatinha, cor acastanhada da água, cachoeira à montante do ponto
MM03	658661	7776385	ribeirão Caraça	preservada	arenoso	trecho não-impactado, conhecido como Prainha, coloração acastanhada da água
MM04	657771	7775179	córrego Canjerana	preservada	cascalhoso	trecho não-impactado, conhecido como Banho do Belchior, cor acastanhada da água, cachoeira à montante do ponto
MM05	657561	7776502	córrego da Barragem	preservada	arenoso	trecho não-impactado, localizado à jusante de um nível de base artificial conhecido como tanque grande
MM06	656303	7778821	ribeirão Caraça	preservada	cascalhoso	trecho não-impactado, conhecido como Tabuão, cor acastanhada da água, cachoeira à montante do ponto
MM07	663410	7780689	córrego Quebra Osso	preservada	cascalhoso	trecho não-impactado, difícil acesso, cor acastanhada da água
MM08	663405	7780690	córrego Quebra Osso	ausente	cascalhoso	trecho impactado, próximo a uma antiga mineração de serpentinito
MM09	662525	7783132	córrego Quebra Osso	não preservada	cascalhoso	localizado à jusante da barragem de contenção de rejeitos da mineração Francisco III, trecho impactado, ferridrita recobrindo os seixos
MM10	662736	7782984	córrego Quebra Osso	não preservada	cascalhoso	trecho impactado, à montante da mineração Francisco 3
MM11	661544	7784359	córrego Quebra Osso	não preservada	cascalhoso	trecho impactado devido a construção de uma estrada
MM12	661077	7784020	córrego Brumadinho	preservada	cascalhoso	alternância de trechos com características de "poço" e "corredeira", trecho não-impactado, coloração acastanhada da água
MM13	661067	7785030	córrego Quebra Osso	não preservada	cascalhoso	presença de barras, aparentemente não-impactado
MM14	660149	7786380	córrego Brumadinho	preservada	cascalhoso	presença de algumas casas à montante do ponto, ferridrita recobrindo os seixos
MM15	656943	7783438	córrego do Engenho	não preservada	cascalhoso	trecho impactado devido a construção de uma estrada
MM16	657817	7783878	córrego do Engenho	não preservada	arenoso	nesse trecho existem captações de água para consumo doméstico, presença de várias propriedades rurais
MM17	658814	7784760	córrego do Engenho	preservada	argiloso	trecho impactado, o córrego foi canalizado à jusante do ponto para construção de uma estrada
MM18	659098	7785244	córrego do Engenho	não preservada	cascalhoso	utilizado para balneabilidade, trecho impactado devido a construção de uma ponte
MM19	655903	7784164	sem nome	preservada	cascalhoso	trecho não-impactado, monitorado pela mineração AngloGold
MM20	655938	7784274	córrego Moinho de Olício	preservada	cascalhoso	trecho impactado, deposição de material fino sobre os cascalhos, não foi possível chegar à sua nascente, mas aparentemente está localizado bem próximo da mineração da AngloGold
MM21	657390	7785583	córrego Moinho de Olício	não preservada	argiloso	trecho impactado, localizado à montante da barragem de rejeitos da AngloGold
MM22	658792	7785636	córrego Moinho de Olício	não preservada	argiloso	trecho impactado, o córrego foi canalizado à montante do ponto para construção de uma estrada
MM23	660016	7786747	ribeirão Caraça	não preservada	arenoso	localizado à jusante da confluência do córrego Brumadinho e ribeirão Caraça, trecho impactado, presença de comunidades rurais
MM24	661143	7788187	ribeirão Caraça	não preservada	cascalhoso	presença de nível de base artificial à montante do ponto, utilizado para captação de água e balneabilidade, ferridrita recobrindo os seixos

Anexo II

Valores de vazão total nos pontos monitorados

Pontos	Q total (m ³ /s)			
	Outubro	Fevereiro	Maior	Agosto
MM-01	0,037	0,041	0,018	0,012
MM-03	0,131	0,170	0,058	0,048
MM-04		0,039	0,026	0,020
MM-05		0,058	0,058	0,054
MM-06	0,167	0,297	0,153	0,142
MM-08	0,005	0,010	0,005	0,005
MM-09	0,020	0,038	0,025	0,016
MM-10		0,046	0,042	0,017
MM-11	0,060	0,072	0,053	0,018
MM-12	0,021	0,040	0,011	0,002
MM-13	0,069	0,078	0,028	0,012
MM-14	0,069	0,088	0,055	0,027
MM-15			0,034	0,031
MM-16		0,014	0,009	0,010
MM-17		0,205	0,038	0,023
MM-18	0,147	0,365	0,402	0,234
MM-19			0,003	0,001
MM-20		0,010	0,001	0,003
MM-21		0,169	0,038	0,026
MM-22	0,033	0,088	0,012	0,007
MM-24	0,565	0,673	0,192	0,163

Anexo III

Parâmetros físico-químicos analisados nas amostras de água durante as estações de seca (inverno) e chuvosa (verão)

PA	Verão										Inverno									
	pH	Eh (mV)	Conduct. (µS/cm)	TDS (mg/L)	Temp. (°C)	OD (mg/L)	Alk (mg/L)	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻ (mg/L)	Turbidez (FTU)	pH	Eh (mV)	Conduct. (µS)	TDS (mg/L)	Temp. (°C)	OD (mg/L)	Alk (mg/L)	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻ (mg/L)	Turbidez (FTU)
MM01	6,7	212	6,5	4,2	20,7	6,1	7,5	1,9	3,2	2,0	7,0	178	7,0	4,5	19,1	5,8	3,6	1,7	2,5	1,5
MM02	6,2	219	8,7	5,5	20,9	6,5	18,8	2,1	3,9	3,0	5,2	198	12,0	7,8	17,1	7,1	4,7	1,9	0,5	9,0
MM03	6,7	177	6,1	3,9	19,0	6,5	8,8	2,1	5,2	2,0	4,4	177	10,1	6,7	17,3	6,9	4,7	2,0	1,0	13,0
MM04	6,8	189	8,5	5,5	18,7	6,1	6,3	1,7	2,6	0,2	7,8	110	3,6	2,4	19,6	5,8	10,5	1,2	3,8	0,5
MM05	4,6	189	4,7	3,0	20,0	5,3	7,5	1,6	3,9	2,0	7,0	168	3,8	2,5	26,1	5,1	12,0	1,0	2,6	2,0
MM06	6,2	169	4,1	2,7	19,4	7,1	5,0	1,9	4,5	0,4	7,2	140	9,3	6,1	23,1	7,8	1,3	1,7	2,5	1,5
MM07											7,3		11,0	7,2	19,9	7,4	4,7	2,0	0,5	13,0
MM08	8,1	194	20,6	13,4	21,7	7,0	15,0	2,1	3,9	0,5	7,4	86	16,3	10,6	22,3	7,2	11,8	1,9	1,0	14,0
MM09	7,1	184	14,0	9,0	22,7	6,6	13,8	2,1	3,9	0,5	7,9	70	28,0	11,0	17,8	6,8	21,0	2,0	6,4	0,5
MM10	7,2	199	14,1	9,1	22,1	6,2	10,0	1,6	5,2	0,7	7,3	170	19,8	12,9	22,0	7,1	11,8	1,0	1,4	10,0
MM11	7,0	210	17,9	11,7	21,6	6,9	13,8	2,0	3,2	2,0	8,1	75	26,8	17,4	23,8	7,8	14,2	1,9	4,4	6,0
MM12	6,7	197	18,5	12,0	20,7	6,3	18,8	2,0	2,6	2,0	7,8	111	34,4	22,5	21,5	7,5	20,1	1,8	3,9	5,0
MM13	6,2	195	19,0	12,3	20,7	6,0	11,3	2,0	5,2	1,0	7,9	49	30,6	20,1	22,9	6,8	20,1	1,9	4,4	9,0
MM14	7,0	193	30,2	19,7	25,1	6,8	25,0	2,1	3,2	1,0	6,9	168	31,7	20,7	24,6	7,2	21,3	1,9	4,4	10,0
MM15	8,6	142	15,3	9,8	20,0	7,0	16,3	1,6	3,2	0,7	7,7	100	17,5	7,0	16,9	5,2	21,0	1,1	4,5	0,7
MM16	8,0	152	16,6	10,7	22,2	6,9	18,8	1,6	3,2	0,5	7,8	101	18,7	7,0	17,2	4,7	19,5	1,0	5,1	0,5
MM17	7,0	91	17,6	11,6	13,8	6,5	12,5	1,6	3,2	3,0	7,7	60	19,7	8,0	16,4	4,9	15,0	1,0	5,1	3,0
MM18	7,6	187	7,6	4,9	20,4	6,9	12,5	2,0	2,6	1,0	7,6	123	10,2	6,6	23,3	7,0	7,7	1,7	2,5	1,6
MM19	8,5	163	14,3	9,3	19,4	6,6	11,3	1,7	5,8	0,4	7,5	98	12,5	5,0	18,5	4,8	21,0	1,3	4,5	0,4
MM20	8,2	99	84,7	55,6	20,1	5,8	51,3	1,6	4,5	3,0	7,6	58	66,9	27,0	19,8	5,0	54,1	1,0	5,8	3,0
MM21	6,9	91	37,1	24,4	20,8	6,4	25,0	1,6	3,9	1,0	7,4	61	34,4	14,0	20,4	5,0	28,5	1,0	4,5	1,0
MM22	7,0	123	38,9	25,5	24,5	5,4	28,8	2,0	3,9	0,5	7,2	58	30,4	19,7	23,5	7,2	24,3	1,7	2,0	1,8
MM23	7,3	162	11,8	7,6	22,6	6,0	7,5	1,9	3,2	0,5	7,5	114	15,6	10,0	22,9	6,3	9,0	1,7	2,9	2,1
MM24	6,8	220	12,9	8,5	20,5	6,5	23,8	2,0	3,9	0,7	7,7	137	16,6	10,7	23,3	6,2	11,5	1,7	2,0	1,9

Anexo IV

Concentrações de elementos maiores e metais traço nas amostras de água, durante a estação de seca (inverno)

PA	Al µg/L	As µg/L	Ba µg/L	Be 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	Mo µg/L	Na µg/mL	Ni µg/L	Sc µg/L	Sr µg/L	V µg/L	Y µg/L	Zn µg/L
MM01	56,7	<LQ	4,53	<LQ	0,173	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	91,3	0,428	<LQ	0,129	10,3	<LQ	0,239	<LQ	<LQ	1,43	<LQ	<LQ	<LQ
MM02	124	<LQ	2,64	<LQ	0,240	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	188	0,076	<LQ	0,160	11,1	<LQ	0,177	<LQ	<LQ	1,45	<LQ	<LQ	<LQ
MM03	105	<LQ	3,80	<LQ	0,180	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	136	0,142	<LQ	0,100	7,17	<LQ	0,203	<LQ	<LQ	1,33	<LQ	<LQ	<LQ
MM04	<LQ	<LQ	12,5	<LQ	47,0	<LQ	<LQ	10,9	<LQ	<LQ	1,72	<LQ	4,79	3,83	<LQ	2,91	<LQ	0,17	240	<LQ	<LQ	<LQ
MM05	<LQ	<LQ	27,9	<LQ	71,0	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	3,12	0,27	1,13	1,31	<LQ	<LQ	0,78	<LQ	0,26	305	<LQ	<LQ	<LQ
MM06	94,3	<LQ	7,01	<LQ	0,366	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	194	0,618	<LQ	0,220	18,4	<LQ	0,491	<LQ	<LQ	2,60	<LQ	<LQ	7,52
MM07	66,3	<LQ	1,37	<LQ	0,796	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	69,7	0,104	<LQ	0,511	7,94	<LQ	0,378	<LQ	<LQ	2,55	<LQ	<LQ	<LQ
MM08	15,0	<LQ	1,57	<LQ	0,802	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	37,2	0,091	<LQ	1,59	8,40	<LQ	0,243	<LQ	<LQ	2,37	<LQ	<LQ	<LQ
MM09	35,0	<LQ	2,96	<LQ	1,30	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	459	0,245	<LQ	1,56	61,2	<LQ	0,499	<LQ	<LQ	4,03	<LQ	<LQ	<LQ
MM10	<LQ	<LQ	2,96	<LQ	1,65	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	421	0,13	<LQ	2,10	37,6	<LQ	0,67	<LQ	0,34	5,07	<LQ	<LQ	<LQ
MM11	19,0	<LQ	4,53	<LQ	1,73	<LQ	<LQ	<LQ	4,47	499	0,413	<LQ	2,25	23,1	<LQ	0,721	<LQ	<LQ	5,13	<LQ	<LQ	<LQ
MM12	<LQ	<LQ	6,52	<LQ	2,88	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	307	0,146	<LQ	2,62	68,4	<LQ	0,595	<LQ	<LQ	6,86	<LQ	<LQ	<LQ
MM13	14,6	<LQ	6,41	<LQ	2,11	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	403	0,492	<LQ	2,55	62,4	<LQ	0,746	<LQ	<LQ	5,66	<LQ	<LQ	<LQ
MM14	17,2	<LQ	7,97	<LQ	2,08	<LQ	<LQ	<LQ	11,3	461	0,528	<LQ	2,68	93,3	<LQ	0,784	<LQ	<LQ	5,63	<LQ	<LQ	<LQ
MM15	<LQ	<LQ	3,92	<LQ	1,26	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	80,2	0,27	<LQ	1,03	13,5	<LQ	0,66	<LQ	0,23	4,90	<LQ	<LQ	<LQ
MM16	<LQ	<LQ	5,95	<LQ	1,41	12,6	<LQ	<LQ	<LQ	104	0,27	<LQ	1,04	34,8	<LQ	0,74	<LQ	0,11	6,80	<LQ	<LQ	5,86
MM17	<LQ	<LQ	9,24	<LQ	1,36	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	174	0,26	1,05	1,02	83,8	<LQ	0,81	<LQ	0,32	8,12	<LQ	<LQ	<LQ
MM18	39,8	<LQ	5,19	<LQ	0,662	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	210	0,308	<LQ	0,522	24,9	<LQ	0,413	<LQ	<LQ	3,23	<LQ	<LQ	<LQ
MM19	<LQ	<LQ	104	<LQ	6,61	<LQ	52,9	<LQ	<LQ	231	0,33	19,6	1,67	4510	<LQ	0,72	<LQ	0,19	30,1	<LQ	<LQ	4,22
MM20	<LQ	<LQ	3,25	<LQ	0,60	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	37,6	0,08	1,46	1,00	35,3	<LQ	0,39	<LQ	0,17	1,88	<LQ	<LQ	<LQ
MM21	<LQ	<LQ	99,5	<LQ	1,91	<LQ	31,1	<LQ	4,81	645	0,45	21,7	1,35	1906	<LQ	0,94	<LQ	0,31	16,0	<LQ	<LQ	12
MM22	14,0	<LQ	17,4	<LQ	2,60	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	630	0,480	6,41	1,33	547	<LQ	1,09	<LQ	<LQ	18,1	<LQ	<LQ	<LQ
MM23	30,4	<LQ	6,95	<LQ	1,03	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	225	0,434	<LQ	0,968	74,4	<LQ	0,531	<LQ	<LQ	4,74	<LQ	<LQ	<LQ
MM24	49,8	<LQ	8,42	<LQ	1,11	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	560	0,612	<LQ	1,00	94,6	<LQ	0,598	<LQ	<LQ	5,17	<LQ	<LQ	14,07
LQ	7,5	85,0	0,5	4,0	0,1	8,0	15	10	2,5	6,0	0,085	0,75	0,05	2,0	20	0,05	20	1,0	0,5	10	5,0	5,0

Anexo V

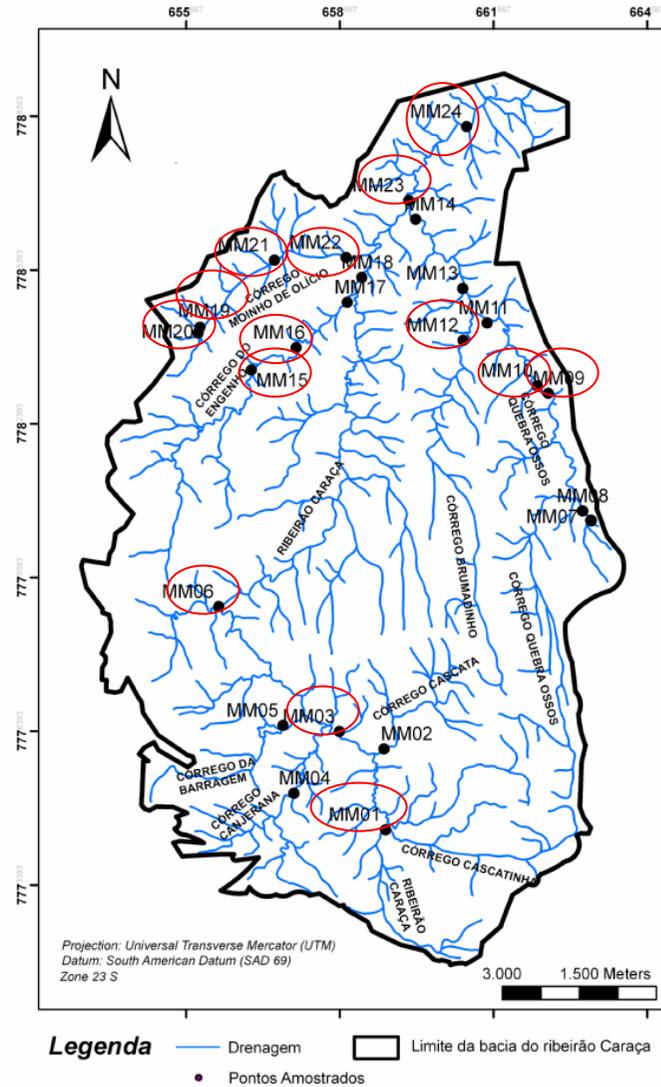
Concentrações de elementos maiores e metais traço nas amostras de água durante a estação chuvosa (verão)

PA	Al µg/L	As µg/L	Ba µg/L	Be 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	Mo µg/L	Na µg/mL	Ni µg/L	Sc µg/L	Sr µg/L	V µg/L	Y µg/L	Zn µg/L
MM01	56,5	<LQ	3,35	<LQ	0,07	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	58,1	0,09	<LQ	0,04	4,24	<LQ	0,16	<LQ	<LQ	0,73	<LQ	<LQ	<LQ
MM02	90,5	<LQ	2,05	<LQ	0,17	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	153	0,32	<LQ	0,10	5,38	<LQ	0,30	<LQ	<LQ	0,94	<LQ	<LQ	<LQ
MM03	70,6	<LQ	2,97	<LQ	0,10	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	137	0,09	<LQ	0,06	4,68	<LQ	0,15	<LQ	<LQ	0,94	<LQ	<LQ	<LQ
MM04	48,1	<LQ	3,61	<LQ	0,19	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	51,9	0,60	<LQ	0,11	7,84	<LQ	0,67	<LQ	<LQ	1,23	<LQ	<LQ	<LQ
MM05	25,3	<LQ	5,94	<LQ	0,16	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	112	0,29	<LQ	0,09	7,21	<LQ	0,32	<LQ	<LQ	1,49	<LQ	<LQ	<LQ
MM06	38,9	<LQ	2,95	<LQ	0,18	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	118	0,16	<LQ	0,11	5,13	<LQ	0,26	<LQ	<LQ	1,30	<LQ	<LQ	<LQ
MM08	<LQ	<LQ	1,35	<LQ	0,93	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	35,0	0,08	<LQ	1,95	9,49	<LQ	0,35	<LQ	<LQ	2,92	<LQ	<LQ	9,17
MM09	52,7	<LQ	2,54	<LQ	0,85	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	324	0,14	<LQ	1,04	42,5	<LQ	0,31	<LQ	<LQ	3,12	<LQ	<LQ	<LQ
MM10	48,9	<LQ	2,62	<LQ	0,86	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	289	0,11	<LQ	1,09	41,2	<LQ	0,28	<LQ	<LQ	3,08	<LQ	<LQ	<LQ
MM11	34,8	<LQ	4,09	<LQ	1,01	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	201	0,13	<LQ	1,45	27,1	<LQ	0,33	<LQ	<LQ	3,58	<LQ	<LQ	<LQ
MM12	35,1	<LQ	4,17	<LQ	1,41	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	176	0,11	<LQ	1,29	41,9	<LQ	0,32	<LQ	<LQ	4,03	<LQ	<LQ	<LQ
MM13	30,6	<LQ	4,88	<LQ	1,17	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	171	0,12	<LQ	1,53	43,4	<LQ	0,32	<LQ	<LQ	3,72	<LQ	<LQ	5,45
MM14	<LQ	<LQ	5,99	<LQ	1,66	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	322	0,19	<LQ	2,39	52,4	<LQ	0,48	<LQ	<LQ	5,13	<LQ	<LQ	<LQ
MM15	<LQ	<LQ	3,97	<LQ	1,05	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	151	0,14	<LQ	0,81	23,6	<LQ	0,54	<LQ	<LQ	4,92	<LQ	<LQ	5,34
MM16	<LQ	<LQ	6,48	<LQ	1,11	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	248	0,17	<LQ	0,84	55,8	<LQ	0,65	<LQ	<LQ	6,94	<LQ	<LQ	<LQ
MM17	<LQ	<LQ	11,1	<LQ	1,17	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	591	0,11	<LQ	0,85	146	<LQ	0,72	<LQ	<LQ	7,80	<LQ	<LQ	<LQ
MM18	35,2	<LQ	3,89	<LQ	0,39	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	188	0,14	<LQ	0,34	32,6	<LQ	0,30	<LQ	<LQ	2,27	<LQ	<LQ	<LQ
MM19	<LQ	<LQ	116	<LQ	9,04	<LQ	52,6	<LQ	<LQ	322	0,40	18,3	2,21	4286	<LQ	0,79	<LQ	<LQ	36,72	<LQ	<LQ	<LQ
MM20	<LQ	<LQ	4,43	<LQ	0,75	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	91,7	0,24	1,44	1,01	77,9	<LQ	0,53	<LQ	<LQ	2,86	<LQ	<LQ	7,26
MM21	<LQ	<LQ	111	<LQ	2,23	<LQ	23,0	<LQ	<LQ	798	0,33	19,4	1,43	2478	<LQ	0,75	<LQ	<LQ	17,51	<LQ	<LQ	<LQ
MM22	<LQ	<LQ	18,2	<LQ	3,32	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	692	0,59	6,68	1,43	768	<LQ	0,98	<LQ	<LQ	20,75	<LQ	<LQ	<LQ
MM23	21,6	<LQ	5,21	<LQ	0,68	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	182	0,37	<LQ	0,52	84,4	<LQ	0,50	<LQ	<LQ	3,81	<LQ	<LQ	<LQ
MM24	40,1	<LQ	5,79	<LQ	0,78	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	578	0,14	<LQ	0,80	80,8	<LQ	0,39	<LQ	<LQ	3,82	<LQ	<LQ	<LQ
LQ	7,5	85,0	0,5	4,0	0,07	8,0	15	10	2,5	6,0	0,085	0,75	0,05	2,0	20	0,05	20	1,0	0,5	10	5,0	5,0

Anexo VI

Distribuição granulométria dos sedimentos

PA	AMG	AG	AM	AF	AMF	S/A
MM01	28,5	28,5	18,3	4,8	1,8	0,4
MM03	23,5	23,5	26,6	2,3	0,3	0,1
MM06	3,1	3,1	46,5	13,0	2,5	0,1
MM09	14,3	14,3	35,6	3,7	1,3	1,2
MM10	6,5	6,5	48,7	2,1	0,6	0,4
MM12	13,3	13,3	42,0	12,1	5,5	2,4
MM15	40,3	40,3	13,8	1,0	0,3	0,5
MM16	13,9	13,9	29,6	1,8	0,6	0,8
MM18	3,3	3,3	46,6	20,0	5,6	1,0
MM19	21,2	21,2	19,0	6,3	14,6	6,5
MM20	14,4	14,4	32,6	7,6	4,8	4,4
MM21	0,3	0,3	39,6	29,8	18,3	8,1
MM22	36,1	36,1	16,8	4,3	3,2	4,7
MM23	5,5	5,5	45,4	12,0	4,3	1,4
MM24	7,8	7,8	11,4	10,3	24,0	35,7



Anexo VII

Concentração de elementos maiores e metais traço nos sedimentos amostrados, durante o verão, na bacia do ribeirão Caraça

PA	MM01	MM03	MM06	MM09	MM10	MM12	MM13	MM14	MM15	MM16	MM17	MM18	MM19	MM20	MM21	MM22	MM23	MM24	
As	mg/kg	<LQ	8,5	<LQ	41,0	32,7	80,4	209,9	97,1	25,9	22,7	19,7	<LQ	78,3	970,0	402,9	189,0	22,8	46,9
Ba	mg/kg	37,0	15,6	22,0	42,1	37,7	95,9	184,9	75,7	201,0	178,1	166,9	53,3	338,9	513,0	366,6	199,9	47,7	160,3
Bi	mg/kg	21,8	<LQ	17,2	<LQ	<LQ	18,3	29,5	23,7	14,0	<LQ	16,5	20,4	6,0	<LQ	<LQ	15,4	18,0	<LQ
Cd	mg/kg	<LQ	<LQ	<LQ	7,6	3,8	13,8	32,0	16,3	4,3	3,9	5,3	<LQ	9,7	17,3	10,1	18,9	<LQ	20,1
Co	mg/kg	95,3	95,6	77,5	213,0	179,3	128,2	242,2	163,0	102,8	80,7	89,0	78,0	80,0	196,3	113,8	81,7	85,3	85,9
Cr	mg/kg	8,9	17,0	7,5	1358,0	862,0	543,0	2051,0	1082,0	126,5	117,0	130,0	49,2	360,8	452,1	395,5	380,7	224,5	641,0
Cu	mg/kg	<LQ	0,1	<LQ	21,4	13,6	38,6	83,5	45,5	26,0	21,6	21,9	0,9	36,9	91,0	67,9	43,4	9,3	74,3
Li	mg/kg	0,5	0,4	0,4	9,7	6,2	4,7	9,0	5,0	6,9	5,2	4,3	0,9	13,8	34,5	17,8	11,5	1,9	7,2
Na	mg/kg	20,8	14,4	16,2	183,1	155,1	107,5	193,6	192,4	795,0	796,0	817,0	112,3	3812,0	7889,0	4270,0	1656,0	209,6	292,5
Ni	mg/kg	<LQ	<LQ	<LQ	869,0	570,0	289,4	533,0	277,1	60,9	47,5	51,1	11,6	205,1	364,6	262,1	129,6	88,1	266,9
Pb	mg/kg	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	17,1	42,4	20,2	<LQ	<LQ	6,2	<LQ	<LQ	40,9	<LQ	21,0	<LQ	<LQ
S	mg/kg	6,4	<LQ	<LQ	57,3	38,1	15,6	46,8	42,7	15,8	18,4	<LQ	<LQ	82,4	75,9	22,6	16,9	19,0	52,8
Sb	mg/kg	<LQ	<LQ	<LQ	1,4	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	475,1	214,9	53,9	<LQ	<LQ
Sc	mg/kg	0,6	0,4	0,5	10,4	6,6	10,3	16,8	9,2	6,0	6,1	5,9	1,6	12,8	18,2	18,9	12,7	4,0	22,3
Sr	mg/kg	1,5	2,0	1,5	8,5	6,1	4,4	8,9	7,2	16,1	16,1	16,7	3,5	58,1	100,2	62,4	27,4	4,9	6,6
Th	mg/kg	1,6	<LQ	1,4	1,7	<LQ	2,8	3,4	2,3	4,1	3,5	3,5	2,2	7,9	8,7	6,7	4,2	1,9	3,7
V	mg/kg	<LQ	13,4	13,2	92,6	62,7	163,9	229,5	175,6	82,7	95,9	82,9	30,3	184,9	193,7	242,2	192,6	62,0	267,5
Y	mg/kg	2,6	3,9	4,1	4,5	3,5	7,2	9,0	6,7	5,3	5,7	5,3	3,2	7,6	12,2	11,2	7,9	3,6	12,6
Zn	mg/kg	<LQ	0,9	<LQ	53,5	37,1	97,2	179,0	121,8	63,2	47,4	51,9	19,2	95,4	237,6	98,6	94,8	25,5	85,8
Zr	mg/kg	36,3	43,9	39,8	24,9	22,1	57,9	51,6	49,4	54,4	60,7	53,8	40,4	94,9	122,4	119,6	73,8	37,0	72,3
Si	g/kg	467,7	456,1	460,8	341,0	382,6	332,5	239,4	342,8	393,5	397,7	395,3	454,3	232,4	296,1	295,8	293,4	424,2	248,5
Al	g/kg	5,8	16,4	7,6	29,1	22,1	32,0	42,4	23,4	30,1	30,5	28,2	9,5	88,4	66,6	74,4	52,6	17,5	82,5
Fe	g/kg	1,7	2,3	2,1	56,5	37,4	96,2	206,3	107,6	42,0	41,2	45,8	10,3	137,6	79,7	89,9	129,6	22,0	143,0
Mn	g/kg	0,4	0,5	0,5	1,9	1,5	1,8	3,4	2,1	1,2	0,9	0,9	0,5	4,9	1,7	2,2	2,2	0,7	1,9
Mg	mg/kg	1,6	1,9	2,2	63,7	41,9	29,9	34,2	15,6	3,2	2,9	2,9	2,4	4,9	3,1	3,9	3,6	6,4	11,9
Ca	mg/kg	107,1	116,2	77,4	3841,4	2013,6	371,7	1417,3	596,3	178,1	201,4	201,4	123,9	712,5	627,3	766,7	426,0	247,8	426,0
K	g/kg	1,9	1,1	1,2	1,4	1,2	1,4	1,7	1,4	5,2	5,4	4,9	1,5	15,8	10,1	12,3	5,7	1,6	3,8
Ti	mg/kg	419,6	1548,9	1471,5	2246,0	1471,5	10377,9	5576,2	12236,7	3485,1	5189,0	3252,8	2168,5	6815,4	10145,6	9680,9	7667,3	3175,3	8441,8
P	mg/kg	87,3	154,9	154,9	309,8	232,3	774,5	1161,7	697,0	542,1	542,1	542,1	232,3	1316,6	929,4	1161,7	1006,8	309,8	851,9

