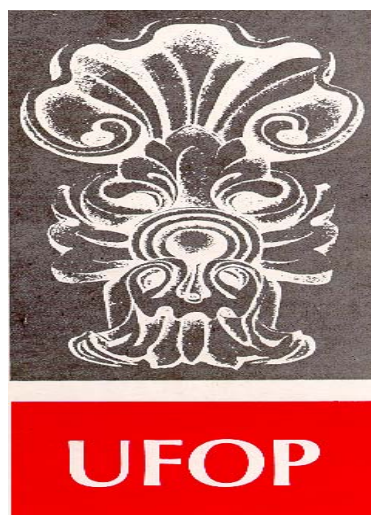


**CARACTERIZAÇÃO HIDROLÓGICA E
HIDROGEOQUÍMICA DO PARQUE ESTADUAL DO
ITACOLOMI - OURO PRETO/MG**



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

DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA

Chefe

Selma Maria Fernandes



EVOLUÇÃO CRUSTAL E RECURSOS NATURAIS

CONTRIBUIÇÕES ÀS CIÊNCIAS DA TERRA – VOL. 61

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Nº 273

**CARACTERIZAÇÃO HIDROLÓGICA E HIDROGEOQUÍMICA
DO PARQUE ESTADUAL DO ITACOLOMI - OURO PRETO/MG**

Larice Nogueira de Andrade

Orientadora

Mariangela Garcia Praça Leite

Co-orientador

Luís de Almeida Prado Bacellar

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 Ciências Naturais, Área de Concentração: Geologia Ambiental e Conservação de Recursos Naturais.

OURO PRETO

2008

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 são 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

A554c Andrade, Larice Nogueira de.
Caracterização hidrológica e hidrogeoquímica do Parque Estadual do Itacolomi - Ouro Preto/MG [manuscrito] / Larice Nogueira de Andrade - 2008.
103 f. : il. color.; graf.; tabs.; mapas. (Contribuições às ciências da terra, v. 61, n. 273)
ISSN: 85-230-0108-6

Orientadora: Profª Drª Mariângela Garcia Praça Leite.
Co-orientador: Pro. Dr. Luís de Almeida Prado Bacellar.

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 - Ouro Preto (MG) - Teses. 2. Água - Teses. 3. Rochas - Teses. 4. Parque Estadual do Itacolomi (Ouro Preto, MG) - Teses. I. Universidade Federal de Ouro Preto. II. Título.

CDU: 550.4(815.1)

<http://www.sisbin.ufop.br>

Ao meu esposo, *GERALDO REGIS MAURI*, meu maior incentivador.

À minha *MÃE, LÉO, BÁRBARA* e *TIA LÊDA*.

*A alegria está na luta, na tentativa,
no sofrimento envolvido, não na vitória.*

Mahatma Gandhi

Agradecimentos

A Deus, meu poderoso Pai, por ter me dado força e persistência para vencer as dificuldades e superar os meus limites, por ter me protegido e me iluminado. Obrigada por estar ao meu lado SEMPRE!

A Professora Dra. Mariangela Garcia Praça Leite, pelas correções e oportunidade.

Ao Professor Dr. Luís de Almeida Prado Bacellar, pelas sugestões, correções e atenção.

Ao CNPq pela bolsa de estudos concedida.

À República Feijão com Arroz. Às essenciais pelas calorosas acolhidas e por compartilharem vários momentos durante a realização deste mestrado.

À Dani Pimentel, pela amizade, prontidão e solidariedade nos momentos difíceis.

Ao Zé Custódio, funcionário do Parque Estadual do Itacolomi, que com seu modo prestativo, divertido e simples, tornou os meus trabalhos de campo uma tarefa menos árdua e cuja ajuda foi, sem dúvida, primordial para que o trabalho se realizasse. Obrigada por me acompanhar inúmeras vezes ao campo.

A todos que me acompanharam, por pelo menos uma vez, aos meus incontáveis e exaustivos campos: Adriano, Alfredo, Ronilda, Nascimento, Toureiro, Marcos, Adílio, Luís, Aline, Érika, César, Vítor, Miojo, Lenilson, Dani, BDC, Sanguinha, Shapes e Homer. Em especial ao Adílio e ao Luís. A Letícia e Vítor pela ajuda no laboratório.

Às Reop's: Maria Cristina, Shirlei, Rebeca, Lílian e Andrezza.

À todas as pessoas que rezaram e torceram por mim.

Aos professores que compuseram a banca examinadora pela disponibilidade e contribuições.

À minha mãe, ao meu irmão e à tia Leda, pelas orações e apoio. À minha sobrinha Bárbara, pela alegria.

Ao meu esposo Geraldo Regis Mauri, companheiro de todas as horas, pelo incentivo, paciência, amor e pela força que sempre me transmitiu.

E enfim, mais uma vez agradeço a DEUS pela oportunidade de continuar...

Sumário

Agradecimentos	ix
Sumário	xi
Lista de Figuras	xiii
Lista de Tabelas	xv
Resumo	xvi
Resumo	xvi
CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO	1
1.1 - OBJETIVOS E METAS.....	2
CAPÍTULO 2 ÁREA DE ESTUDO.....	3
2.1 - A ÁREA DE ESTUDO – O PARQUE ESTADUAL DO ITACOLOMI.....	3
2.2 - CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	4
2.2.1 - Geologia	4
2.2.1.1 - <i>Supergrupo Rio das Velhas</i>	6
2.2.1.2 - <i>Supergrupo Minas</i>	6
2.2.1.3 - <i>Grupo Itacolomi</i>	7
2.2.2 - Geomorfologia.....	10
2.2.2.1 - <i>Relevo Cárstico</i>	11
2.2.3 - Solos	12
2.2.4 - Clima e Vegetação.....	13
2.2.5 - Hidrografia.....	16
2.2.6 - Hidrogeologia.....	17
2.2.7 - Hidrogeoquímica.....	18
CAPÍTULO 3 CARACTERÍSTICAS DOS FLUXOS HÍDRICOS	19
3.1 - AQUÍFEROS FRATURADOS.....	19
3.2 - CARSTES EM QUARTZITOS.....	20
3.3 - CONEXÃO ENTRE ÁGUA SUPERFICIAL E SUBTERRÂNEA	22
3.4 - CARACTERÍSTICAS QUE INTERFEREM NO POTENCIAL HÍDRICO	23
3.4.1 - Clima.....	24
3.4.2 - Geologia	24
3.4.2.1 - <i>Pedologia e tipos de solos</i>	24
3.4.3 - Geomorfologia.....	25
3.4.3.1 - <i>Declividade</i>	25
3.4.3.2 - <i>Propriedades da rede de drenagem</i>	26
3.4.4 - Cobertura vegetal e uso e ocupação do solo	26
3.5 - GEOQUÍMICA.....	27
CAPÍTULO 4 METODOLOGIA.....	29
4.1 - AQUISIÇÃO DOS DADOS BÁSICOS.....	29
4.2 - CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	32
4.2.1 - Caracterização geomorfológica	32
4.2.2 - Caracterização estrutural	32
4.3 - MONITORAMENTO E ANÁLISES EM LABORATÓRIO	32
4.3.1 - Água	32
4.3.1.1 - <i>Vazão</i>	33
4.3.1.2 - <i>Propriedades físico-químicas</i>	34
4.3.1.3 - <i>Geoquímica</i>	35
4.3.2 - Solos	35
4.3.2.1 - <i>Granulometria</i>	35
4.3.2.2 - <i>Mineralogia</i>	36
4.3.2.3 - <i>Matéria orgânica</i>	36
4.4 - TRATAMENTO DOS DADOS	37
4.4.1 - <i>Tratamento dos dados geoquímicos</i>	37
4.5 - INTEGRAÇÃO E INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS	37
CAPÍTULO 5 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS DADOS GEOMORFOLÓGICOS E DE SOLOS	39
5.1 - DADOS GEOMORFOLÓGICOS.....	39
5.2 - CARACTERIZAÇÃO DOS PONTOS DE AMOSTRAGEM DE SOLOS	49
5.2.1 - Manso.....	49
5.2.2 - Benedito	50

5.2.3 - Calais.....	50
5.2.4 - Mainard	50
5.2.5 - Belchior.....	51
5.2.6 - Custódio.....	51
5.2.7 - <i>Análise das assinaturas geoquímicas e as litologia</i>	51
CAPÍTULO 6 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS DADOS HIDROLÓGICOS E HIDROGEOQUÍMICOS	53
6.1 - CARACTERIZAÇÃO DOS PONTOS DE AMOSTRAGEM DE ÁGUA	53
6.1.1 - Manso.....	54
6.1.1.1 - <i>Parâmetros Físico-Químicos</i>	58
6.1.1.2 - <i>Elementos maiores e menores</i>	60
6.1.2 - Benedito	62
6.1.2.1 - <i>Parâmetros Físico-Químicos</i>	66
6.1.2.2 - <i>Elementos maiores e menores</i>	67
6.1.3 - Calais.....	67
6.1.3.1 - <i>Parâmetros Físico-Químicos</i>	72
6.1.3.2 - <i>Elementos maiores e menores</i>	73
6.2 - COMPARAÇÃO DOS DADOS DAS SUB-BACIAS ANALISADAS	74
6.2.1 - <i>Análise das assinaturas geoquímicas e as litologia</i>	81
CAPÍTULO 7 CONCLUSÕES	85
Referências	89
ANEXO I ELEMENTOS MAIORES E MENORES NAS ÁGUAS	93
ANEXO II ELEMENTOS MAIORES E MENORES NOS SOLOS	95
ANEXO III COMPOSIÇÃO MINERALÓGICA E PH DOS SOLOS	97
ANEXO IV VAZÕES E PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DAS ÁGUAS	99
Ficha de Aprovação	103

Lista de Figuras

Figura 2.1 - Mapa de localização da área de estudo.	3
Figura 2.2 - Mapa geológico do Quadrilátero Ferrífero (modificado de Dorr 1969).....	4
Figura 2.3 - Coluna Estratigráfica do Quadrilátero Ferrífero (modificado de Marshak & Alkmin 1989 por Lana 2004).....	5
Figura 2.4 - Mapa geológico (com base em Lobato <i>et al.</i> 2004) da área de estudo com o acamamento.....	9
Figura 2.5 - Mapa de domínios cársticos (baseado em Silva 1989).	12
Figura 2.6 - Distribuição mensal de chuvas das estações pluviométricas Custódio, no PEI, e Saramenha, na cidade de Ouro Preto – 1984/2006. (Fonte: Novelis).	14
Figura 2.7 - Distribuição anual das temperaturas médias mensais em °C de Ouro Preto entre 1976 a 1990. (Fonte: IGA 1995).	14
Figura 2.8 - Distribuição da evaporação média mensal (Fujaco 2007).	15
Figura 2.9 - Diferença entre evaporação e precipitação média mensal de Ouro Preto entre 1976 a 1990 (Fujaco 2007).....	15
Figura 2.10 - Mapa com os rios e principais acidentes topográficos.....	17
Figura 3.1 - Variação da condutividade hidráulica em função da abertura da fratura e do espaçamento ou frequência (Hoek e Bray 1981 in Neves 2005).....	20
Figura 3.2 – Solubilidade da sílica (Mason 1966).	21
Figura 3.3 – Foto ilustrativa de dolina.....	22
Figura 3.4 - Fluxos principais. FSH = fluxo superficial hortoniano; FSSat = fluxo superficial de saturação; FSS = fluxo subsuperficial; FSub = fluxo subterrâneo (Dunne e Leopold 1978 in Bacellar 2005).	23
Figura 4.1 - Mapa geológico (baseado em Lobato <i>et al.</i> 2004) com os pontos amostrados do PEI.	30
Figura 4.2 – Fotos ilustrativas de alguns pontos amostrados destacando certas características: a) man-1 e man-5 (rasos e estreitos); c) ben-3 e ben-4 (canal largo e leito rochoso); e) cal-3 e cal-4 (córrego estreito e raso com leito rochoso).	31
Figura 4.3 - Utilização do micromolinete em campo para a determinação da velocidade da água.	33
Figura 4.4 - Phmetro utilizado em campo para a determinação do pH da-água.	34
Figura 4.5 - Condutivímetro utilizado em campo para a determinação da CE , TDS e temperatura.....	34
Figura 5.1 - Representação das unidades homólogas do sistema de drenagem.	42
Figura 5.2 - Mapa hipsométrico da área de estudo com a localização de dolinas e pontos amostrados.	44
Figura 5.3 - Mapa de declividade da área de estudo com a localização de dolinas e dos níveis de base locais. ...	45
Figura 5.4 - Mapa de lineamentos, destacando a delimitação de domínios, com concentração de dolinas.....	46
Figura 5.5 - Rosetas representando a frequência (a) comprimento acumulado (b) dos lineamentos de toda a área na figura 5.4.....	47
Figura 5.6 - Rosetas representando a frequência (a) e o comprimento acumulado (b) dos lineamentos do domínio I na figura 5.4.	47
Figura 5.7 - Rosetas representando a frequência (a) e o comprimento acumulado (b) dos lineamentos do domínio II na figura 5.4.	47
Figura 5.8 - Rosetas representando a frequência (a) e o comprimento acumulado (b) dos lineamentos do domínio III na figura 5.4.....	48
Figura 5.9 - Rosetas representando a frequência (a) e o comprimento acumulado (b) dos lineamentos do domínio III.1 na figura 5.4.....	48
Figura 5.10 - Rosetas representando a frequência (a) e o comprimento acumulado (b) dos lineamentos do domínio IV na figura 5.4.	48
Figura 5.11 - Localização dos solos amostrados.	49
Figura 5.12 - Cluster das amostras de solos.	52
Figura 6.1 - Histograma mostrando a precipitação total mensal da estação pluviométrica Custódio, no período de janeiro de 2004 e de julho a setembro de 2007.....	53
Figura 6.2 - Mapa geológico (baseado em Lobato <i>et al.</i> 2004) com a localização dos pontos amostrados na sub-bacia do rio Manso.	55
Figura 6.3 - Hidrograma com vazões dos pontos amostrados na sub-bacia do rio Manso.	57
Figura 6.4 - Hidrograma com vazões específicas dos pontos amostrados na sub-bacia do rio Manso.....	58
Figura 6.5 - Condutividade elétrica dos diferentes pontos da sub-bacia do rio Manso.	59
Figura 6.6 – Dados de pH dos diferentes pontos da sub-bacia do rio Manso.	59
Figura 6.7 - Turbidez dos diferentes pontos da sub-bacia do rio Manso.	60

Figura 6.8 - Concentração dos elementos maiores e menores dos diferentes pontos da sub-bacia do rio Manso: a) Fe (período de chuva); b) Fe (período de seca); c) Mn (período de chuva); d) Mn (período de seca), e) Al (período de chuva) e f) Al (período de seca) .	61
Figura 6.9 - Mapa geológico com os pontos amostrados na sub-bacia do rio Benedito (adaptado de Lobato <i>et al.</i> 2004).	63
Figura 6.10 - Hidrograma com as vazões dos diversos pontos da sub-bacia do rio Benedito.	65
Figura 6.11 - Hidrograma com as vazões específicas dos diversos pontos da sub-bacia do rio Benedito.	65
Figura 6.12 - Condutividade elétrica dos diferentes pontos da sub-bacia do rio Benedito.	66
Figura 6.13 – Valores de pH dos diferentes trechos da sub-bacia do rio Benedito.	66
Figura 6.14 - Turbidez nos diferentes trechos da sub-bacia do rio Benedito.	67
Figura 6.15 - Concentrações de Al na sub-bacia do rio Benedito no período de chuva (a) e seca (b).	67
Figura 6.16 - Mapa geológico com os pontos amostrados na sub-bacia do rio Calais (adaptado de Lobato <i>et al.</i> 2004).	68
Figura 6.17 - Hidrograma com as vazões dos diversos trechos da sub-bacia do rio Calais.	70
Figura 6.18 - Hidrograma com as vazões (em escala menor) dos diversos trechos da sub-bacia do rio Calais.	71
Figura 6.19 - Hidrograma com as vazões específicas dos diversos trechos da sub-bacia do rio Calais.	71
Figura 6.20 - Condutividade elétrica dos diferentes pontos da sub-bacia do rio Calais.	72
Figura 6.21 – Valores de pH dos diferentes trechos da sub-bacia do rio Calais.	73
Figura 6.22 - Turbidez dos diferentes pontos da sub-bacia do rio Calais.	73
Figura 6.23 - Concentração dos elementos Fe e Mn nos diferentes trechos da sub-bacia do rio Calais: a) Mn (período de seca); b) Mn (período de chuva); c) Fe (período de seca) e d) Fe (período de chuva).	74
Figura 6.24 - Vazões específicas médias mínimas dos pontos amostrados.	76
Figura 6.25 - Distribuição espacial da condutividade elétrica no mês de dezembro.	77
Figura 6.26 - Distribuição espacial da condutividade elétrica no mês de setembro.	78
Figura 6.27 - Distribuição espacial do pH no mês de dezembro.	79
Figura 6.28 - Distribuição espacial do pH no mês de setembro.	80
Figura 6.29 - Cluster amostras de água (período de chuva).	82
Figura 6.30 - Cluster amostras de água (período de seca).	82
Figura 6.31 - Cluster amostras de água sem outliers (período de chuva).	83
Figura 6.32 - Cluster amostras de água sem outliers (período de seca).	83

Lista de Tabelas

Tabela 3.1 - Faixa de valores de permeabilidade intrínseca e condutividade hidráulica das diferentes classes texturais (Fetter 1988).	25
Tabela 5.1 - Propriedades analisadas na rede de drenagem.....	43
Tabela 6.1 - Pluviometria diária dos meses de julho de 2006 a junho de 2007.....	54
Tabela 6.2 - Descrição dos pontos amostrados na sub-bacia do rio Manso.....	56
Tabela 6.3 - Descrição dos pontos amostrados na sub-bacia do rio Benedito.....	64
Tabela 6.4 - Descrição dos pontos amostrados da sub-bacia do rio Calais.	69
Tabela 6.5 - Tabela com a diferença das concentrações dos elementos maiores e menores amostrados no período de chuva e de seca.	81

Resumo

O presente trabalho foi desenvolvido no Parque Estadual do Itacolomi (PEI), responsável por parte do abastecimento de água para o distrito de Passagem de Mariana e a cidade de Ouro Preto (MG). Foi realizada uma caracterização hidrológica e hidrogeoquímica para diagnosticar os recursos hídricos dessa região.

A caracterização dos meios hidrológicos superficiais foi utilizada para avaliar o potencial hídrico e a importância da litologia nesse potencial. Esta caracterização foi baseada na determinação das vazões, através do micromolinetete, durante um ano hidrológico de três diferentes sub-bacias, selecionadas de acordo com a geologia do local.

A avaliação geoquímica das águas superficiais foi relacionada com os cenários geológicos, as condições de fluxos e com a geoquímica dos solos. Foram selecionados 18 pontos de amostragem de água em trechos com diferentes padrões de drenagem. Também foram coletadas 36 amostras de solo através de pontos localizados em áreas representativas das diferentes unidades litológicas da região. As amostras de solo foram coletadas em diversas profundidades em cada região. Nas amostras de solo e de água foram determinados os elementos maiores e traços através do ICP-OES, e a determinação mineralógica dos solos foi realizada por difração de raios-X. Além disso, nas amostras de água foram determinados alguns parâmetros físico-químicos (pH, condutividade elétrica e sólidos totais dissolvidos).

A análise hidrológica facilitou o entendimento dos sistemas hídricos da região através da correlação entre a litologia, a estrutura geológica e a configuração geomorfológica. Para tal, foram investigadas as densidades e as direções de lineamentos, a presença de dolinamento, as diferenças altimétricas, e os segmentos dos níveis topográficos de declividade e litológicos. Com os dados hidrológicos foi possível inferir o potencial hídrico das sub-bacias e verificar a influência destes dados na variação espacial e temporal da hidroquímica dos sistemas de drenagem do PEI.

Os resultados das análises demonstraram que a geologia exerce grande influência nas características do solo, nas diferenças das condições de fluxo e na assinatura química das águas superficiais da região. Os elementos químicos obtidos nas águas e solos analisados foram comparados com valores padrões definidos pelas normas CETESB (2005) e CONAMA (2005), possibilitando a comprovação das influências geológica e pedológica na qualidade das águas. Tanto nas águas quanto nos solos foram detectadas concentrações anômalas de diversos elementos. Pelo fato da área de estudo ser uma unidade de conservação, com menor possibilidade de interferência antrópica, tais anomalias representam concentrações naturais, ou seja, são reflexo da litologia.

Abstract

This research had been developed in the Itacolomi State Park (PEI) responsible on the part of the water supply for the district of Passagem de Mariana and the city of Ouro Preto (MG). A hydrology and hydrogeochemistry characterization was accomplished for diagnosing the water conditions of this region.

The characterization of the superficial hydrology means was used to evaluate the water potential and the litology influence on that potential. This characterization was based on determining the flow rates by the Guelph permeameter during one hydrological year of three distinct sub-basins selected according to the local geology.

The geochemistry analysis of the superficial waters was related with the geological scenarios, flows conditions and ground geochemistry. 18 water sampling points were selected on areas with different drainage patterns. 36 ground samples were also collected at points located in representative areas from the different litology units. The ground samples were collected in several depths on each region. In the ground and water samples the concentrations of major and trace elements were determined by ICP-OES and the ground mineralogy determination were performed by X-rays diffraction. Besides, some physicist-chemistries parameters (pH, electric conductivity and dissolved solids totals) were determined for the water samples.

The hydrology analysis favor to understanding the aquifer systems from the explored region by relating the litology, the geologic structure, and the geomorfologic configuration. The lineaments densities and directions, the dolinamentos presence, the altimetric differences, and the segments of the topographic levels of declivity and lithological were investigated. Using the higrological data we can note the hidrical potencial from the sub-basins verifying the data influence in the spatial and temporal variance for the hidroquimic of the drainage systems of the PEI.

The results of the analisys reveal the geology influence over the ground features, the flow conditions differences and the chemical signature of the superficial waters in the region. The quimical elements from the analised water and grounds had been compared with patterns values defined by the rules CETESB (2005) and CONAMA (2005) proving the geological and pedological influences on the water quality. Outliers for several elements were detected on waters and grounds. These outliers reflex the litology indicating natural concentrations because the explored area is a preservation unit without antropic interference.

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

O modelo atual de desenvolvimento tem se mostrado inadequado para satisfazer às demandas da população que cresce exponencialmente. Este crescimento populacional vem provocando um aumento sistemático da demanda sobre os recursos naturais de nosso planeta, particularmente sobre a água. Entre 1940 e 1990 a população mundial duplicou, passando de 2,3 para 5,3 bilhões de habitantes, com o respectivo consumo de água aumentando de 1.000 km³ para 4.000 km³, ou seja, neste período, ocorreu a quadruplicação do consumo per capita de água por ano (Freitas & Coimbra 1998). Segundo estimativas da ONU, o limite superior de água utilizável no globo para consumo situa-se entre 9.000 km³ e 14.000 km³, e este crescente aumento na demanda indica que, em breve, parte da população mundial passará sede.

A água é uma das “matérias-primas” mais utilizadas pelo conjunto das atividades econômicas. Em atividades mineiras, participa desde processos de desmonte, beneficiamento até na contenção de rejeitos. Na maior parte das atividades industriais, é essencial e muitas vezes insubstituível, participando do próprio processo produtivo ou compondo o produto final. Assim considerada, a água constitui um importante fator de produção cujos quantitativos, embora variáveis conforme a tecnologia, assumem valores impressionantes. Por exemplo, a produção de apenas uma tonelada de papel exige em média de 40 a 380 m³ de água, e a produção de uma tonelada de aço consome de 60 a 150 m³ de água (Freitas & Coimbra 1998).

Nas últimas décadas, a consciência de sua necessidade básica para sobrevivência dos seres vivos e de sua importância nos processos produtivos fez com que a água passasse a ser considerada como bem mineral, cujo uso em função de sua disponibilidade exige planejamento e gestão, ou seja, medidas que podem ser potencializadas com a evolução dos conhecimentos.

Grande parte de água doce disponível na terra encontra-se no subsolo, e uma pequena parcela provém das águas de superfície. As águas de superfície (dos lagos, açudes e rios) e as águas subterrâneas (dos aquíferos) não são recursos independentes, já que juntas compõem um sistema integrado, dinâmico e complexo (Castany 1971, Winter *et al.* 1998). O regime hidrológico de um rio é reflexo da interação de processos naturais complexos atuantes na superfície e subsuperfície (Smakhtin 2001). Esta conexão deve ser considerada nos estudos do potencial hídrico de uma região, uma vez que interferências em um meio afetam todo o sistema.

A dinâmica dos fluxos hídricos de uma região é definida pelas variáveis do meio físico, que estão sempre associadas ao clima. De acordo com Costa (2005), o melhor entendimento destas variáveis que interferem na produção da água, assim como os mecanismos envolvidos, é de fundamental importância como suporte tanto na previsão das sub-bacias de maior potencial hidrogeológico quanto no estabelecimento de áreas que requerem maior preservação.

No contexto geoquímico, a água é considerada um importante agente transportador, pois a medida que circula na paisagem, reage com as superfícies com as quais entra em contato, sendo esta interação responsável pelas alterações de sua composição química. O entendimento de diferentes interações que ocorrem no ambiente, assim como a natureza, a concentração dos diferentes elementos químicos, e o fluxo e a migração destes elementos, também é de fundamental importância dentro do cenário ambiental. Os dados hidroquímicos, tais como os parâmetros físico-químicos e os elementos maiores e menores, se modificam principalmente de acordo com a litologia, a pedologia, a geomorfologia e com o uso do solo da região. Ou seja, cada região apresentará um tipo de resposta química (natural ou não) nos sistemas hídricos.

Esta pesquisa foi desenvolvida no Parque Estadual do Itacolomi, responsável por parte do abastecimento de água para o distrito de Passagem de Mariana e para a cidade de Ouro Preto. Essa região tem um dos maiores potenciais hídricos do estado de Minas Gerais. Dentro de seus limites, o parque abrange diversas áreas de nascentes que formam os ribeirões do Carmo e Gualaxo do Sul, ambos componentes do chamado Alto Rio Doce (Vasconcelos *et al.*1993). Essas nascentes estão vinculadas principalmente aos dois aquíferos na região da Serra do Itacolomi, que segundo Ferreira & Lazarin (1993) tratam-se de aquíferos fraturados, com alta porosidade secundária, inclusive com a formação de feições cársticas.

1.1 - OBJETIVOS E METAS

O objetivo geral deste trabalho aborda a caracterização hidrológica e hidrogeoquímica do Parque Estadual do Itacolomi. Além disso, procurou-se determinar a influência dos fatores geológicos, geomorfológicos, hidrogeológicos e pedológicos nas características dos fluxos hídricos superficiais. Para tal, foram:

- caracterizadas a geoquímica e a mineralogia dos diversos tipos de solo;
- analisadas as vazões líquidas em diversos pontos dos principais cursos d'água, para obtenção dos fluxos de base dos mesmos.
- monitorados os parâmetros físico-químicos (pH, condutividade elétrica, sólidos totais dissolvidos, turbidez) dos principais cursos d'água e seus afluentes e também a geoquímica, de forma a acompanhar as variações dos elementos maiores e traços, e determinar possíveis anomalias;

CAPÍTULO 2

ÁREA DE ESTUDO

2.1 - A ÁREA DE ESTUDO – O PARQUE ESTADUAL DO ITACOLOMI

O Parque Estadual do Itacolomi (PEI) está situado entre os meridianos 43°32'30" e 43°22'30" de longitude oeste e os paralelos 20°22'30" e 20°30'00" de latitude sul, nos municípios de Ouro Preto e Mariana, no Estado de Minas Gerais (Figura 2.1). Com uma área de aproximadamente 7.000 ha, abrange toda a Serra do Itacolomi, uma das componentes da Serra do Espinhaço.

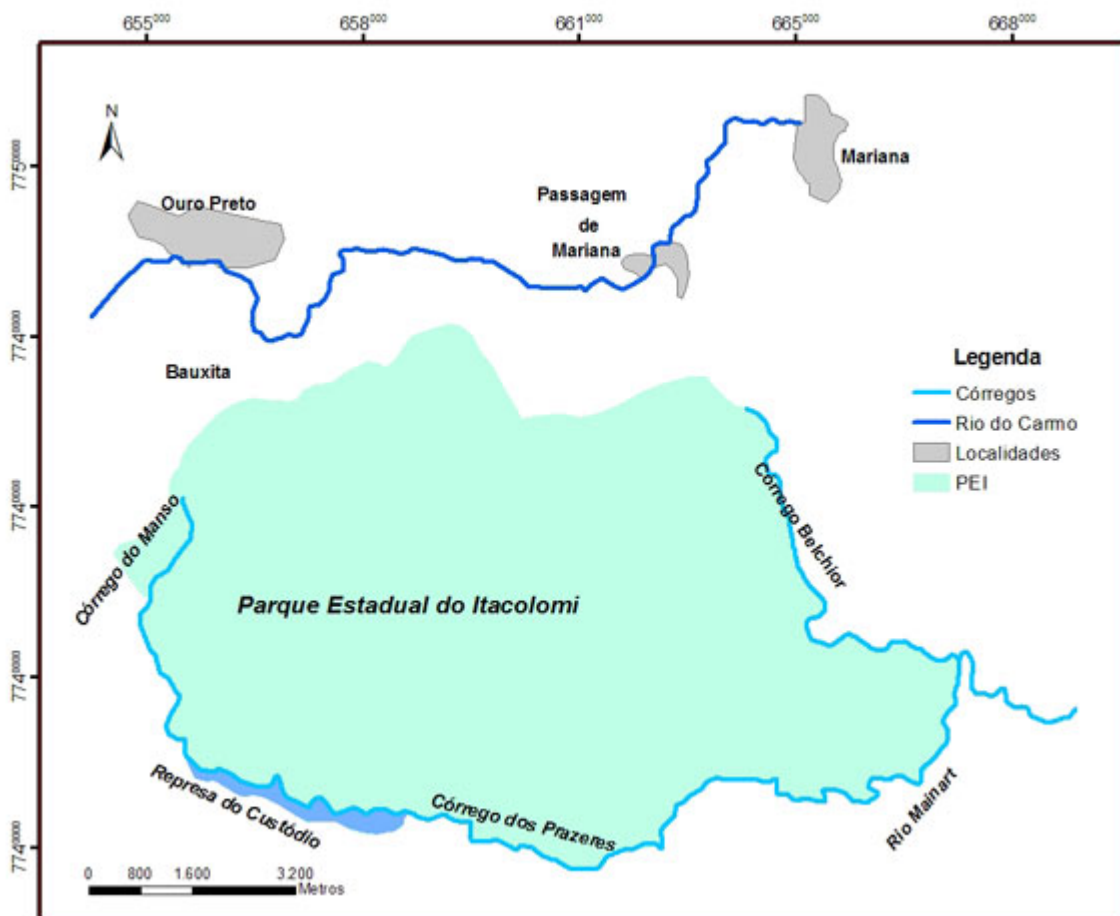


Figura 2.1 - Mapa de localização da área de estudo.

A história da área onde hoje se situa o Parque Estadual do Itacolomi teve seu início no século XVII com a exploração de ouro na região de Ouro Preto e Mariana. O Pico do Itacolomi, uma formação rochosa pontiaguda e imponente, localizado no alto da serra do parque, serviu de referência para os primeiros exploradores que se aventuraram na região, em busca de ouro.

Já no século XX, a fazenda do Manso, na área do Parque Estadual do Itacolomi, se destacou como grande produtora de chá preto, desempenhando papel fundamental na economia da região.

Assim, além das belezas naturais, o parque conta com um expressivo monumento histórico, a Casa Bandeirista, símbolo da época do cultivo de chá. A Casa Bandeirista, situada na Fazenda do Manso, abriga o maquinário utilizado no beneficiamento do chá, e é considerado um marco da arquitetura bandeirista (Fujaco 2007).

Diante da natureza exuberante da região, da importância histórica, e da necessidade de preservação destes, foi criado o Parque Estadual do Itacolomi, através da Lei 44.095, de 14/06/67. A relevância do parque pode ser confirmada através da existência de diversas pesquisas realizadas na região, que resultaram em inúmeros trabalhos científicos publicados, desde a sua criação até os dias atuais.

2.2 - CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

2.2.1 - Geologia

Geologicamente, a área de estudo está inserida na porção sudeste do Quadrilátero Ferrífero (QF - Figura 2.2), uma das áreas clássicas do pré-cambriano, situada no extremo sul do Cráton de São Francisco.

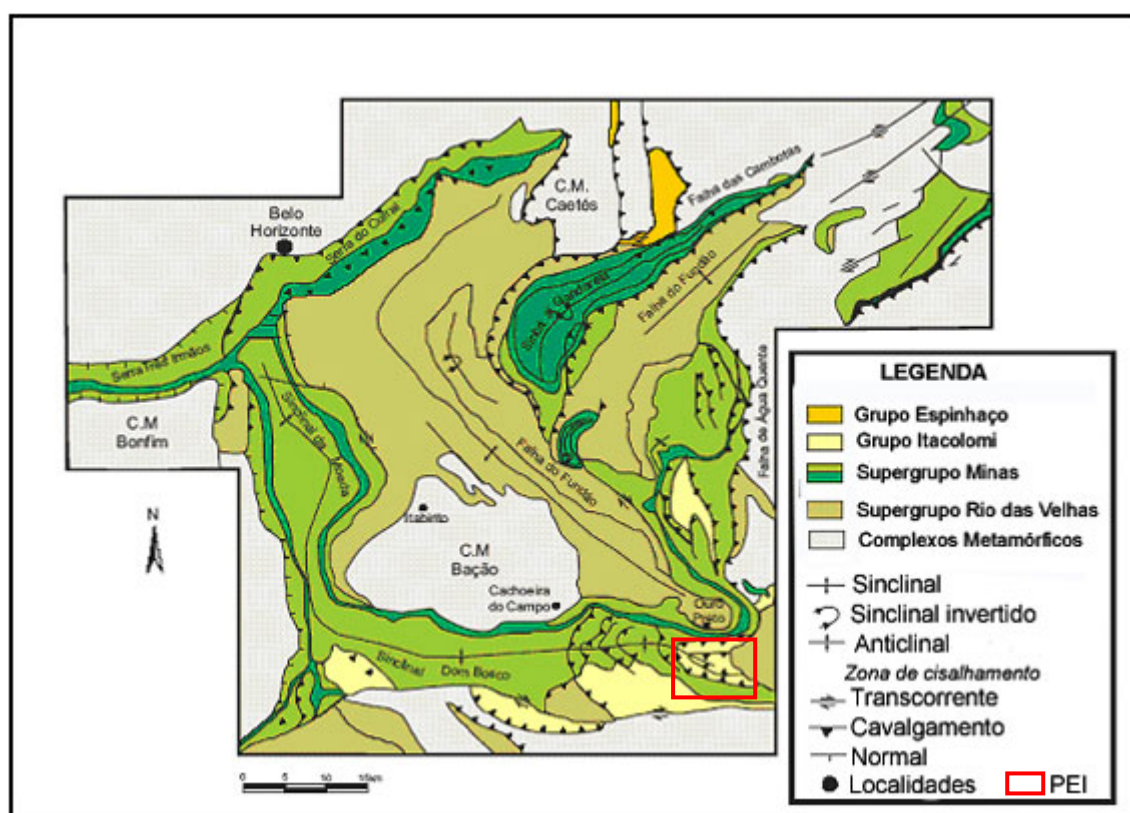


Figura 2.2 - Mapa geológico do Quadrilátero Ferrífero (modificado de Dorr 1969).

O Quadrilátero Ferrífero é uma unidade mundialmente conhecida por suas riquezas (ouro, ferro, manganês, gemas e pedras ornamentais) e amplamente estudada. As divisões estratigráficas para as rochas pré-cambrianas do Quadrilátero Ferrífero foram propostas primeiramente por Harder & Chamberlain (1915). Posteriormente, uma versão clássica foi sintetizada por Dorr (1969) e recentemente modificada e ampliada por alguns autores (Ladeira 1980, Marshak & Alkmin 1989).

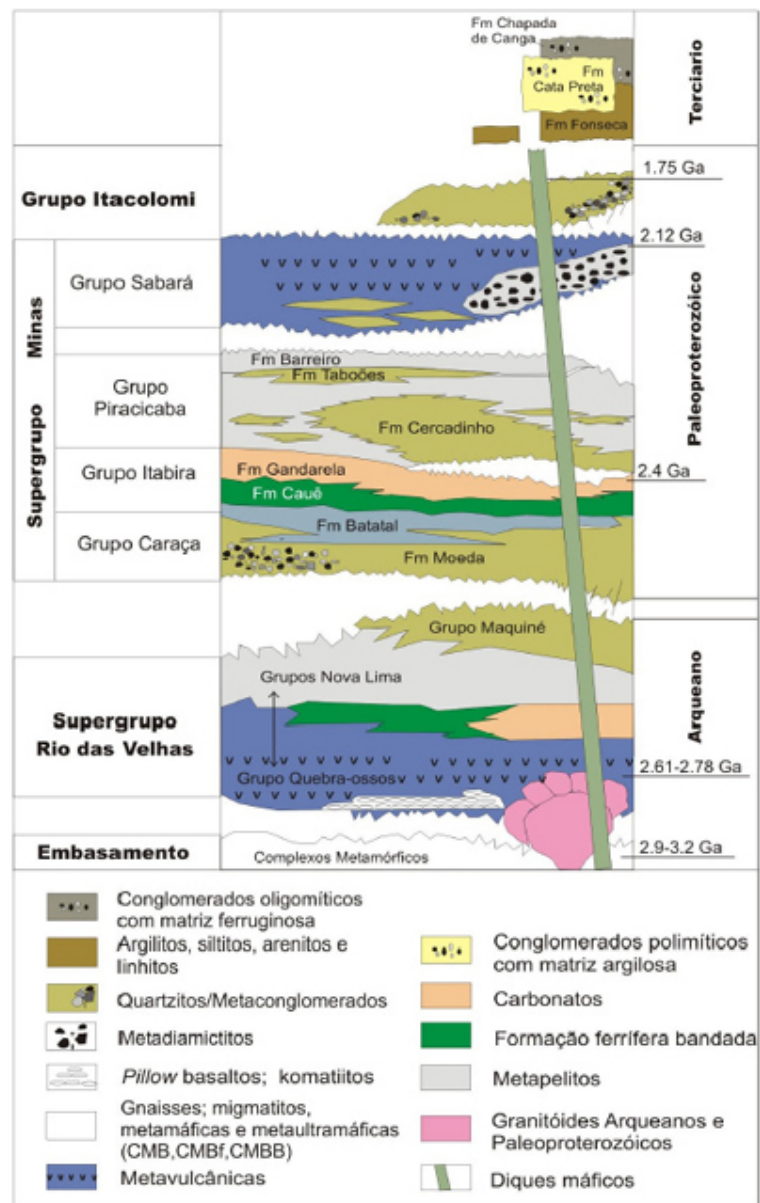


Figura 2.3 - Coluna Estratigráfica do Quadrilátero Ferrífero (modificado de Marshak & Alkmin 1989 por Lana 2004).

As unidades litoestratigráficas (Figura 2.3) que compõem a região Quadrilátero Ferrífero são:

- Complexos metamórficos: compreendem os complexos de Bonfim, Moeda, Congonhas, Santa Rita Caeté e Bação; compõem o embasamento cristalino de idade arqueana, constituídos principalmente por gnaisses e migmatitos;

- Supergrupo Rio das Velhas: apresenta seqüências vulcano-sedimentares arqueanas do tipo *greenstone belt*; se divide em três grupos: Nova Lima, Maquiné e Quebra Ossos;
- Supergrupo Minas: representa seqüências supracrustais Proterozóicas; é dividido nos seguintes grupos: Caraça, Itabira, Piracicaba e Sabará. O Grupo Caraça se subdivide em duas formações: Moeda e Batatal; apresenta sedimentos clásticos de granulometria fina, seixos e matações. O Grupo Itabira, que em grande parte é de origem química, subdivide-se nas formações Cauê e Gandarela. O Grupo Piracicaba é composto por cinco unidades clásticas: Formação Cercadinho, Fecho de Funil, Tabões, Barreiro e Sabará.
- Grupo Itacolomi: é separado do Supergrupo Minas por uma discordância angular e erosional (Guimarães 1931).

A estratigrafia na região do parque é representada por rochas do Supergrupo Rio das Velhas, do Supergrupo Minas (Grupo Piracicaba e Sabará) e pelas rochas metassedimentares clásticas do Grupo Itacolomi, cujo empilhamento litológico encontra-se controlado por falhas de cavalgamento (Glöeckner 1981). Os quartzitos do Grupo Itacolomi foram divididos por Ferreira & Lazarin (1993) em dois subgrupos (Figura 2.4): inferior e superior, que representam, respectivamente, os quartzitos Morro do Cachorro (QMC) e os quartzitos Pico do Itacolomi (QPI), separados por xistos do Grupo Sabará (Glöeckner 1981). Encontram-se também na área, rochas intrusivas básicas e depósitos recentes de laterita. Uma descrição sucinta da geologia local do parque é apresentada nas subseções seguintes.

2.2.1.1 - Supergrupo Rio das Velhas

Trata-se de um quartzo-sericita-clorita xisto, de cor verde, que quando alterado apresenta cor avermelhada devido à alteração superficial rica em óxido de ferro, e contém ainda *Box work* de minerais opacos.

2.2.1.2 - Supergrupo Minas

Na região do parque ocorrem somente rochas dos Grupos Piracicaba e Sabará, que serão a seguir descritos mais detalhadamente.

Segundo Glöeckner (1981), as formações Cercadinho-Fecho do Funil e Barreiro, do Grupo Piracicaba, são encontradas em faixas restritas a oeste do Morro do Cachorro. Possuem orientação com direção NS, aproximadamente. Na região sul, em contato tectônico, estas formações separam os quartzitos inferiores da formação Sabará.

O Grupo Sabará é constituída por xistos de cor cinza escuro com porções negras, com cor de alteração superficial vermelha, devido à oxidação do ferro. Observam-se também corpos de *box work*

de granada e magnetita (Ferreira & Lazarin 1993). Ao topo desta formação é comum encontrar afloramentos de filito escuro com gradações esverdeadas (Azevedo *et al.* 1986).

2.2.1.3 - Grupo Itacolomi

Os quartzitos do Grupo Itacolomi foram divididos na área por Ferreira & Lazarin (1993) em dois subgrupos: inferior e superior, que representam, respectivamente, os quartzitos Morro do Cachorro (QMC) e os quartzitos Pico do Itacolomi (QPI), separados por xistos do Grupo Sabará (Figura 2.4) (Glöeckner 1981).

Os quartzitos inferiores (QMC) mostram variações faciológicas condicionantes da geomorfologia e são reunidas nas seguintes litofácies:

- Metaconglomerados: são compostos por conglomerados grossos e polimíticos estabelecendo a base do pacote rochoso (Ferreira & Lazarin 1993). Esses conglomerados são amparados por uma matriz arenosa, grossa e sericítica, onde os seixos se mostram estirados e contornados pela matriz (Azevedo *et al.* 1986). São compostos comumente por quartzo de veio, gnaiss e formação ferrífera, e apresentam esfericidade baixa e alto grau de coesão. É verificada em toda a região dos quartzitos inferiores em aproximadamente quatro horizontes estratigráficos (Ferreira & Lazarin 1993).
- Metarenitos: formam platôs no topo da seqüência dos quartzitos inferiores. São compostos por rochas quartzíticas de coloração cinza-amarelada, que quando intemperizada apresenta coloração branca; apresentam sericita, são mal selecionadas e mostram granulometria variável de fina à grossa, apresentando granodecrescência ascendente. Pequenos níveis conglomeráticos e microconglomeráticos e também raras lentes centimétricas de filito são observados (Tessari & Amorin 1984). Esta litofácies apresenta estratificações cruzadas acanaladas e algumas vezes tangenciais de pequeno porte, e são diferenciadas pela presença de ferro (Ferreira & Lazarin 1993).
- Quartzitos ferruginosos: estão representados por faixas restritas na parte nordeste da área e formam grandes platôs, devido à horizontalidade das camadas associadas à grande resistência ao intemperismo. Trata-se de um quartzito bastante ferruginoso, sericítico com grãos de quartzo mais grossos (Ferreira & Lazarin 1993).

Os quartzitos superiores (QPI) ocorrem em contato tectônico (falhas de empurrão) com xistos do Grupo Sabará no topo da seqüência Itacolomi e apresentam um conteúdo sericítico (Castañeda 1993). São bastante comuns estratificações cruzadas acanaladas ou tangenciais de pequeno a médio porte, com apenas uma ocorrência de estratificação de grande porte (Ferreira & Lazarin 1993).

Rochas intrusivas (em forma de diques) ocorrem na área do parque como faixas estreitas e descontínuas, dispostas discordantemente de acordo com as direções OON-SES, e são paralelas e subparalelas as falhas de empurrão (Azevedo *et al.*1986).

Os depósitos recentes, presentes na área do parque (Figura 2.4), são representados por coluviões, aluviões e níveis lateríticos superficiais de canga (Santos & Lima 1991). A canga é composta essencialmente por formação ferrífera e hematita. Trata-se de um material muito resistente ao intemperismo físico, conferindo considerável resistência à erosão em sua área de ocorrência (Dorr 1969).

Na área de estudo, o acamamento apresenta dois domínios distintos: na parte ocidental encontra-se com mergulhos variando entre ESE e NE e com ângulo entre 50° e 17° respectivamente; já na parte noroeste da área o acamamento acompanha o dobramento existente, diminuindo o caimento na porção sul (Figura 2.4) (Ferreira & Lazarin 1993).

Existem quatro conjuntos principais de fraturamento: o primeiro é constituído por fraturas de direções NW-SE com mergulhos subverticais; o segundo é constituído por fraturas mais largas e de maior ocorrência na região e tem trend NE-SW, mergulhando em geral para NW; o terceiro tem mergulho para ENE-WSW e o quarto tem direção aproximada N-S, formando um par cisalhante com o terceiro (Ferreira & Lazarin 1993).

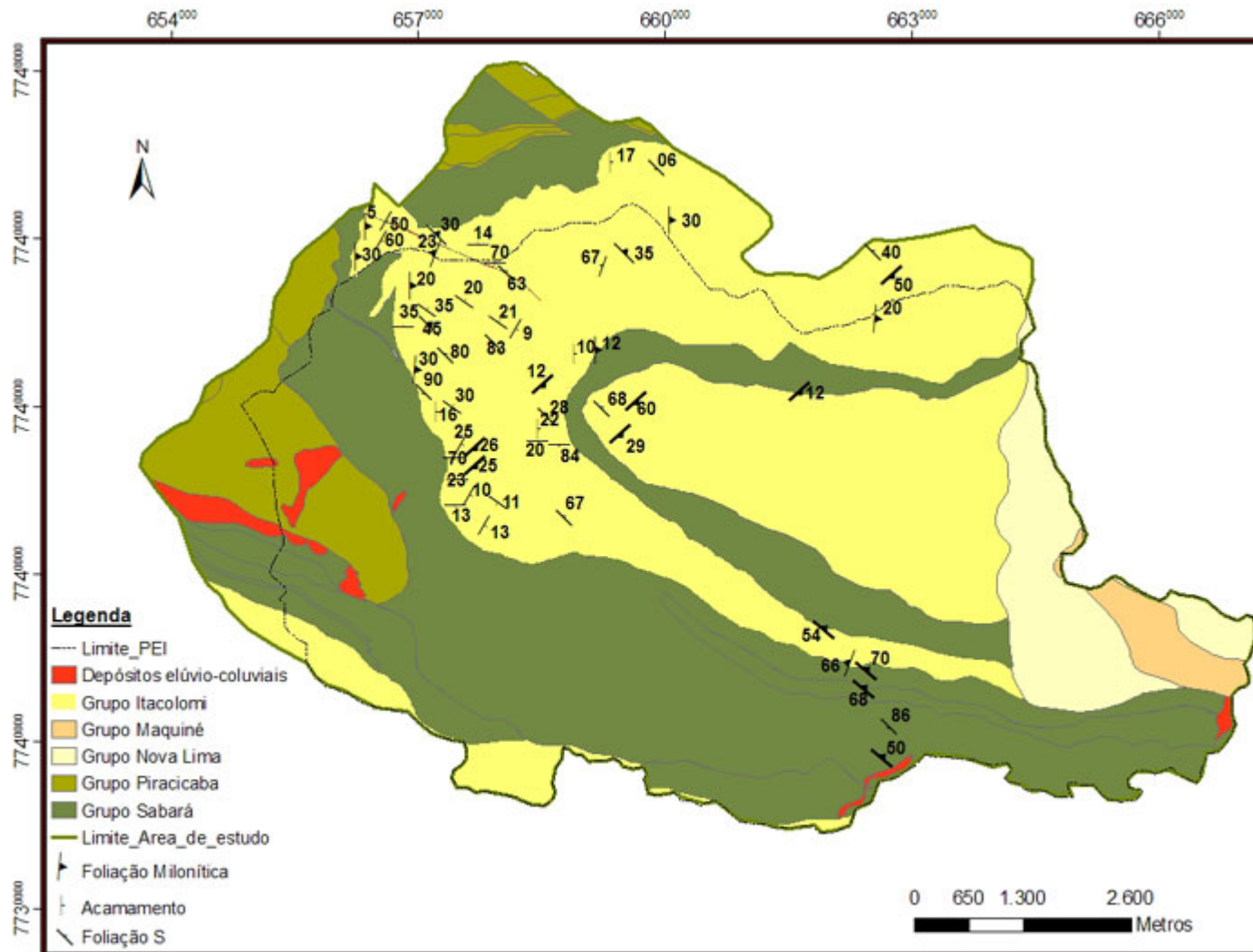


Figura 2.4 - Mapa geológico (com base em Lobato *et al.* 2004) da área de estudo com o acamamento.

2.2.2 - Geomorfologia

A região do Quadrilátero Ferrífero, onde está inserida a área de estudo, tem sido alvo de uma série de investigações científicas, no que diz respeito a geomorfologia (Harder & Chamberlin 1915, Dorr 1969, Varajão 1991, Salgado 2006). Estes trabalhos demonstram que o modelado regional possui em sua gênese processos relacionados à erosão diferencial e apresentam como ponto em comum a evidência do controle litoestrutural neste modelado. O trabalho de Salgado (2006), a mais recente investigação acerca dos processos erosivos e denudacionais do Quadrilátero Ferrífero, ao contrário das demais, apresenta análises quantitativas. Este autor investigou a evolução da paisagem através de análises físico-químicas da água de canais fluviais e da quantificação da produção do isótopo ^{10}Be em rochas, sedimentos fluviais e veios de quartzo. Estas análises quantitativas provaram que as análises qualitativas presentes nos estudos geomorfológicos já realizados na região, estavam corretas em atestar que o relevo regional é resultado de processos erosivos diferenciais.

Segundo Fernandes *et al.* (1988), as características geomorfológicas da região do Parque Estadual do Itacolomi podem ser separadas, pelo menos, em três unidades, que muitas vezes interagem entre si: vertente de topo convexo, regiões planas e relevo escarpado com cristas isoladas.

A região que apresenta relevo escarpado e cristas isoladas é formada por rochas quartzíticas do Grupo Itacolomi, que por serem mais resistentes, foram menos erodidos e, portanto sustentam as superfícies escarpadas e cristas elevadas, destacando-se a visualizada regionalmente, com 1772m de altitude, conhecida como Pico do Itacolomi. Esta crista se localiza a sudeste e ocupa a área central da área de estudo, abrangendo o domínio dos quartzitos superiores e é circundada por blocos facetados, dando um aspecto de relevo ruiforme (Ferreira & Lazarin 1993).

As vertentes de topo convexo desenvolvem-se predominantemente nas bordas da área, no domínio dos xistos do Supergrupo Minas (Grupo Sabará) e dos filitos do Grupo Piracicaba. Como os xistos e filitos apresentam média resistência aos processos erosivos, trata-se de uma morfologia mais suave, sem escarpas e cristas, com predominância de topos convexos e encostas homogêneas (Ferreira & Lazarin 1993).

As regiões aplainadas localizam-se entre as cotas 1100 e 1500m, onde predominam xistos do Grupo Sabará e filitos do Grupo Piracicaba, estas representam um domínio de relevo bastante aplainado, resultado da intensa força do desgaste físico e do processo de intensa deposição (Fernandes *et al.* 1988).

No trabalho realizado pelo IEF (2006), a área do parque foi dividida em oito unidades, levando em conta aspectos do meio físico e a distribuição de conjuntos de vegetação em escala de

cobertura regional (1: 25.000). Estas unidades ou sítios foram denominadas de Manso, Itacolomi, Custódio, Lavras Novas, Mainart, Serrinha, Cachoeira do Bigode e Pocinho.

2.2.2.1 - Relevo Cárstico

Segundo Sweeting (1981), o carste, também conhecido como relevo cárstico, é um tipo de relevo, que através de processos de dissolução das rochas e carreamento de material devido à circulação de água em fraturas, fissuras, juntas e outras discontinuidades das rochas, leva ao aparecimento de uma série de características físicas, tais como cavernas, dolinas, sumidouros, rios subterrâneos, paredões rochosos expostos, dentre outras.

No Parque Estadual do Itacolomi, o carste se desenvolve nos quartzitos superiores e inferiores do Grupo Itacolomi (QPI). Segundo Silva (1989), a área do parque pode ser dividida em quatro domínios cársticos (Figura 2.5):

- **Domínio I**: localizado a noroeste do Pico do Itacolomi, é caracterizado por encostas íngremes e paredões com dolinas em forma afunilada, sustentando um platô ao alto, formado por quartzito de mais fácil dissolução e erosão que apresenta drenagens em padrão curvilíneo.
- **Domínio II**: localiza-se a nordeste do pico, apresenta pontões em rochas quartzíticas, denominados “espigões” e caracteriza-se por não possuir um carste bem desenvolvido.
- **Domínio III**: situado a sudeste do pico do Itacolomi, apresenta dois poljés (planícies cársticas). O primeiro localiza-se a noroeste deste domínio, e é formado pela ação das águas subterrâneas que provocam um rebaixamento da região. Já o segundo, localizado a sudeste deste domínio, é caracterizado pela confluência de águas, provocando também o rebaixamento central do terreno. Além de marmitas ovaladas e concavidades nos paredões, oito grutas foram cadastradas neste domínio.
- **Domínio IV**: é onde há maior ocorrência de grutas e dolinas. Está localizado a sudoeste do pico e é constituído por uma drenagem superficial intermitente, na qual prevalecem as águas subterrâneas, que por sua vez são responsáveis pela formação das grutas e dolinas. A maioria das grutas encontradas neste domínio são sumidouros.

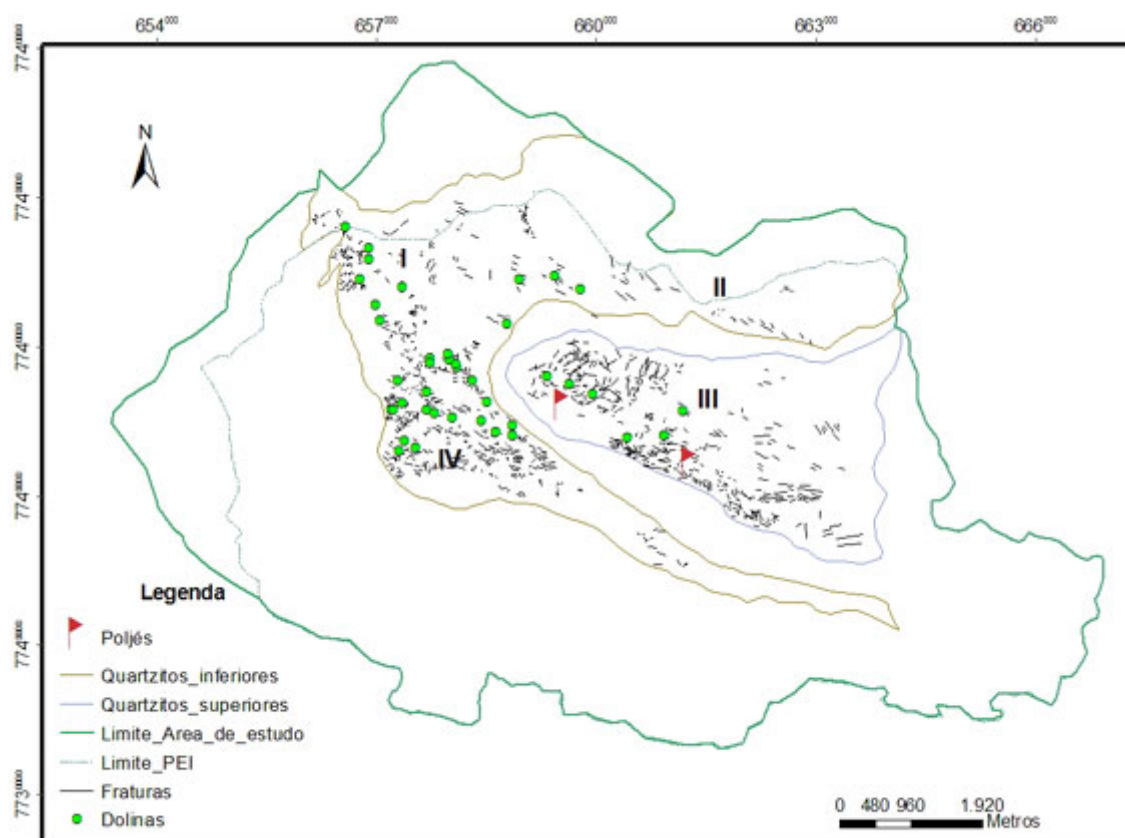


Figura 2.5 - Mapa de domínios cársticos (baseado em Silva 1989).

2.2.3 - Solos

Na área do Parque do Itacolomi, segundo Castañeda (1993), ocorrem dois tipos básicos de solo: os litossolos e os latossolos. Estes refletem as características do material de origem (litologia) e relevo (geoforma).

No compartimento de cristas isoladas e relevo escarpado, predominam os litossolos. Associado aos quartzitos, apresenta textura arenosa, é essencialmente raso e bastante limitado em termos de fertilidade (Ferreira & Lazarin 1993).

Os latossolos são encontrados na área de vertentes de topos convexos e em elevações mais aplainadas. Nestas áreas os solos se apresentam bem desenvolvidos e de textura argilosa. As regiões planas apresentam grande parte de solos transportados (Castañeda 1993).

Fujaco (2007) realizou análises químicas e granulométricas nos solos de diversos pontos da região do PEI, nas profundidades de 10 e 20 cm, e concluiu que a área da Fazenda do Manso é caracterizada por solos com elevadas percentagens de cascalho e granulo (localizados no grupo Sabará e nos depósitos elúvios-colúviais) e por solos silticos mais desenvolvidos e profundos (localizados no

Grupo Piracicaba). Nos quartzitos e metaconglomerados do Grupo Itacolomi, predominam as areias finas e médias e no Grupo Nova Lima predominam solos com frações areia fina/média e a fração silte.

Quanto às análises químicas realizadas por este autor, destacam-se alguns resultados, como os valores encontrados para o elemento Na, que oscilaram entre 1782 mg/kg a 149 mg/kg, onde os maiores e menores valores foram encontrados no Grupo Sabará e no Grupo Itacolomi, respectivamente. O K apresentou valores que oscilaram entre 17546 mg/kg e 1986 mg/kg, correspondentes aos quartzitos ferruginosos do Grupo Sabará e às cangas, respectivamente. A maior concentração de Mg registrada foi de 1512 mg/kg nos xistos e quartzitos ferruginosos do Grupo Nova Lima, e o valor de menor concentração foi de 280,1 mg/kg, correspondente aos depósitos elúvios-coluviais.

As maiores concentrações de Al foram encontradas no Grupo Sabará, representado por um quartzito ferruginoso, o qual apresentou valores de 130,3 mg/kg e nos depósitos elúvios-coluviais com 128,4 mg/kg. A região com menor concentração deste elemento foi o Grupo Itacolomi com 28,3 mg/kg. O elemento Fe apresentou elevadas concentrações (entre 86,6 mg/kg e 362,7 mg/kg) no Grupo Piracicaba, nos depósitos elúvios-coluviais e no Grupo Sabará. Nestas duas últimas litologias também foram encontradas elevadas concentrações de As e Al. As regiões que registraram maiores concentrações de manganês foram àquelas constituídas por xisto róseo a cinza claro intercalado com um filito grafitoso, pertencentes ao Grupo Piracicaba, e por depósitos elúvios-coluviais, caracterizados pelas cangas.

2.2.4 - Clima e Vegetação

O Clima da região do Parque Estadual do Itacolomi, de acordo com a classificação climática de Köppen, está enquadrado nos tipos Cwa e Cwb. Trata-se de um clima tropical de altitude, marcado pela elevada pluviosidade, com maior concentração entre os meses de outubro e março (Figura 2.6). O Cwa predomina nas partes menos elevadas, com verões quentes e chuvosos e estação seca curta. O Cwb ocorre nas regiões topograficamente mais elevadas e é caracterizado por verões brandos (IGA 1995).

O regime de precipitações na região do parque apresenta oscilação unimodal bem definida, com verão chuvoso e inverno seco, como pode ser observada nas duas estações (Custódio e Saramenha) localizadas próxima à região (Figura 2.6). Observa-se que a estação seca se concentra nos meses de maio a setembro.

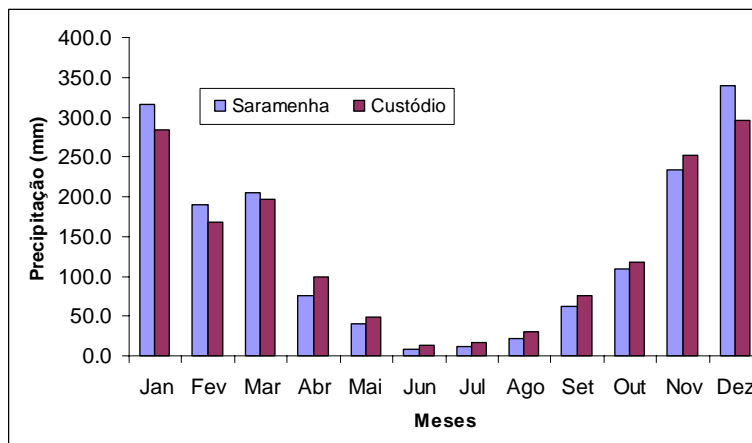


Figura 2.6 - Distribuição mensal de chuvas das estações pluviométricas Custódio, no PEI, e Saramenha, na cidade de Ouro Preto – 1984/2006. (Fonte: Novelis).

De acordo com a Figura 2.7, a temperatura média anual da região de Ouro Preto é de 18,6 °C e a diferença entre a média do mês mais quente e do mês mais frio é de 5,2 °C. As máximas térmicas ocorrem durante os meses de outubro a março. Durante o inverno (meses de junho a agosto), quando ocorre menor índice de incidência solar, verificam-se as temperaturas mais baixas, com médias entre 15,50°C e 16,10°C.

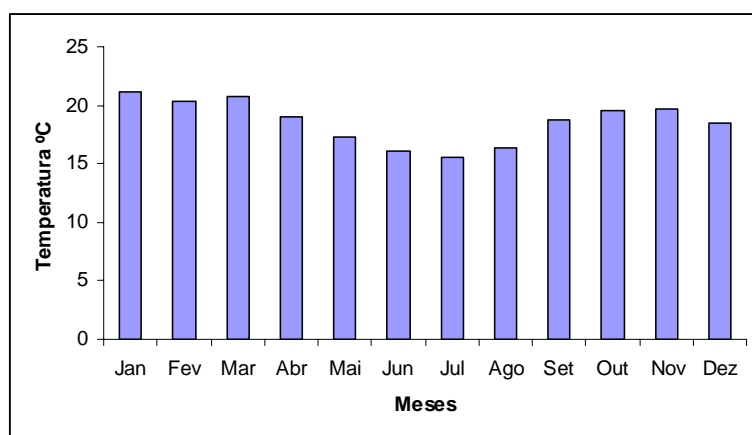


Figura 2.7 - Distribuição anual das temperaturas médias mensais em °C de Ouro Preto entre 1976 a 1990. (Fonte: IGA 1995).

A umidade relativa do ar média anual na região, no período de 1976 a 1990, variou de 78,7 a 86,2 %, apresentando uma pequena variação intra-anual, já que a amplitude não ultrapassa os 7,5%. A evaporação média anual varia de 67,3 a 93,7 mm, sendo o mês de outubro o mais acentuado (IGA 1995).

De acordo com IGA (1995) e Fujaco (2007) a evaporação, que é definida como a emissão de vapor de água por uma superfície líquida ou sólida a uma temperatura inferior à da ebulição, em Ouro Preto, registra 972,3 mm para o total médio anual, sendo o mês de outubro o que apresenta maior valor

de evaporação, com 93,7mm, e o mês de abril o menor valor, com aproximadamente 67,3 mm (Figura 2.8).

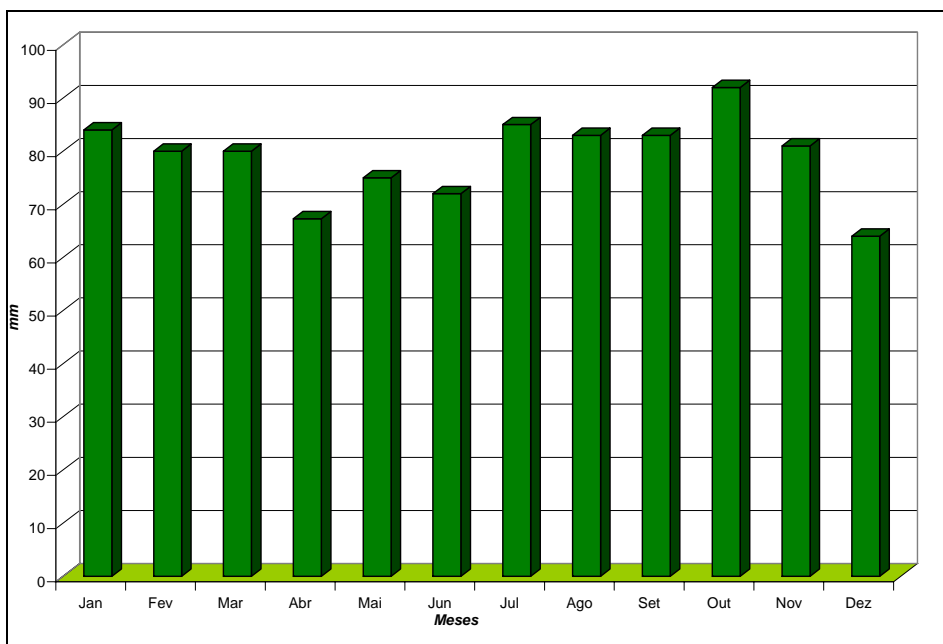


Figura 2.8 - Distribuição da evaporação média mensal (Fujaco 2007).

Para mensuração da evapotranspiração, Fujaco (2007) calculou a diferença entre os dados de precipitação média anual e evaporação média anual para ter uma idéia do balanço hídrico na região (Figura 2.9). Foi verificado um déficit hídrico entre os meses de maio a setembro, que segundo a autora “é plenamente compensado pelo excedente de água nos meses de outubro a abril, que possibilita a recarga dos aquíferos e a manutenção do volume de água nos córregos da região.”

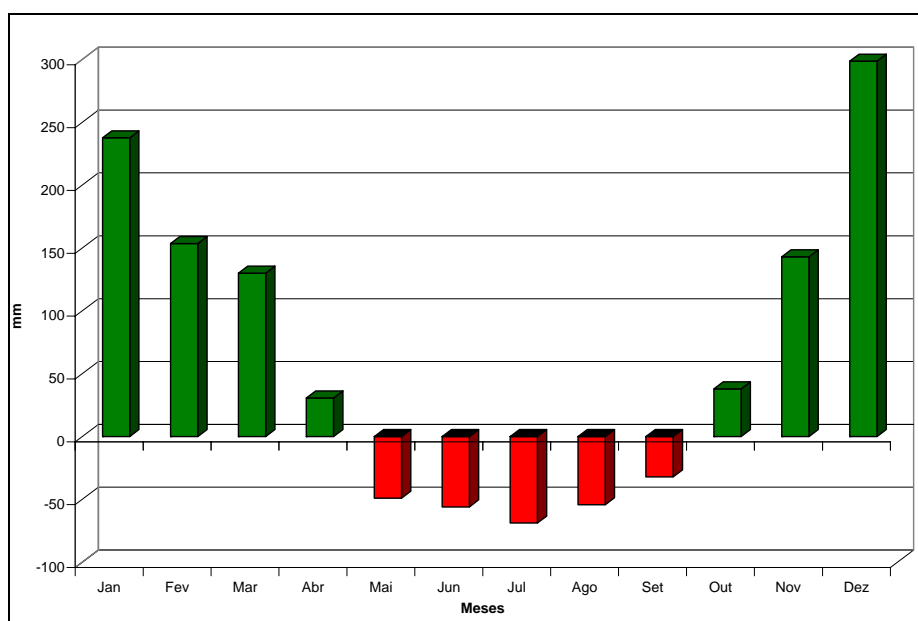


Figura 2.9 - Diferença entre evaporação e precipitação média mensal de Ouro Preto entre 1976 a 1990 (Fujaco 2007).

Os domínios da Mata Atlântica e do Cerrado compõem a cobertura vegetal da área. Os tipos vegetacionais predominantes são as florestas mesófilas montanas (estacionais semidecíduas), florestas higrófilas (brejos), campo rupestre (ou de altitude), floresta de galeria e matas de candeia (gênero *Eremanthus*). A composição destas varia de acordo com o solo, disponibilidade de água, altitude e relevo (Dutra *et al.* 2006).

As fitofisionomias dos campos rupestres são encontradas nos quartzitos, em superfícies aplainadas. Trata-se de uma vegetação rasteira formada principalmente por gramíneas. Já nas regiões de menor altitude ocorre o domínio da Floresta Semidecidual (Messias *et al.* 1997).

Nas drenagens, encontra-se a floresta de galeria, uma vegetação mais espessa com espécies de estrato arbóreo. Os candeais são encontrados com diferentes portes, geralmente como matas monodominantes, distribuídos em áreas com distintas características litológicas e geomorfológicas (Fujaco 2007).

2.2.5 - Hidrografia

A área do Parque Estadual do Itacolomi abriga inúmeras nascentes, localizadas, sobretudo, nos quartzitos do grupo Itacolomi. Os mais importantes são os córregos do Manso, dos Prazeres, e do Benedito, o rio Mainart e o ribeirão Belchior (Figura 2.10). Destes, apenas o córrego do Manso não tem sua nascente nos quartzitos do grupo Itacolomi (IEF 2006).

A geologia, topografia e regime hídrico da região do Manso permitiram a formação de córregos rasos e estreitos, de leito arenoso, com formações de planícies de inundação em algumas regiões e cachoeiras em locais com diferença de nível. A mata ciliar apresenta-se bem conservada, apesar de não ser mais original (IEF 2006).

O rio Mainart, formado pelos ribeirões da Cachoeira e do Falcão, flui na direção leste até se encontrar com o ribeirão Belchior, onde passa a fluir para a direção norte e torna-se o Gualaxo do Sul. Este rio tem como principais afluentes o ribeirão dos Prazeres e o Belchior e suas nascentes se encontram fora da área do parque (Oliveira 1999). Segundo IEF (2006), trata-se de um rio sinuoso, com leito arenoso e de canal largo e profundo. Em suas margens encontra-se uma mata ciliar bem preservada.

O ribeirão Belchior nasce próximo ao Pico do Itacolomi e deságua no rio Mainart, percorrendo em sua maior parte sobre filitos do Grupo Sabará. A captação de água, realizada pela empresa Novelis, para a geração de energia elétrica, que ocorre no ribeirão Belchior tem uma influência considerável no seu regime, constatada por diferenças de vazões e de características do canal à montante e à jusante da mesma.

O ribeirão dos Prazeres nasce nas proximidades do Morro do Cachorro e também deságua no rio Mainart, situado entre as barras dos córregos do Baú e São Domingos. O ribeirão dos Prazeres forma a Represa do Custódio, que possui área de 150 a 200 m de largura e 1800 m de comprimento no sentido NW-SE, construída pela Novelis, antiga Alcan (Oliveira 1999). De acordo com IEF (2006), o ribeirão dos Prazeres é um córrego raso, de leito cascalhoso e com parte de mata ciliar revestida de candeiais. Também ocorre captação de água, que representa ameaça ao rio, pois a água é praticamente toda desviada por um canal para geração de energia elétrica.

O córrego do Benedito possui leito rochoso e diversos níveis de base locais, apresentando cachoeiras exuberantes com formações de piscinas naturais. Este córrego tem sua nascente nos quartzitos do Grupo Itacolomi e percorre parte do Grupo Sabará desaguando no ribeirão Belchior.

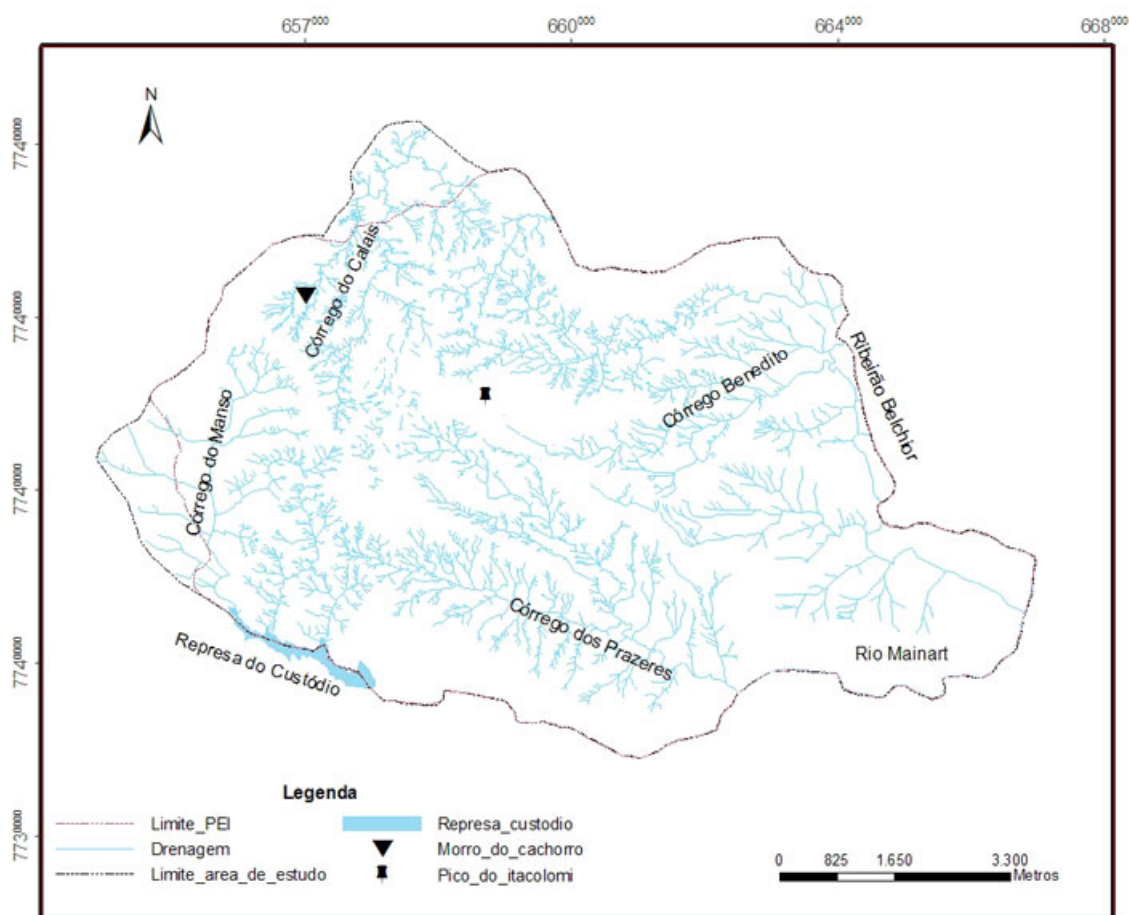


Figura 2.10 - Mapa com os rios e principais acidentes topográficos.

2.2.6 - Hidrogeologia

Existem dois aquíferos na região do Parque do Itacolomi, diferenciados de acordo com a altitude, a composição litológica e pedológica, os condicionantes estruturais das rochas e o posicionamento estratigráfico (Glöeckner 1981).

Na região dos quartzitos Morro do Cachorro (QMC), ocorre um aquífero fraturado com alta porosidade secundária e com regime confinado quando encontra-se abaixo dos xistos do Supergrupo Minas (Grupo Sabará). A circulação da água subterrânea está relacionada, sobretudo, a fraturas e falhas, que conferem ao aquífero elevado coeficiente de transmissividade. As fraturas de sentido NE, por serem mais largas, apresentam maior transmissividade (Glöeckner 1981). Na região noroeste, na bacia do Calais, encontram-se rios com fluxos perenes e intermitentes. Os rios intermitentes se encontram nas porções mais elevadas (Ferreira & Lazarin 1993). Os rios perenes são alimentados por águas subterrâneas, que eventualmente correm entre blocos, no interior de cavernas, no fundo de algumas dolinas, e segundo profundas fraturas denominados canyons (Ferreira & Lazarin 1993).

Nos quartzitos Pico do Itacolomi (QPI) encontra-se um aquífero com regime livre e circulação de água controlada, principalmente, por fraturamentos de direção NE que apresentam grandes larguras e profundidades. Os cursos d'água na região são intermitentes, e na maioria das vezes, correm segundo a direção das camadas (Ferreira & Lazarin 1993).

2.2.7 - Hidrogeoquímica

As características hidrogeoquímicas da região do Parque Estadual do Itacolomi foram investigadas por alguns trabalhos (Oliveira 1999, IEF 2006).

Em relação aos parâmetros físico-químicos, Oliveira (1999) concluiu que a região do parque apresenta águas ácidas, temperatura homogênea em torno de 22 °C, e concentrações baixas de sais. Além disso, observou-se que em geral, os elementos analisados mostram um enriquecimento natural da montante para a jusante, de oeste para leste. Segundo IEF (2006), que também analisou os parâmetros físico-químicos da região, os diferentes pacotes litológicos originaram águas distintas. Regiões com xistos e filitos (metapelitos) apresentaram maiores valores de condutividade e sólidos totais dissolvidos, que pode estar relacionado à riqueza de elementos químicos solúveis nestas rochas. Os valores de pH encontrados apresentaram-se neutros, com exceção de alguns pontos que apresentavam elevada quantidade de matéria orgânica.

Com relação aos elementos maiores e menores, Oliveira (1999) destaca-se algumas conclusões como as observações de alguns locais que podem ser classificados como altamente poluídos por Cd, não podendo se afirmar que se trata de intervenção antrópica na região. Observou-se também que o Fe apresenta valores anômalos em algumas regiões, o que, segundo a autora, pode estar relacionado às características geológicas da área. Já em IEF (2006), foram observadas elevadas concentrações de Fe, Mg e Mn na região do Manso, de Al no Itacolomi, de Fe e Mn no Custódio e de Al, Ca e K na região do córrego Mainard.

CAPÍTULO 3

CARACTERÍSTICAS DOS FLUXOS HÍDRICOS

Os componentes de fluxos superficiais e subsuperficiais estão intrinsecamente relacionados, e o regime hidrológico de um rio reflete a interação de processos naturais complexos atuantes em ambos. O estudo destas interações requer a compreensão e a consideração de fatores fisiográficos que afetam a dinâmica dos fluxos (clima, topografia, geologia, solos, etc.) e os efeitos antrópicos (Smakhtin 2001).

O conhecimento dos fluxos hídricos e das variáveis que interferem no regime hidrológico podem contribuir para a evolução do entendimento dos sistemas aquíferos dos carstes em quartzitos.

3.1 - AQUÍFEROS FRATURADOS

Os aquíferos fraturados ou fissurados são comuns em rochas ígneas ou metamórficas. A capacidade destas rochas em acumular água está relacionada à densidade de fraturas, suas características e seu grau de intercomunicação. As fraturas representam o resultado de uma deformação sofrida por uma rocha quando submetida a esforços de naturezas diversas. Em aquíferos fraturados, o armazenamento e a circulação de água estão condicionados à presença destas discontinuidades (falhas e fraturas) no maciço rochoso. Sendo assim, o fluxo subterrâneo é fortemente afetado pelos condicionantes geológico-estruturais.

O fraturamento pode ser considerado como o fator mais decisivo nas condições do fluxo e na produção de água subterrânea em aquíferos fraturados. A porosidade secundária, formada por fraturas, é responsável pelo armazenamento e permeabilidade, que também interfere na condutividade hidráulica, que determina a circulação da água subterrânea (Feitosa & Manoel Filho 1997). Sendo assim, a densidade de fraturas, definida como a razão entre o comprimento total das fraturas em uma região e a área desta, é um fator determinante no armazenamento da água subterrânea. Já a frequência das fraturas (quantidade total de fraturas existentes em uma determinada área) tem um menor significado hidrogeológico que a densidade de fraturas, uma vez que a grande extensão das fraturas representa mais que a quantidade destas (Custodio & Llamas 1976).

As características das fraturas, das quais o fluxo de água subterrânea também depende, são: a abertura, a rugosidade das paredes e o material de preenchimento. Dentre estes, o fator mais importante é a abertura das fraturas (Feitosa & Manoel Filho 1997).

A abertura é a medida de separação média entre as paredes de uma fratura. De acordo com Feitosa & Manoel Filho (1997), desconsiderando a rugosidade presente na fraturas e considerando o

fluxo como sendo laminar, é possível aplicar a equação chamada de Lei Cúbica, onde a condutividade hidráulica do meio (K) é dada por:

$$K = \frac{\rho \times g}{12 \times \mu} \times N \times b^3$$

Onde ρ é a densidade, μ é a viscosidade da água, g a aceleração da gravidade, N é o número de fraturas por unidade de distância e b a abertura das fraturas.

Portanto, a equação revela que a condutividade hidráulica nos meios fraturados é proporcional ao cubo da abertura da fratura, demonstrando desta forma a sua importância no estudo destes tipos de aquíferos. Já a frequência de fraturas causa variação apenas linear (Figura 3.1).

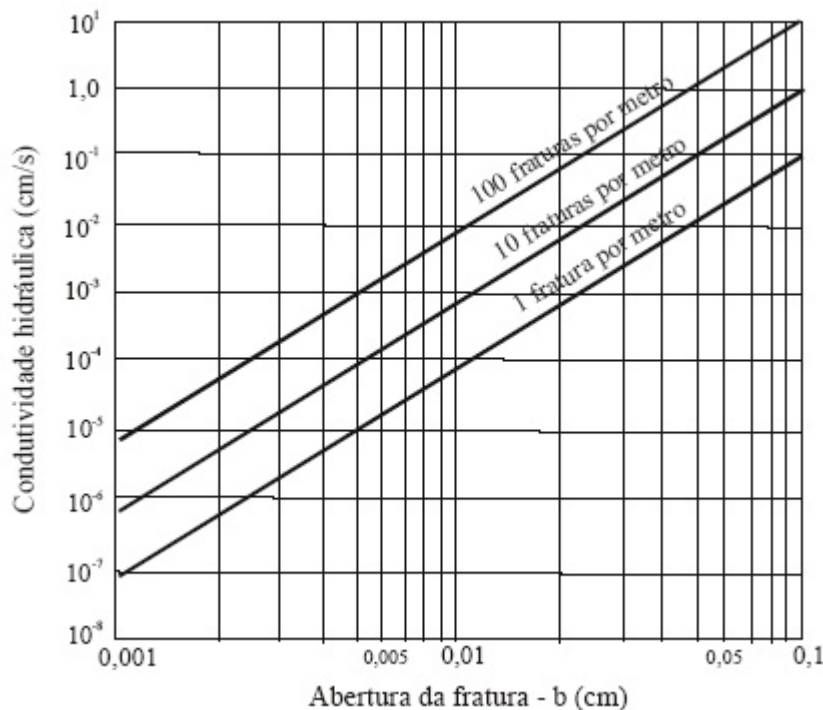


Figura 3.1 - Variação da condutividade hidráulica em função da abertura da fratura e do espaçamento ou frequência (Hoek e Bray 1981 in Neves 2005).

3.2 - CARSTES EM QUARTZITOS

A definição de carste, ou relevo cárstico, foi estabelecida tomando por base as feições desenvolvidas em rochas carbonáticas. Nos estudos sobre a formação dos carstes, a solubilidade química destas rochas era apontada como o principal fator responsável pela existência destas feições. No entanto, com o aprofundamento destes estudos, foi possível verificar a ocorrência de carstes em rochas siliciclásticas pouco solúveis, como é o caso de arenitos, quartzitos ou gnaisses, que contém muita sílica (SiO_2), que possui baixas taxas para dissolução em condições normais de temperatura e pressão (Coelho Netto *et al.* 2006).

Alguns trabalhos descrevem as feições cársticas e a ocorrência de dissolução da sílica em rochas siliciclásticas. Dentre eles, destacam-se os realizados na Austrália (Jennings 1983; Wray 1995), na Venezuela (Doerr 1999; White *et al* 1966) e na África do Sul (Mainguet 1972). No Brasil, os estudos das feições cársticas em rochas quartzíticas foram desenvolvidos principalmente por Corrêa Netto *et al.* (1993), Silva (2004) e Coelho Netto *et al.* (2006). Em rochas quartzíticas, a solubilidade, embora baixa, está presente nos processos de formação dos carstes, porém estes são condicionados por outros fatores, além da dissolução química, como: a presença de fraturas, as condições climáticas (precipitação, temperatura e umidade relativa) e a presença de condutos formados pela dissolução das rochas (Doerr 1999).

O grau de solubilidade na água das várias formas da sílica depende do estado, se cristalino ou amorfo, do pH da solução, da temperatura, da presença de outras espécies reativas e do fator tempo. Para Krauskopf (1956), a solubilidade da sílica amorfa em temperatura de 25°C é de aproximadamente 100 mg/l, enquanto a da sílica cristalina, é de 14 mg/l. Já em relação ao pH a sílica é altamente solúvel num meio básico, portanto pouco solúvel no meio ácido, como mostrado na Figura 3.2 (Mason 1966).

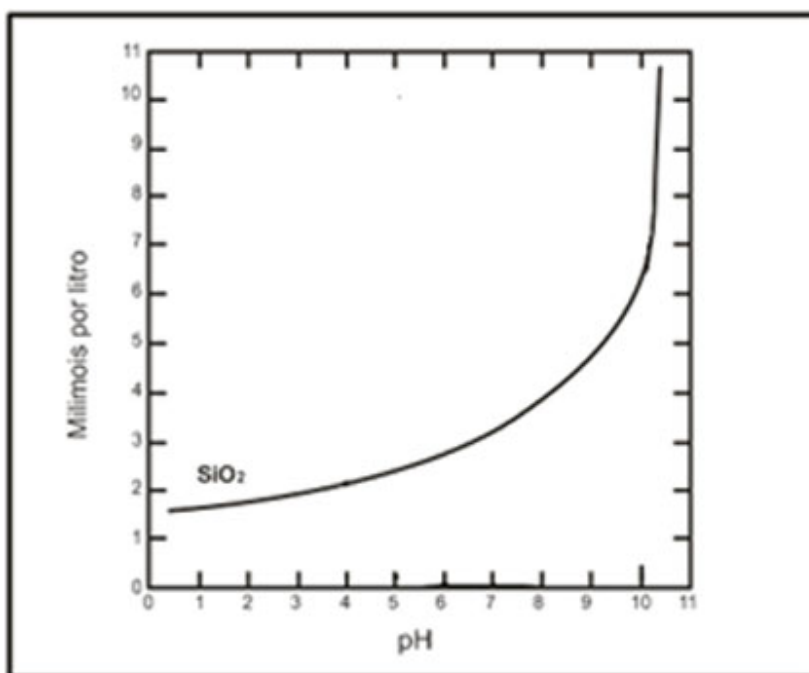


Figura 3.2 – Solubilidade da sílica (Mason 1966).

A morfologia cárstica do Parque Estadual do Itacolomi se desenvolve em rochas quartzíticas localizadas em regiões tectonicamente deformadas e em altitudes elevadas (Cruz & Filho 2006).

As rochas quartzíticas do parque formam um relevo cárstico típico, com ocorrência de feições características, como: aspecto ruiniforme, drenagens subterrâneas (criptorréicas), dolinamentos (Figura

3.3), cavernamentos, lapiezamentos de diversos tipos, paredões verticais, canions, sumidouros, ressurgências, pontes, torres e abrigos sob rocha e nascentes (IEF 2006).



Figura 3.3 – Foto ilustrativa de dolina.

Os padrões de fluxo hídrico em áreas cársticas, em muitas circunstâncias, tornam-se difíceis de serem caracterizados, uma vez que estas regiões apresentam peculiaridades, onde de acordo com Feitosa & Manoel Filho (1997), destacam-se:

- grande rapidez da infiltração das águas por meio de condutos localizados (sumidouros);
- irregularidades na direção do fluxo de água com relação ao gradiente potenciométrico;
- grande heterogeneidade da condutividade hidráulica e variação dos valores do coeficiente de armazenamento e da transmissividade.

3.3 - CONEXÃO ENTRE ÁGUA SUPERFICIAL E SUBTERRÂNEA

Há algum tempo, costumava-se estudar separadamente a água superficial e a água subterrânea como se fossem ramos distintos e isolados. No entanto, hoje em dia é de conhecimento de todos que, pelas diversas interligações existentes, a água superficial pode se transformar em subterrânea através da infiltração da água de chuva, do excesso de água de irrigação, da percolação proveniente de rios, canais e lagos e também através da recarga artificial. Por outro lado, a água subterrânea pode se transformar em água superficial através da descarga de base de rios, escoamento em fontes e drenagem agrícola (Feitosa & Manoel Filho 1997).

Um rio pode alimentar um aquífero subterrâneo ou ser alimentado por ele. No primeiro caso o rio é chamado de influente, e no segundo caso de efluente. Os cursos de água que mantêm regime de escoamento permanente recebem águas subterrâneas dos sistemas aquíferos.

Em consequência disso, os deflúvios superficiais no tempo da estiagem dependem quase que exclusivamente da capacidade de retenção dos aquíferos, e o estudo dessa variação sazonal poderá fornecer boas relações e revelações sobre as águas subterrâneas armazenadas (Gonçalves 2001).

As águas provenientes da precipitação atingem o leito do curso d'água por quatro vias: fluxo superficial (fluxo superficial hortoniano e fluxo superficial de saturação), fluxo subsuperficial, fluxo subterrâneo e precipitação direta sobre a superfície líquida (Figura 3.4). As precipitações diretas sobre as superfícies líquidas não têm grande significado para o escoamento total do curso d'água, e são normalmente englobadas no escoamento de superfície (Garcez 1974).

O fluxo (ou escoamento) de base é uma das mais importantes características hidrológicas de uma bacia hidrográfica (Lacey & Grayson 1998). Como este fluxo representa a contribuição do aquífero para o fluxo superficial, o conhecimento de suas características é importante no estudo das reservas e da capacidade de armazenamento dos aquíferos, do regime de rios e para o gerenciamento de bacias hidrográficas (Castany 1971, Smakhtin 2001).

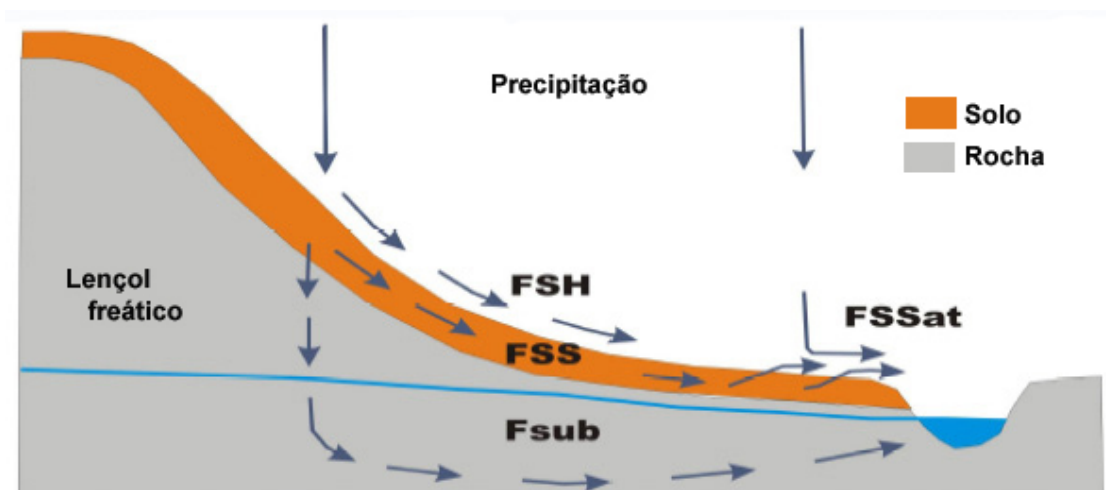


Figura 3.4 - Fluxos principais. FSH = fluxo superficial hortoniano; FSSat = fluxo superficial de saturação; FSS = fluxo subsuperficial; FSub = fluxo subterrâneo (Dunne e Leopold 1978 in Bacellar 2005).

3.4 - CARACTERÍSTICAS QUE INTERFEREM NO POTENCIAL HÍDRICO

Além das características de fraturas descritas anteriormente, as variáveis climáticas e as características físicas da bacia também interferem no potencial hídrico de uma região (Castany 1971, Moldan & Cerny 1994, Lacey & Grayson 1998). As características físicas mais significativas de uma bacia são: a geologia, os solos, a cobertura vegetal, a geomorfologia e as condições de uso e ocupação (Moldan & Cerny 1994). Já as variáveis climáticas englobam a precipitação, evaporação, temperatura,

umidade do ar e vento. A região em estudo apresenta feições especialmente marcantes, que também exercem papel fundamental no regime hidrológico/hidrogeológico. Trata-se de características geológicas típicas de formações cársticas em quartzitos, como dolinas e sumidouros.

3.4.1 - Clima

O regime hidrológico, ou a produção de água de uma região, também é muito influenciado por fatores de natureza climática, já que o balanço precipitação-*evapotranspiração* apresenta certa proporcionalidade com a vazão (Chorley 1980, Lacey & Grayson 1998).

Outros índices climáticos tais como temperatura, ventos e umidade do ar também participam do balanço hídrico, influenciando, sobretudo, a *evapotranspiração* (Costa 2005).

3.4.2 - Geologia

A geologia interfere diretamente na infiltração, circulação e armazenamento dos fluxos hídricos, pois a água é armazenada nas rochas e solos podendo ser posteriormente liberada aos rios como fluxo de base (Fetter 1988, Moldan & Cerný 1994).

Segundo Lacey & Grayson (1998), a geologia afeta o fluxo de base de duas maneiras. O primeiro efeito, como citado anteriormente, é direto, as águas estocadas nas rochas, especialmente aquelas com alta densidade de fraturas e presença de cavidades, contribuem significativamente para o fluxo de base. O segundo efeito está relacionado à formação dos solos, onde diferentes tipos de rochas tendem a produzir diferentes tipos e espessuras de solos, e conseqüentemente afetam as condições de recarga e descarga do aquífero.

De acordo com uma compilação realizada por Costa (2005) o potencial hidrogeológico das rochas do quadrilátero ferrífero pode ser definido como, muito baixo para xistos, baixo nos granito-gnaisses, de baixo a médio para os quartzitos e alto nas formações ferríferas.

3.4.2.1 - Pedologia e tipos de solos

As características minerais e texturais dos solos são atributos intrínsecos dos litotipos que, de algum modo, influem no comportamento hidrogeológico do meio. A espessura e a permeabilidade intrínseca dos solos são parâmetros fundamentais na inferência do potencial de infiltração (Brandão & Gomes 2005).

O conhecimento sobre a distribuição granulométrica de partículas sólidas é essencial para se determinar a textura dos solos e assim a sua permeabilidade intrínseca.

De acordo com Fetter (1988), existe uma relação direta entre a classificação textural, a permeabilidade intrínseca e a condutividade hidráulica, ou seja, a composição mineralógica, o

tamanho e a distribuição das partículas do solo e os vazios do solo são fatores que influenciam a permeabilidade intrínseca e a condutividade hidráulica do solo (Tabela 3.1).

Tabela 3.1 - Faixa de valores de permeabilidade intrínseca e condutividade hidráulica das diferentes classes texturais (Fetter 1988).

Material	Permeabilidade Intrínseca k (cm²)	Condutividade Hidráulica K (cm/s)
Argila	10 ⁻¹⁴ - 10 ⁻¹¹	10 ⁻⁹ - 10 ⁻⁶
Silte, silte arenoso	10 ⁻¹¹ - 10 ⁻⁹	10 ⁻⁶ - 10 ⁻⁴
Areia argilosa	10 ⁻¹¹ - 10 ⁻⁹	10 ⁻⁶ - 10 ⁻⁴
Areia siltosa, areia fina	10 ⁻¹⁰ - 10 ⁻⁸	10 ⁻⁵ - 10 ⁻³
Areia bem distribuída	10 ⁻⁸ - 10 ⁻⁶	10 ⁻³ - 10 ⁻¹
Cascalho bem distribuído	10 ⁻⁷ - 10 ⁻⁵	10 ⁻² - 10 ⁰

Outro fator importante na percolação das águas no solo é a presença de matéria orgânica, que pode aumentar a permeabilidade intrínseca quando encontrada em grande quantidade no solo e pouco decomposta. A agregação dos solos, comum em países tropicais, também é um fator importante que pode aumentar significativamente a condutividade.

Existem diferentes tipos de solos que são classificados de acordo com os horizontes presentes, à fertilidade, à textura e a origem, como os litossolos, cambissolos, latossolos, solos aluviais e podzólicos (IGA 1995). Tais solos apresentam variações em relação às propriedades hidráulicas.

3.4.3 - Geomorfologia

As características geomorfológicas de uma bacia hidrográfica também influenciam nas condições de fluxo. A importância do relevo para o regime de fluxo pode ser avaliada através de diversos índices morfométricos (Zecharias & Brutsaert 1988, Lacey & Grayson 1998) e das propriedades da rede de drenagem (Soares & Fiori 1976, Lima 2002). Neste trabalho serão enfatizados dois índices morfométricos: a densidade de drenagem e a declividade.

3.4.3.1 - Declividade

A inclinação das encostas, ou declividade do terreno, é uma propriedade geomorfológica que também interfere nas condições de fluxo, pois condiciona o escoamento superficial e a infiltração das águas (Garbossa 2003).

A declividade influencia diretamente no processo infiltração-escoamento das águas precipitadas. Quanto maior a declividade, maior o escoamento superficial, e menor a infiltração e a favorabilidade à ocorrência de águas subterrâneas. Quanto maior o gradiente do terreno, mais

rapidamente a energia potencial das águas pluviais se transforma em energia cinética, favorecendo o escoamento superficial (*runoff*), ou seja, diminuindo o tempo de residência da água da chuva. Sendo assim, a contribuição da declividade para o potencial hidrogeológico está relacionada com a infiltração. Pequenos ângulos de inclinação das encostas configuram áreas mais favoráveis para a infiltração das águas, enquanto situações de maior declividade se mostram menos favoráveis (Brandão & Gomes 2005).

3.4.3.2 - Propriedades da rede de drenagem

As bacias hidrográficas e a organização da sua rede de drenagem se configuram como feições importantes para a investigação sobre o meio físico. Segundo Christofolletti (1980), o arranjo espacial da rede hidrográfica pode ser influenciado pela natureza, pela disposição das camadas rochosas, pela resistência litológica, pelas diferenças de declividade e pela evolução geomorfológica da região. Estas características podem refletir algumas propriedades do processo hidrogeológico.

A densidade de drenagem (razão entre o comprimento total dos canais de drenagem e a área de uma bacia) atua inversamente à infiltração, pois quanto maior a quantidade de linhas de drenagem, maior será o escoamento superficial de água, e menor a infiltração. A densidade da drenagem varia diretamente com a extensão do escoamento superficial e fornece assim a indicação sobre a eficiência da drenagem natural da bacia (Christofolletti 1980).

Quando se tem uma densidade de drenagem baixa, a presença de rios é menor, devido ao fato dos solos serem mais permeáveis, ocorrendo o predomínio da infiltração sobre o escoamento superficial. Já quando a densidade de drenagem é mais alta, há um maior número de rios, pois os solos são mais impermeáveis, vindo a ocorrer o predomínio do escoamento superficial sobre a infiltração (Garbossa 2003). Entretanto, mesmo em solos impermeáveis, quando se têm muitas fraturas a densidade de drenagem é baixa.

3.4.4 - Cobertura vegetal e uso e ocupação do solo

A cobertura vegetal é um fator considerável para o processo de infiltração, pois contribui na proteção da camada de solo, dificultando sua remoção pelos processos de erosão hídrica (escoamento superficial), além de impedir a compactação dos solos pela presença de estruturas biológicas como raízes de plantas, perfurações de vermes e buracos de animais, aumentando assim a porosidade e a permeabilidade dos solos. Por outro lado, segundo Bacellar (2005), vários estudos têm demonstrado que o aumento da vegetação resulta no aumento da transpiração, o que gera a diminuição da produção de água. Sendo possível, com o desmatamento, aumentar as vazões nos períodos de seca e até mesmo aumentar as vazões médias anuais. Este autor também conclui que a vegetação nos fundos de vale, diminui a infiltração, pois o lençol freático normalmente é mais raso, próximo ao alcance das raízes.

Já a vegetação localizada nos topos dos morros pode ser benéfica para a infiltração. Devido a essa dupla interpretação, neste trabalho não houve enfoque na cobertura vegetal em relação aos fluxos hídricos.

Mudanças no uso e ocupação do solo fazem com que os ecossistemas também sejam afetados, ocasionando a alteração do ciclo hidrológico (Bosh & Hewlett 1982, Bruijnzell 1996, Costa 2003, Ziegler *et al.* 2004). Solos nus podem se tornar parcialmente impermeáveis pela ação compactadora de estradas, caminhos, e sobrepastoreio. A redução da matéria orgânica nas camadas superficiais do solo, através de desmatamentos e queimadas, instabilizam seus agregados e reduz a infiltração.

3.5 - GEOQUÍMICA

“A água é o solvente mais abundante, sendo capaz de incorporar grandes quantidades de substâncias ao entrar em contato com os minerais constituintes dos solos e das rochas nas quais circula. A água é uma substância quimicamente muito ativa que tem grande facilidade de dissolver e reagir com outras substâncias orgânicas ou inorgânicas” (Feitosa & Manoel Filho 1997).

A geoquímica das águas e dos solos é controlada por processos geomorfológicos, geológicos, climáticos e biológicos. Os processos geológicos determinam a composição das rochas, e a exposição destas rochas a superfície desencadeia os processos de intemperismo químico e a pedogênese. As características das rochas e solos, associadas aos fatores climáticos e geomorfológicos, determinam as condições de circulação das águas subterrâneas e superficiais, facilitando ou dificultando a lixiviação dos solos e rochas pelas águas e a solubilização e o transporte dos elementos no ambiente. Os elementos presentes no solo também podem ser lixiviados pelas águas através de processos biológicos, como exemplo, quando absorvidos pelas plantas (Moldan & Cerný 1994).

Além destas interações, Krauskopf (1983) salienta a relação dos processos hidrológicos com os hidrogeoquímicos, que exerce forte controle na variação espacial e temporal dos elementos químicos nas águas superficiais. De acordo com este autor, em ambientes não “perturbados”, ou seja que não sofrem ação antrópica, existe uma estreita ligação dos processos hidrológicos e biogeoquímicos, e os fluxos hídricos superficiais exercem importante papel no transporte dos elementos químicos.

“A água subterrânea, ao lixiviar os solos e as rochas, enriquecem-se em sais minerais em solução, proveniente da dissolução dos minerais. Estas reações são favorecidas pelas baixas velocidades de circulação das águas subterrâneas, pelas maiores pressões e temperaturas a que estão submetidas e pelas facilidades de dissolver CO₂ ao percolar pela zona não saturada” (Feitosa & Manoel Filho 1997). Numa bacia hidrográfica, pelo fato das águas de drenagens superficiais, em

período de seca, ser assegurada pelas águas subterrâneas (fluxo de base), estas também terão uma assinatura química relacionada com as características litológicas do local (Hem 1985).

Segundo Négrel (2006), a concentração dos elementos químicos nas águas é determinada pelo grau de intemperismo e pela litologia original. Os fluxos hídricos que percorrem sobre diversas rochas, comumente, desenvolvem diferentes compartimentos hidrogeológicos. Ainda de acordo com este autor, o processo de intemperismo origina rochas com diferentes características químicas que são refletidas na constituição geoquímica da água.

A influência da litologia na composição química das águas também foi identificada em outros estudos. Tempel *et. al.* (2000), verificou que a interação rocha-água, em um ambiente oxidante, pode potencialmente resultar em níveis elevados de metais. Beaucaire & Michard (1982) pesquisou a origem dos elementos (Li, Rb, Sr, Ba) nas águas superficiais em rochas graníticas e Lasaga (1984) a cinética química da interação rocha-água. Tais autores ressaltaram a estreita relação entre rocha-solo e as concentrações dos elementos químicos nas águas.

CAPÍTULO 4

METODOLOGIA

A metodologia empregada para alcançar os objetivos anteriormente apresentados é descrita ao longo deste capítulo.

4.1 - AQUISIÇÃO DOS DADOS BÁSICOS

A parte inicial deste trabalho constituiu-se basicamente de levantamentos e análise de textos descritivos sobre o assunto, e do inventário de dados e mapas da região.

O acervo cartográfico/fotográfico utilizado é composto dos seguintes itens:

- Cartas topográficas e mapa geológico na escala de 1/25.000 (Lobato *et.al.* 2004).
- Imagem de satélite IKONOS (2001)
- Fotografias aéreas na escala de 1/30.000 e ortofotos na escala de 1/20.000 (CEMIG - 1986).

Após a análise destes dados, partiu-se para o reconhecimento de campo, onde foram definidas três sub-bacias e vinte quatro pontos de amostragem, sendo seis referentes a solos e dezoito à água, todos distribuídos em áreas representativas das diferentes litologias da região (Figura 4.1).

As áreas de coleta de água correspondem às sub-bacias dos rios: Manso (Man), Calais (Cal) e Benedito (Ben). Além destas regiões, as coletas de amostras de solos também foram realizadas nas áreas denominadas Belchior (Br), Custódio (Cd) e Mainard (Md).

Na sub-bacia do rio Manso encontra-se a fazenda do Manso e a lagoa do Custódio, apresenta uma mata bem preservada, com predomínio da Floresta Estacional Semidecidual. Na sub-bacia do rio Calais, onde se localiza o pico do Itacolomi, com afloramentos rochosos de quartzito, se concentram as estruturas geológicas (falhas e fraturas) e predominam os campos rupestres. Nesta região o processo erosivo dos quartzitos e metaconglomerados favorecem a ocorrência de colapso de blocos, ocasionando a formação de sumidouros, dolinamentos e cachoeiras. A sub-bacia do rio Benedito é uma região que apresenta cursos d'água encachoeirados e com nascentes localizadas próxima ao Pico do Itacolomi e também apresenta afloramentos rochosos de quartzito.

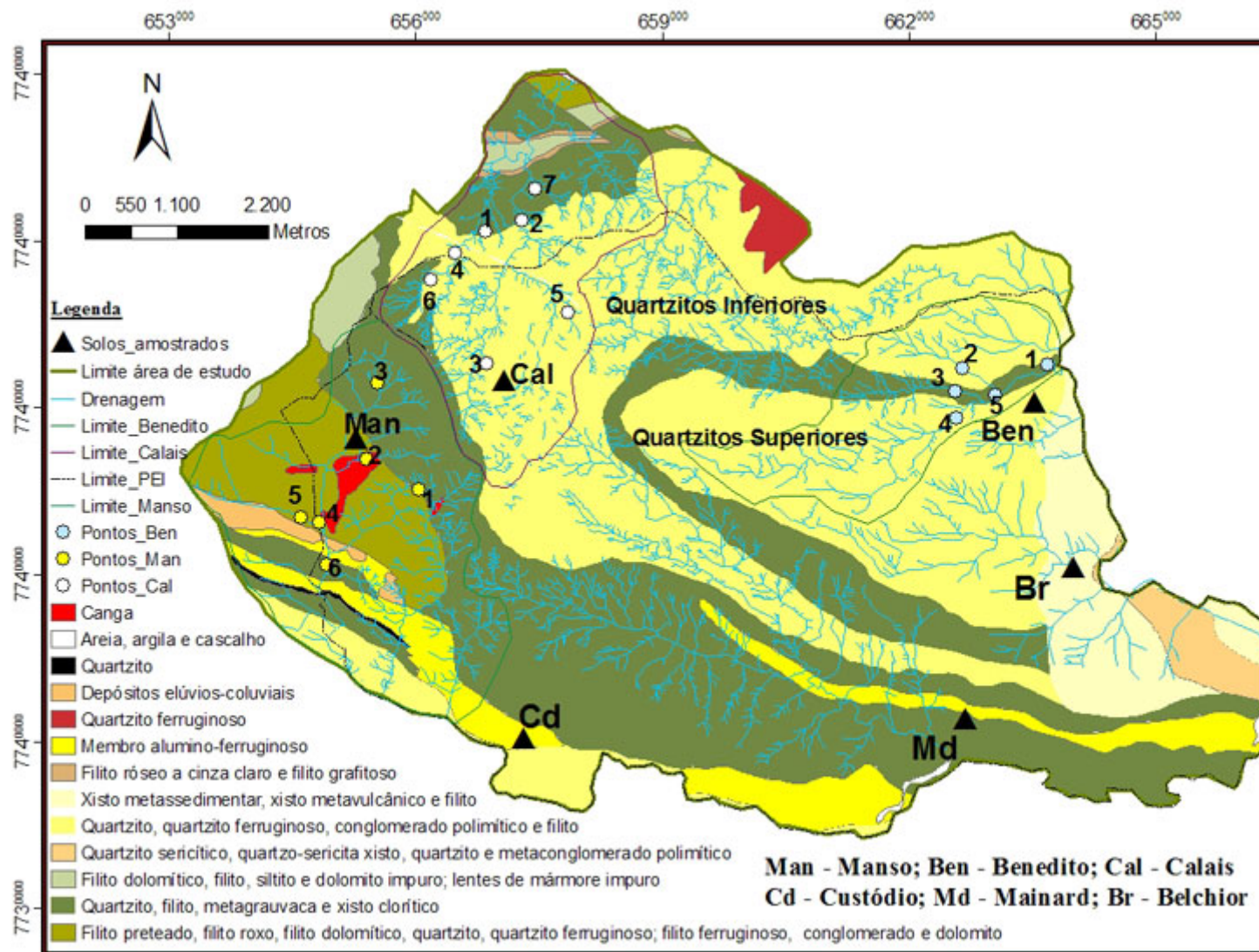


Figura 4.1 - Mapa geológico (baseado em Lobato et al. 2004) com os pontos amostrados do PEI.

Os segmentos de rios e córregos definidos nessas sub-bacias, para medições das vazões líquidas e parâmetros físico-químicos, apresentam características diversas. Na sub-bacia do rio Manso, todos os trechos amostrados (pontos 1, 2, 3, 4, 5 e 6) são rasos e estreitos, de leito arenoso, com uma mata ciliar ainda preservada. Dentre estes, os que apresentam um leito mais arenoso são os pontos man-4 e man-5. Os pontos 1, 2 e 7 na sub-bacia do rio Calais estão localizados próximo à rodovia dos Inconfidentes (BR-356) e apresentam grande influência antrópica, sendo os pontos 1 e 7 com trechos estreitos, rasos e com leito rochoso e o ponto 2 apresentando um leito arenoso. Os demais trechos (pontos 3, 4, 5 e 6) apresentam matas ciliares, córregos estreitos, rasos e encaixados, com leito rochoso. O ponto 2 na sub-bacia do rio Benedito é bastante estreito e raso, já os pontos 1, 3, 4 e 5 são mais profundos, com leito rochoso, canal largo e encachoeirado (Figura 4.2).

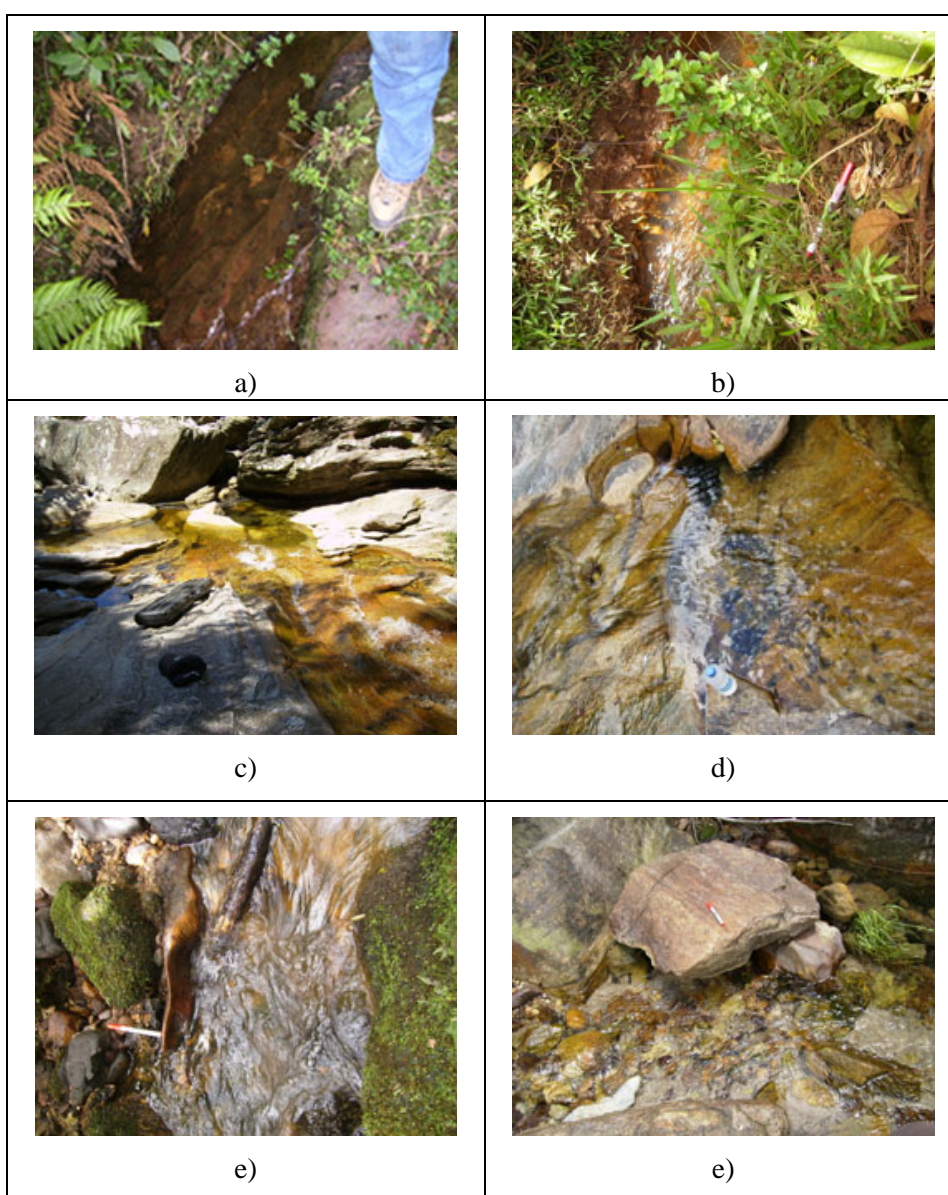


Figura 4.2 – Fotos ilustrativas de alguns pontos amostrados destacando certas características: a) man-1 e man-5 (rasos e estreitos); c) ben-3 e ben-4 (canal largo e leito rochoso); e) cal-3 e cal-4 (córrego estreito e raso com leito rochoso).

Todos os pontos de amostragem dos solos se encontram em baixa encosta e foram selecionados de acordo com as litologias representativas de cada unidade geomorfológica. Os solos amostrados na sub-bacia do rio Calais (cal) e nos pontos Md, Br e Cd apresentavam uma vegetação de médio porte. Os solos amostrados na sub-bacia do rio Manso (man), foram coletados em uma planície de inundação, com mata ciliar bastante preservada. O solo da sub-bacia do rio Benedito (ben) foi coletado próxima ao curso d' água, em uma região com incidência de incêndios florestais.

4.2 - CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

As informações geológicas foram obtidas diretamente do mapa de Lobato et.al (2004), na escala de 1:25.000.

4.2.1 - Caracterização geomorfológica

A caracterização geomorfológica foi realizada através da confecção de mapas temáticos (hipsométrico, drenagem, dolinas e declividade). Esses mapas são descritos a seguir.

Através da digitalização das informações obtidas com a interpretação das fotografias aéreas (na escala de 1:30. 000) e com a transferência para o papel vegetal, criou-se o mapa de drenagem. Os dados da interpretação foram digitalizados e georeferenciados no programa ARCGIS 9.1.

Para a elaboração do mapa hipsométrico foram utilizadas cartas topográficas na escala 1:25.000 (Lobato *et al* 2004) e imagem de satélite, com curvas de nível e pontos cotados vetorizados e importados para o software de SIG, no caso o ARCGIS 9.1. O mapa hipsométrico foi elaborado através de método Triangular Irregular Net (Câmara 2001), que serviu de base para o cálculo da grade numérica de declividade.

O mapa de dolinas e níveis de base também foram elaborados através do software ARCGIS 9.x, baseado no mapeamento destas feições realizado por IEF (2006).

4.2.2 - Caracterização estrutural

Para o estudo das estruturas, preliminarmente foi executado um levantamento dos lineamentos em fotografias aéreas, na escala 1:30. 000. O programa ARCGIS 9.1 foi utilizado para digitalizar os lineamentos, produzindo-se um arquivo de dados vetoriais. Após, efetuou-se a inserção dos dados vetoriais no programa ROCKWORKS 2006 para gerar o diagrama de rosetas.

4.3 - MONITORAMENTO E ANÁLISES EM LABORATÓRIO

4.3.1 - Água

Para a seleção dos pontos de monitoramento de vazão, procurou-se amostrar aqueles com geologia e geomorfologia distintos e também de mais fácil acesso. Nos diferentes trechos das três sub-

bacias definidas neste estudo, foram avaliadas as vazões, medidas as propriedades físico-químicas e coletadas amostras para análise dos elementos maiores e traços.

4.3.1.1 - Vazão

Para estimativa de vazão nos pontos selecionados foram realizadas medidas de profundidade e largura dos canais e tomadas medidas de velocidade do fluxo ao longo de diversas verticais a 0,6 da profundidade do canal (Chow 1959), utilizando-se um molinete fluviométrico (modelo FP201 Global Flow Probe – Figura 4.3). A partir desses dados, foram calculadas as vazões pelo método área-velocidade, conforme predefinido no Geological Survey (1977). Foram realizadas medições quinzenais no período de julho a setembro de 2006 e junho de 2007 e mensais no período de outubro a dezembro de 2006 e de janeiro a maio de 2007. Procurou-se avaliar os pontos em cada sub-bacia no mesmo dia, de forma a permitir o monitoramento da vazão ao longo do curso principal de água, e também foi realizado o monitoramento com três dias consecutivos sem chuva, para uma possível comparação entre as bacias. Problemas técnicos impediram a realização de algumas das medições, mas sem comprometer o resultado final do trabalho.

Estas medidas de vazões foram utilizadas para estimar o potencial hídrico de cada sub-bacia. Para tal foram calculadas as médias das vazões mínimas mensais. Para o cálculo destas vazões médias foi considerado apenas o período de seca, quando a vazão variou pouco e não houve precipitação nos seis dias anteriores à amostragem, que compreendeu os meses de maio a setembro.



Figura 4.3 - Utilização do micromolinete em campo para a determinação da velocidade da água.

4.3.1.2 - Propriedades físico-químicas

A condutividade elétrica (CE), pH, temperatura e sólidos totais dissolvidos (STD ou TDS) foram determinados *in situ*, utilizando-se um equipamento multiparâmetro portátil (*Ultrameter- Myrn L Company*), um condutivímetro LF-340 e um ph-metro de bolso da marca PHTEK, previamente calibrados (Figuras 4.4 e 4.5). Procurou-se amostrar estas propriedades no mesmo período simultaneamente às medidas das vazões.

Em cada ponto de amostragem também foram coletadas duas amostras em frascos de 1 litro, uma no período de chuva e outra no período de seca. Essas amostras foram utilizadas para determinar a turbidez da água. A turbidez foi medida em laboratório com turbidímetro Micronal modelo B250 (APHA 1992).



Figura 4.4 - Ph-metro utilizado em campo para a determinação do pH da-água.



Figura 4.5 - Condutivímetro utilizado em campo para a determinação da CE , TDS e temperatura.

4.3.1.3 - Geoquímica

Foram realizadas duas campanhas de amostragem de água, a primeira durante a estação seca e a segunda no período chuvoso. A coleta e a preservação das amostras seguiram a metodologia proposta por Agudo (1987) e Derisio (1992). A coleta se deu contra a corrente e realizou-se o ambiente três vezes com a água do rio. As amostras foram filtradas com membranas de 0,45 µm adaptadas em seringas de 50 mL. Essas amostras também foram acidificadas com ácido nítrico concentrado e preservadas a 4°C. A acidificação das amostras foi realizada para evitar a troca de íons e a precipitação dos hidróxidos e também para impedir a adsorção de metais junto às paredes dos recipientes.

Para a determinação da presença de metais e elementos traços na água foi utilizada a técnica de Espectrometria de Emissão Atômica com fonte Plasma Indutivamente Acoplado (ICP-OES) (APHA 1992), no Laboratório de Geoquímica Ambiental (LGqa) do Departamento de Geologia da Universidade Federal de Ouro Preto (DEGEO/UFOP).

4.3.2 - Solos

Foram coletadas amostras de solo em seis pontos, selecionados de acordo com a geologia do local. Em cada ponto foram coletadas amostras nas profundidades de 0-10 cm, 10-20 cm, 20-30 cm, 30-40 cm, 40-50 cm e 50-60 cm. As análises realizadas nestas amostras são descritas a seguir.

O material coletado foi acondicionado em sacos plásticos devidamente etiquetados. Até a realização das análises de laboratório, as amostras de solo foram armazenadas em uma câmara úmida a fim de se conservar as suas características originais.

4.3.2.1 - Granulometria

A determinação granulométrica dos solos foi realizada por peneiramento e sedimentação (NBR-7181/ABNT). Uma quantidade representativa de material foi selecionada e sua umidade determinada. Posteriormente, este material foi passado na peneira #10 (2,0 mm) e separado em três quantidades: 50 g para a determinação do peso específico real das partículas, 70 g para a sedimentação e 50 g para o peneiramento fino. Para o peneiramento grosso (material retido na peneira #10), o material foi lavado na peneira #10 (2,0 mm) e em seguida colocado na estufa. O material seco foi peneirado mecanicamente até a peneira #10 e a fração retida em cada peneira foi pesada. Para o peneiramento fino (material que passa na peneira #10), o material foi lavado na peneira #200 (0,075 mm) e colocado na estufa. O material seco foi passado nas peneiras de aberturas menores que a #10 e a fração retida em cada peneira foi pesada. Na sedimentação, o material foi colocado em “banho” (6 a 24 horas) sem defloculante. A mistura foi agitada no dispersor elétrico por 15 minutos, sendo transferida posteriormente para a proveta graduada, sendo esta completada com água destilada até

1000 ml. Por fim, foram realizadas leituras com densímetro nos tempos de 15 seg, 30 seg; 1 min, 2 min, 4 min, 8 min, 15 min, 30 min; 1 h, 2 h, 4 h, 8 h, 24 h.

4.3.2.2 - Mineralogia

A composição mineralógica dos solos foi determinada por meio de difração de raios-X (Brindley & Brown 1984) utilizando o aparelho Rigaku, modelo D/Max-2B, com radiação CuK, corrente de 15 ma e voltagem de 40 KV. A análise química total dos elementos maiores (óxidos) foi realizada através da fluorescência de raios-X, neste mesmo equipamento, no LGqa (DEGEO/UFOP) .

As concentrações dos elementos maiores e traços foram determinadas via Espectrometria de Emissão Atômica com fonte Plasma Indutivamente Acoplado (ICP-OES) (APHA 1992), no Laboratório de Geoquímica Ambiental (LGqa) do Departamento de Geologia da Universidade Federal de Ouro Preto (DEGEO/UFOP).

Para a análise das amostras de solos foi utilizado o método de digestão total (Moutte, 1990). Num recipiente de savilex de 30 ml, foram adicionados 0,250 g de solo pulverizado junto com 1ml de HNO₃ (10 mol/L). Logo após, o savilex aberto foi aquecido a 110°C, em uma chapa, até secagem incipiente. Posteriormente, foram adicionados 3 ml de HF concentrado e o savilex foi aquecido novamente até a secagem. Foram acrescentados mais 3 ml de HF concentrado e os savilex foram fechados, e aquecidos a 140°C, por 16 horas. Após este aquecimento, os recipientes foram resfriados e novamente aquecidos à temperatura de 140 °C até a secagem. Após o resfriamento foram adicionados 3ml de HNO₃ (10mol/L), com posterior aquecimento a 110°C até a secagem. Foram acrescentados 3ml de HCL (10mol/L), com aquecimento a 110°C até a secagem. Finalmente, 25 ml de HCL (2 mol/L) foram adicionados, e os recipientes fechados para aquecimento a 110°C por duas horas, com o objetivo de redissolver os sais. Após o resfriamento, o material foi pesado (savilex + amostra) e a solução resultante analisada.

4.3.2.3 - Matéria orgânica

Também no Departamento de Geologia (DEGEO) foi determinada a concentração de matéria orgânica no solo por perda ao fogo (ou Método de Calcinação). Cerca de 1 g de cada amostra previamente seca foi levada a mufla e aquecida a 750 °C. Feito isso, a amostra foi pesada e a diferença entre os pesos inicial e final correspondeu ao teor de matéria orgânica (Davies 1974).

4.4 - TRATAMENTO DOS DADOS

4.4.1 - Tratamento dos dados geoquímicos

Para uma melhor visualização e entendimento da relação entre os elementos maiores e menores das amostras de solos e águas, foi realizada uma análise hierárquica de agrupamento (cluster), utilizando o software Minitab.

4.5 - INTEGRAÇÃO E INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS

A partir do conhecimento do potencial hídrico dos diferentes trechos, foi realizada uma análise comparativa entre os mesmos visando o estabelecimento da influência dos fatores analisados. Entre as regiões, foi realizado o cruzamento das informações hidrológicas e geoquímicas com suas propriedades geológicas, geomorfológicas e estruturais.

CAPÍTULO 5

ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS DADOS GEOMORFOLÓGICOS E DE SOLOS

Neste capítulo são apresentados os dados geomorfológicos da região, assim como os dados geoquímicos, mineralógicos e texturais dos solos nos diferentes pontos amostrados.

5.1 - DADOS GEOMORFOLÓGICOS

No intuito de conhecer e explicar os processos cársticos sobre as rochas quartzíticas do Parque Estadual do Itacolomi, investigou-se a localização de dolinas e a relação destas com a geologia, topografia e declividade da área. Também foi analisada a densidade e as direções preferenciais dos lineamentos e realizada uma análise da rede de drenagem da área.

A análise da rede de drenagem do Parque Estadual do Itacolomi possibilitou definir 19 unidades homólogas (Figura 5.1) e relacioná-las a presença de cavidades, fraturas e a altimetria e declividade do terreno. Estas unidades foram divididas de acordo com o padrão de drenagem, angularidade, tropia, assimetria, sinuosidade e grau de continuidade (Tabela 5.1).

Ocorre na região o clima tropical de altitude, marcado por uma alta pluviosidade, com uma média anual de 1100-1500 mm (Oliveira 1999). Este fato colabora para que a densidade de drenagem (Dd) na região, em geral, seja elevada. Contudo, estas foram reclassificadas como densidades baixas, médias e altas, para possibilitar a comparação entre as unidades estabelecidas neste estudo.

A densidade de drenagem é baixa nas unidades VII, VIII, XII, XIII, que apresentam porções que, embora ocorram rochas quartzíticas do Grupo Itacolomi (consideradas mais impermeáveis), apresentam elevada densidade de fraturas, que favorece uma maior infiltração. Além disso, estas unidades estão inseridas em áreas de baixa declividade, que resulta em menor escoamento superficial. Já as unidades VI e IX, também presentes no Grupo Itacolomi, apresentam média densidade de drenagem. No caso da unidade VI, apesar de ser recortada por lineamentos, a declividade é relativamente maior. Ao contrário, na unidade IX, fraturas são menos frequentes e as declividades são baixas. No mais, a relação densidade de drenagem e declividade do terreno é reforçada nas demais unidades com diferentes litologias, onde aquelas que apresentam baixa declividade possuem uma baixa densidade de drenagem e vice-versa.

Com relação à densidade de drenagem, dentre as sub-bacias estudadas, a do rio Manso é que apresenta a menor densidade de drenagem, de acordo com Christofolletti (1980) esta propriedade

indica a eficiência da drenagem natural da bacia, tendendo a ocorrer um predomínio da infiltração sobre o escoamento superficial. As sub-bacias dos rios Calais e Benedito apresentam média densidade de drenagem. Vale a pena ressaltar que a sub-bacia do rio Calais apresentam feições, como sumidouros, que também exercem influência nas características da rede de drenagem, pois ocasiona grande rapidez da infiltração das águas por meio de seus condutos. Também é possível notar que as drenagens das sub-bacias do Manso, Benedito e Calais apresentam assimetrias que possivelmente está relacionado às diferenças de declividade do terreno.

O padrão de drenagem dominante é em treliça, o que pode ser atribuído a litologia, formada pela intercalação de rochas mais resistentes e brandas, favorecendo a formação de cristas paralelas.

A partir da figura 5.2, observa-se que a sub-bacia do rio Manso possui altitudes, com cotas entre 1140 a 1500. Já pelo mapa de declividade (Figura 5.3 e 5.4) observa-se que esta sub-bacia é um grande anfiteatro, com vertentes íngremes a leste, de onde vem a maioria dos tributários. A metade superior da encosta possui declividades superiores a 45°, onde começam a aflorar os quartzitos. As regiões do Calais e Benedito apresentam altitudes semelhantes, entre 780 e 1500 m. Pelas figuras 5.3 e 5.5, observa-se que as nascentes da sub-bacia do rio Benedito estão situadas em regiões bastante planas, e os pontos amostrados se situam em regiões de maiores declives, entre 30,1 e 50°. Já a sub-bacia do rio Calais (Figuras 5.3 e 5.6), as nascentes estão em áreas de maiores declives e os pontos amostrados estão em áreas com menores declividades.

Como descrito no capítulo 2, Silva (1989) distinguiu quatro domínios cársticos que se desenvolvem nos quartzitos superiores e inferiores do Grupo Itacolomi (QPI): domínio I localizado a noroeste do Pico do Itacolomi; domínio II localizado a nordeste; domínio III situado a sudeste e domínio IV à sudoeste. A figura 5.7 apresenta a localização de cada sub-bacia no contexto destes domínios. Na sub-bacia do rio Calais encontra-se inserido o domínio I que segundo Silva (1989) apresenta pontões em rochas quartzíticas que são denominados “espigões” e caracteriza-se por não possuir um carste bem desenvolvido, além disso, apresenta um aquífero fraturado com alta porosidade secundária e com regime confinado (Glöeckner 1981). Na sub-bacia do rio Benedito encontra-se inserida parte do domínio III, caracterizada por poljés, com regiões rebaixadas formadas pela confluência das águas, e a montante localiza-se o aquífero descrito por Glöeckner (1981), com regime livre e circulação de água controlada, principalmente, por fraturamentos de direção NE que apresentam grandes larguras e profundidades. A sub-bacia do rio Manso apresenta canais que também podem receber contribuições deste aquífero.

Nas Figuras 5.2, 5.3 e 5.8 observa-se que as dolinas estão localizadas nos quartzitos, em regiões de baixas declividades, elevada densidade de lineamentos, elevadas altitudes e imediatamente à montante dos níveis de base. Pode inferir, portanto, que as dolinas estão relacionadas principalmente

com a densidade de lineamentos e a declividade. Estudos citados no capítulo 3 (Jennings 1983; Wray 1995; Cruz & Filho 2006) também estabeleceram uma correlação entre dolinamentos e as baixas declividades, elevadas altitudes e densidades de lineamentos. Observa-se na figura 5.4 que as dolinas estão presentes apenas no grupo Itacolomi, nas unidades VII, VIII, IX, XII e XIX.

No mapa da figura 5.4 foi realizado a delimitação de domínios dos lineamentos de acordo com a concentração de dolinas, e nas figuras 5.5 a 5.10, foi elaborado os diagramas de rosetas com as direções destes lineamentos. Através destas figuras é possível observar que os lineamentos com direção NW predominam em toda área, não sendo possível, portanto, associar as dolinas a alguma direção de lineamento. Esperava-se encontrar tais dolinas associadas a lineamentos de direção NE, que segundo Ferreira & Lazarin (1993) apresentam grandes larguras e profundidades, portanto maior transmissividade.

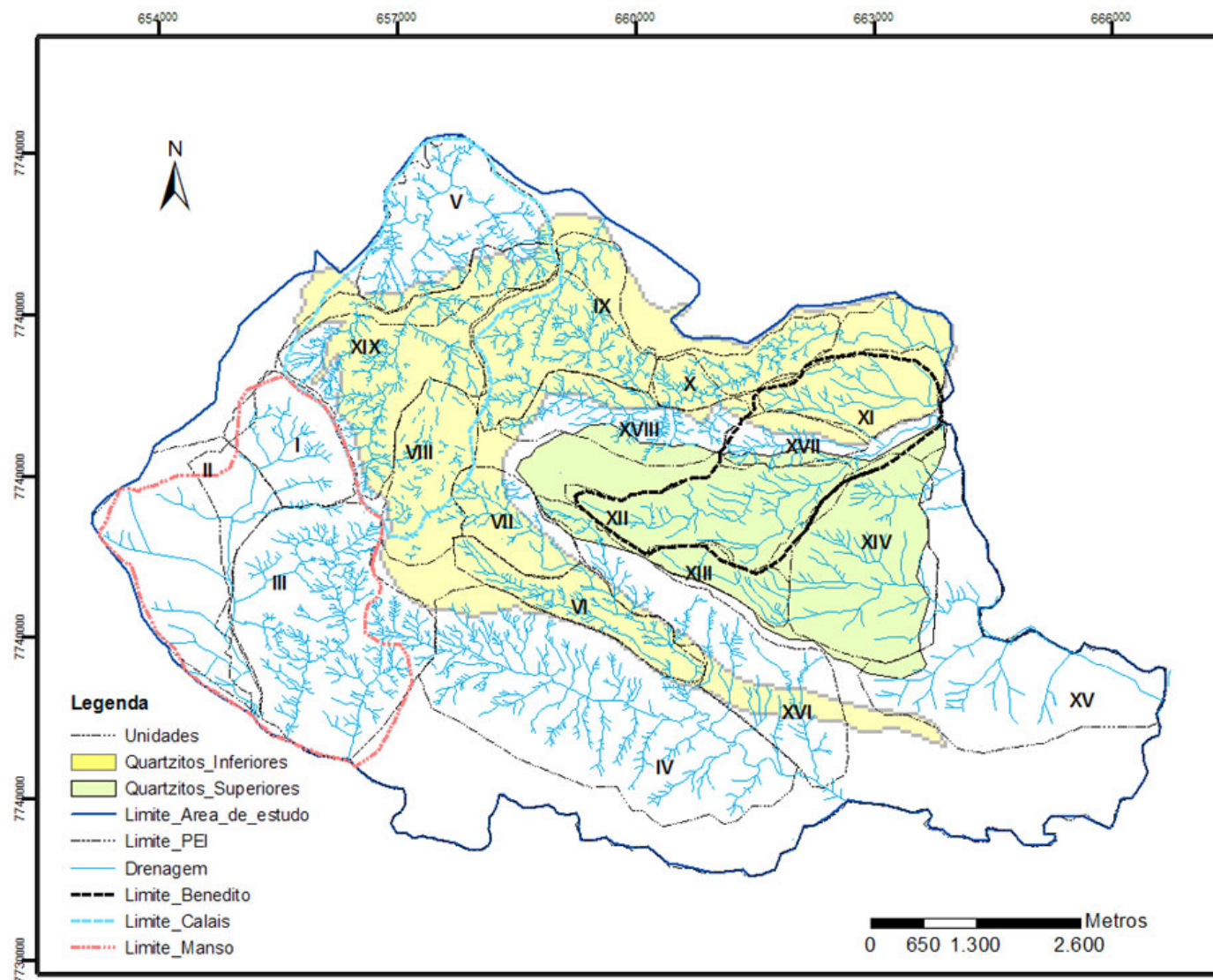


Figura 5.1 - Representação das unidades homólogas do sistema de drenagem.

Tabela 5.1 - Propriedades analisadas na rede de drenagem.

UNID.	LITOLOGIA	SINUOSIDADE	ANGULARIDADE	TROPIA	ASSIMETRIA	PADRÃO DE DRENAGEM	DENSIDADE	GRAU DE CONTINUIDADE
I	Quartzito, filito, metagrauvaca e xisto clorítico.	Retilíneos	Média	Bidirecional	Forte	Retangular	Média	Alto
II	Filito preteado, filito dolomítico, quartzito, quartzito ferruginoso, filito ferruginoso, dolomito e canga.	Retilíneos	Média	Bidirecional	Forte	Retangular	Baixa	Alto
III	Canga, membro alumino-ferruginoso, filito preteado, filito dolomítico, quartzito, quartzito ferruginoso, filito ferruginoso, conglomerado e dolomito.	Retilíneos	Média	Bidirecional	Fraca	Treliça	Baixa	Baixo
IV	Quartzito, filito, metagrauvaca e xisto clorítico.	Mistos	Média	Bidirecional	Fraca	Treliça	Alta	Alto
V	Filito dolomítico, filito, silito e dolomito impuro; lentes de mármore impuro, quartzito, filito e xisto clorítico.	Retilíneos	Média	Tridirecional	Fraca	Treliça	Alta	Baixo
VI	Quartzito, quartzito ferruginoso e filito.	Retilíneos	Média	Bidirecional	Fraca	Treliça	Média	Alto
VII	Quartzito, quartzito ferruginoso e filito.	Retilíneos	Média	Bidirecional	Forte	Treliça	Baixa	Alto
VIII	Quartzito, quartzito ferruginoso e filito.	Retilíneos	Média	Tridirecional	Fraca	Treliça	Baixa	Alto
IX	Quartzito, quartzito ferruginoso e filito.	Mistos	Média	Bidirecional	Forte	Treliça	Média	Médio
X	Quartzito, quartzito ferruginoso e filito.	Retilíneos	Alta	Bidirecional	Forte	Treliça	Média	Médio
XI	Quartzito, quartzito ferruginoso e filito.	Retilíneos	Alta	Bidirecional	Forte	Treliça	Baixa	Alto
XII	Quartzito, quartzito ferruginoso e filito.	Retilíneos	Alta	Tridirecional	Fraca	Treliça	Alta	Médio
XIII	Quartzito, quartzito ferruginoso e filito.	Retilíneos	Alta	Bidirecional	Forte	Treliça	Baixa	Alto
XIV	Quartzito, quartzito ferruginoso e filito.	Retilíneos	Alta	Multidirecional Ordenada	Fraca	Treliça	Alta	Médio
XV	Xisto metassedimentar e metavulcânico e filito.	Retilíneos	Média	Bidirecional	Fraca	Treliça	Média	Alto
XVI	Quartzito, filito, metagrauvaca e xisto clorítico.	Retilíneos	Alta	Bidirecional	Fraca	Treliça	Alta	Baixo
XVII	Quartzito, filito, metagrauvaca e xisto clorítico.	Retilíneos	Média	Tridirecional	Fraca	Treliça	Alta	Alto
XVIII	Quartzito, filito, metagrauvaca e xisto clorítico.	Retilíneos	Média	Bidirecional	Fraca	Treliça	Alta	Baixo
XIX	Quartzito, quartzito ferruginoso filito.	Retilíneos	Média	Bidirecional	Forte	Treliça	Média	Alto

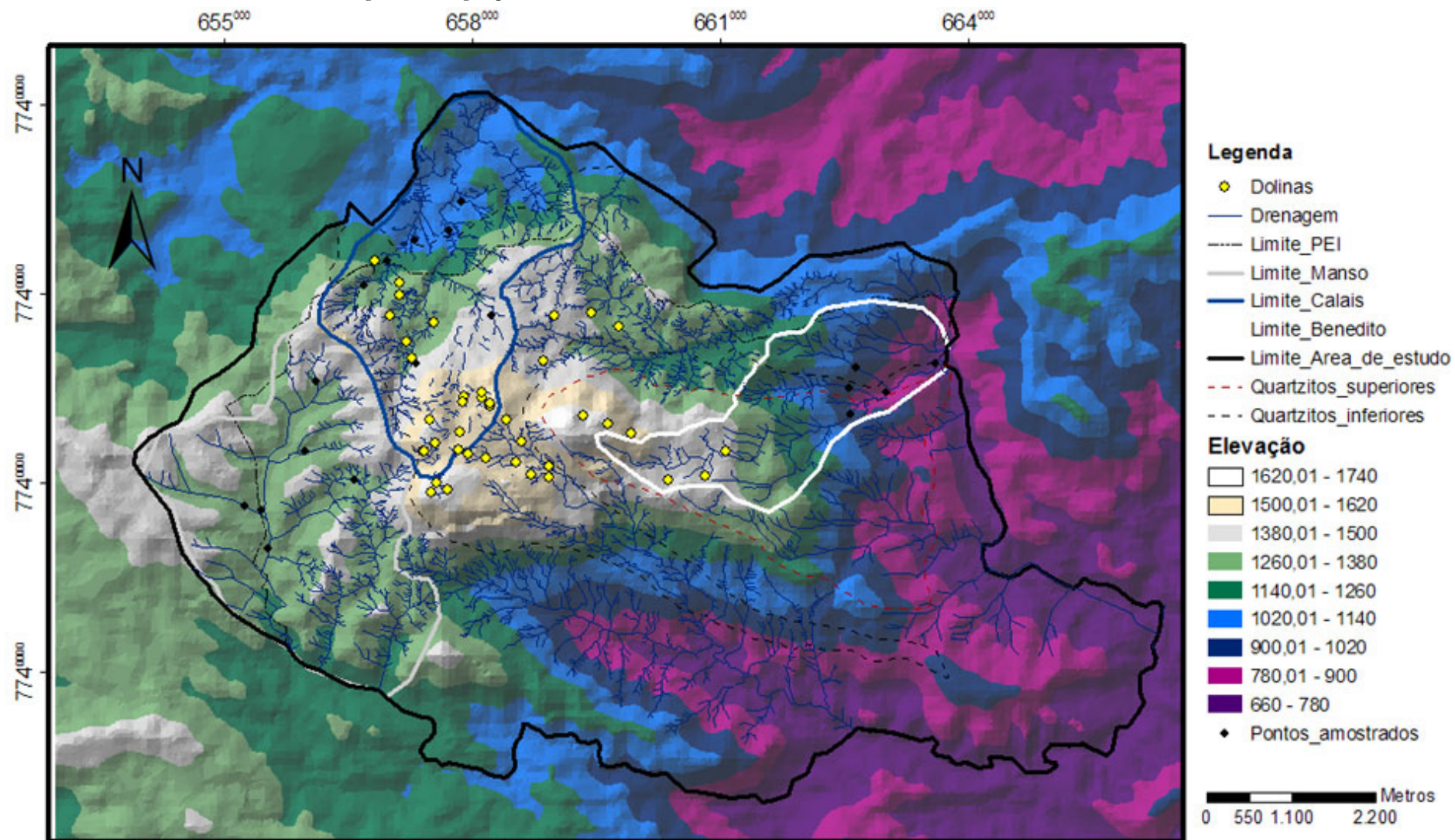


Figura 5.2 - Mapa hipsométrico da área de estudo com a localização de dolinas e pontos amostrados.

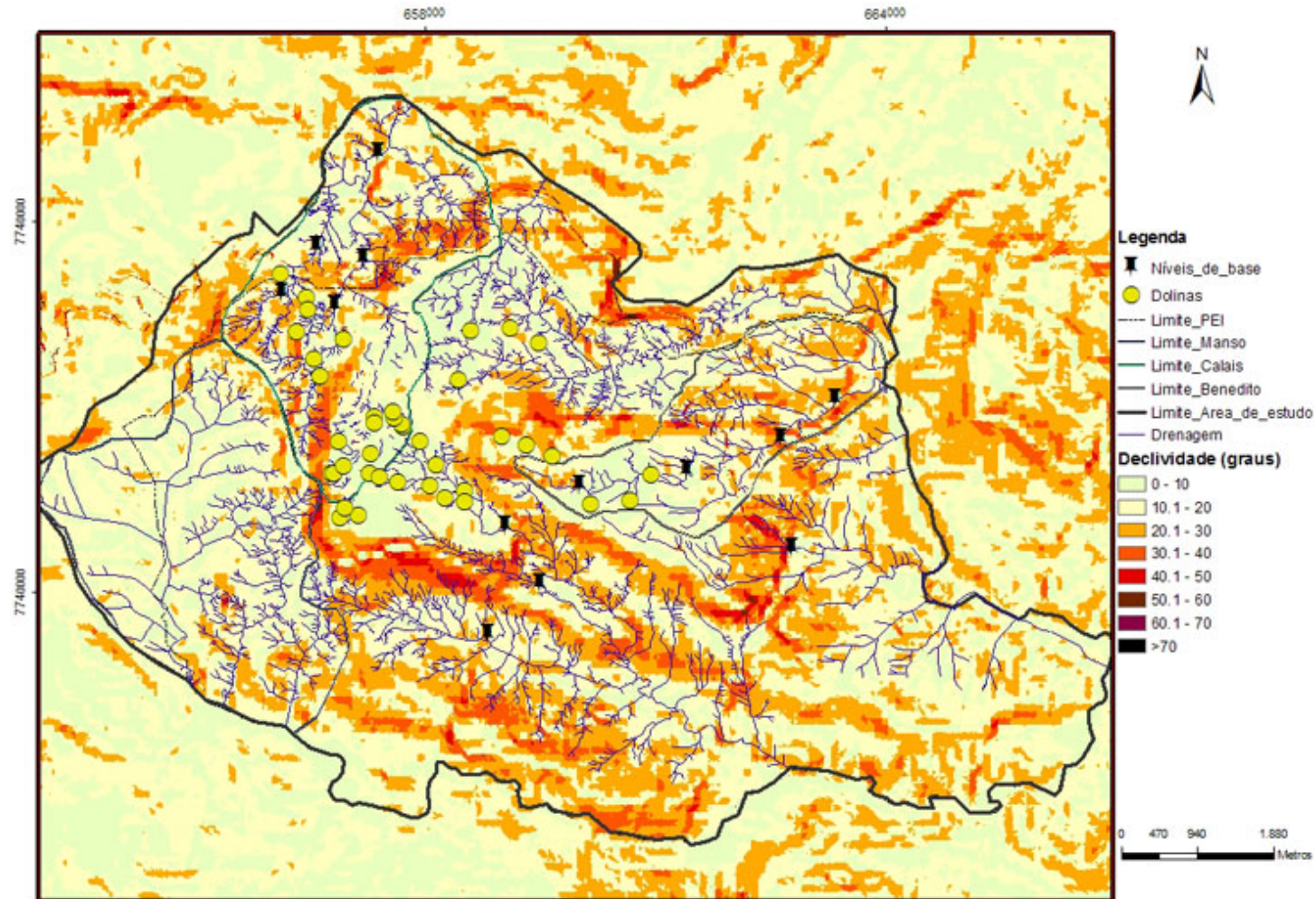


Figura 5.3 - Mapa de declividade da área de estudo com a localização de dolinas e dos níveis de base locais.

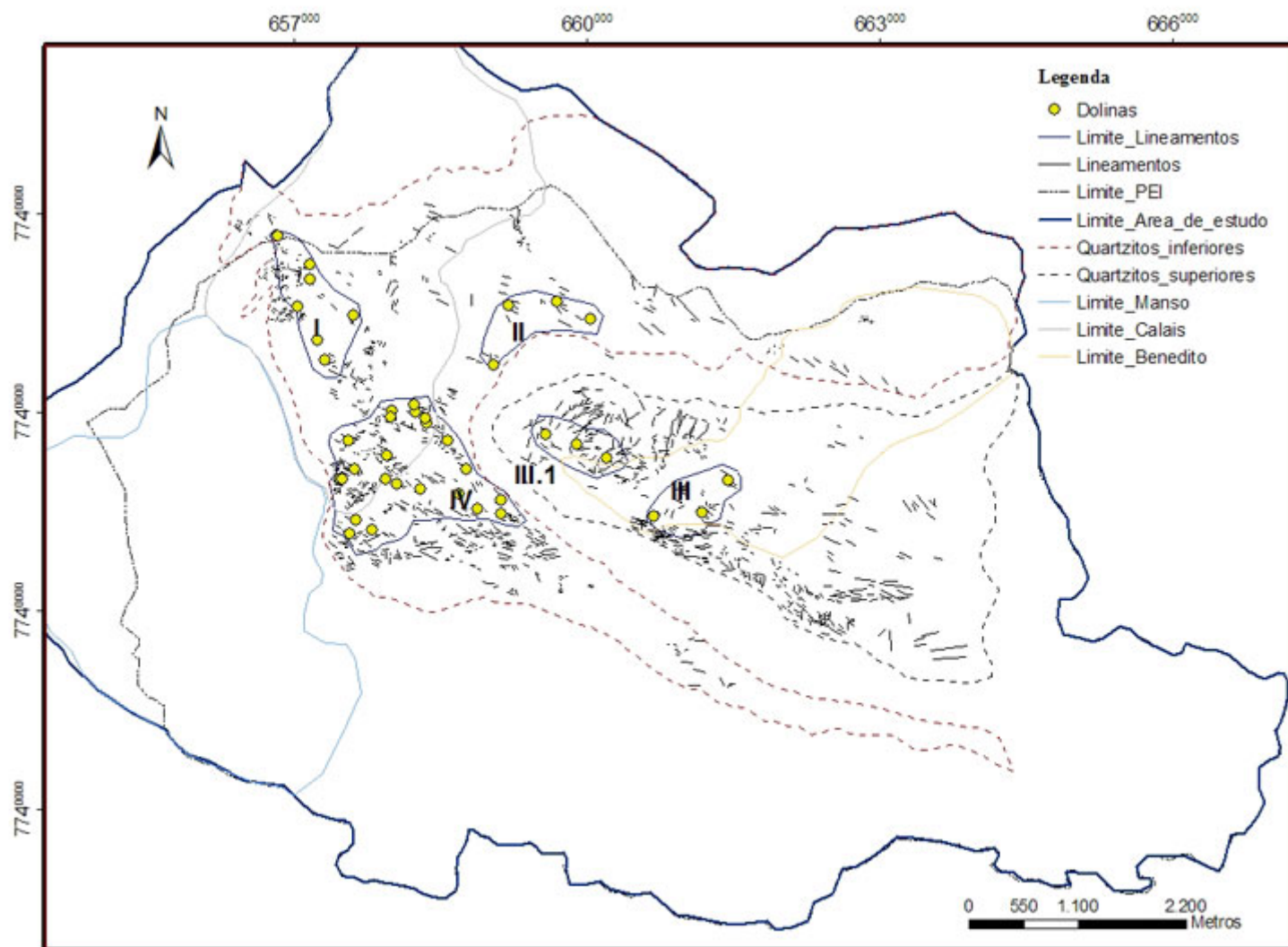


Figura 5.4 - Mapa de lineamentos, destacando a delimitação de domínios, com concentração de dolinas.

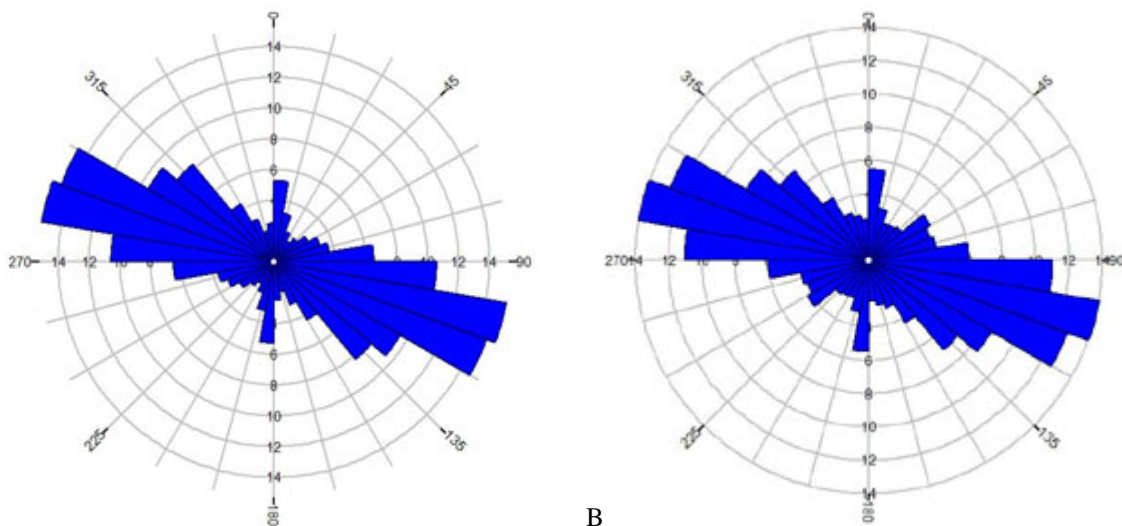


Figura 5.5 - Rosetas representando a frequência (a) comprimento acumulado (b) dos lineamentos de toda a área na figura 5.4.

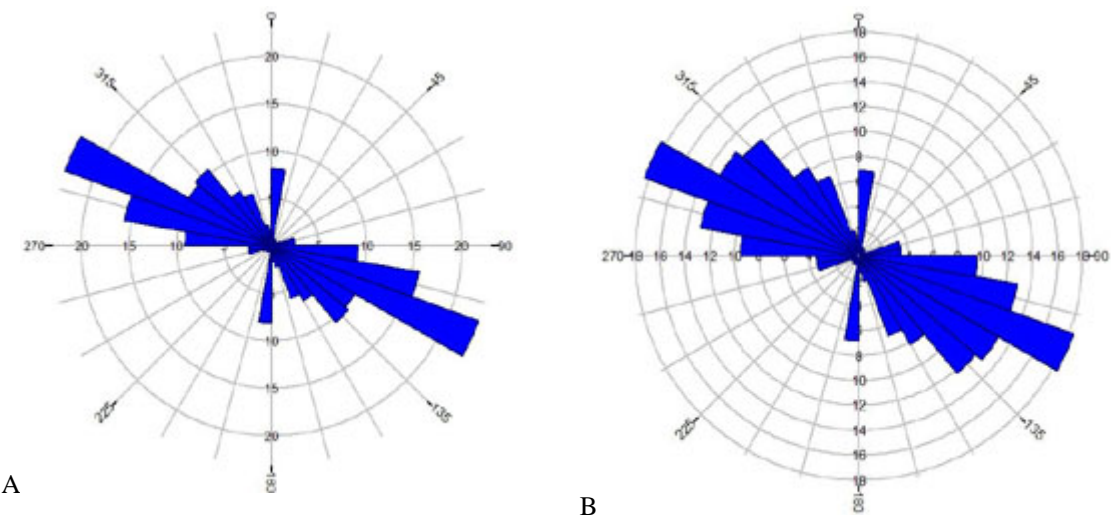


Figura 5.6 - Rosetas representando a frequência (a) e o comprimento acumulado (b) dos lineamentos do domínio I na figura 5.4.

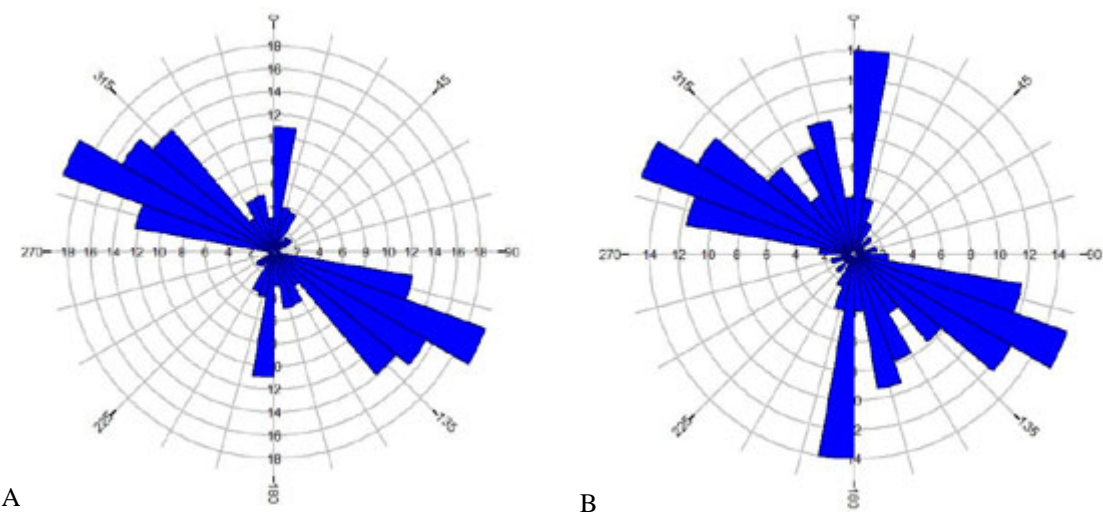


Figura 5.7 - Rosetas representando a frequência (a) e o comprimento acumulado (b) dos lineamentos do domínio II na figura 5.4.

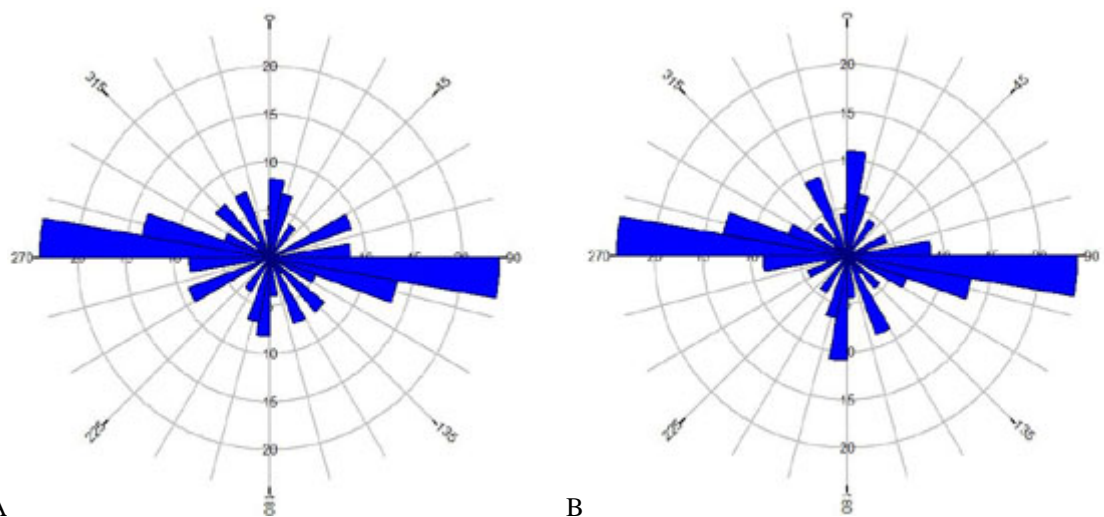


Figura 5.8 - Rosetas representando a frequência (a) e o comprimento acumulado (b) dos lineamentos do domínio III na figura 5.4.

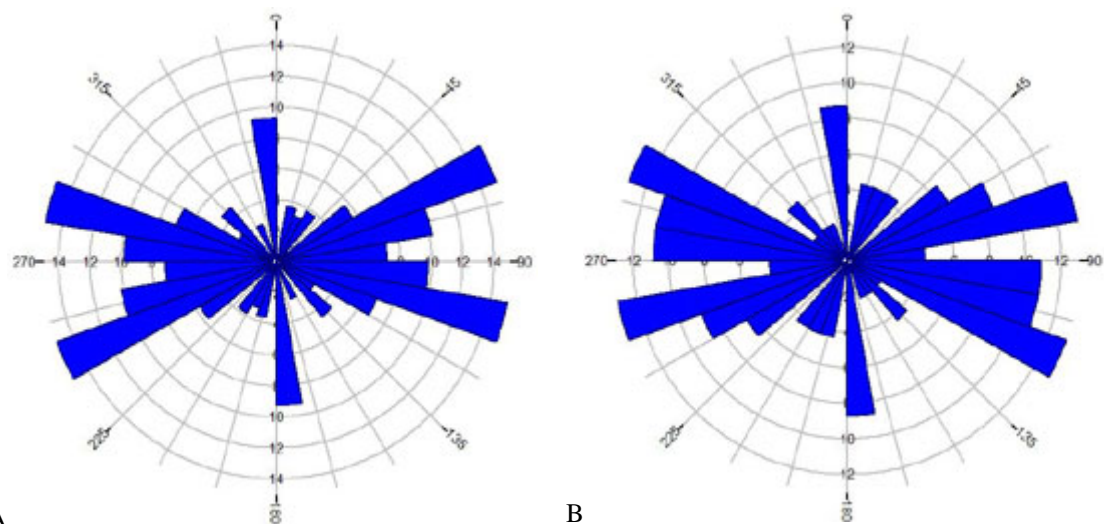


Figura 5.9 - Rosetas representando a frequência (a) e o comprimento acumulado (b) dos lineamentos do domínio III.1 na figura 5.4.

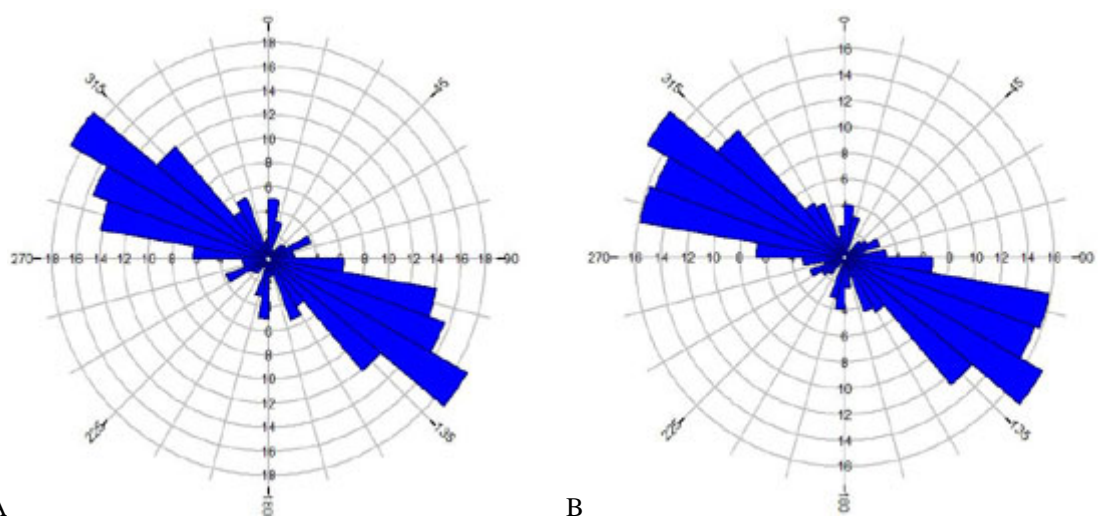


Figura 5.10 - Rosetas representando a frequência (a) e o comprimento acumulado (b) dos lineamentos do domínio IV na figura 5.4.

5.2 - CARACTERIZAÇÃO DOS PONTOS DE AMOSTRAGEM DE SOLOS

O mapa da Figura 5.11 apresenta os pontos de amostragem dos solos selecionados de acordo com as litologias representativas de cada unidade geomorfológica descritas por IEF (2006).

Alguns valores de referência de qualidade (VRQ) para solos foram determinados pela Cetesb (2005) com base na interpretação estatística de análises físico-químicas. Tais valores representam a concentração de determinada substância no solo que o define como limpo. De acordo com Cetesb (2005), os valores de referência para As, Ba, Cd, Co, Cr, Ni, Pb e Zn são de 3,5 mg/kg, 75 mg/kg, 0,5 mg/kg, 13 mg/kg, 40 mg/kg, 13 mg/kg, 17mg/kg e de 60 mg/kg, respectivamente. É interessante destacar que a Cetesb (2005) não registra os valores de referência para todos os elementos analisados. Baseado nestes valores pode-se observar que a maior parte dos solos apresenta valores superiores à norma (Anexo III), e como a área de estudo é uma unidade de conservação, com menor possibilidade de interferência antrópica, pode-se dizer que a concentração elevada de tais elementos é uma resposta química natural das características geológicas de cada área.

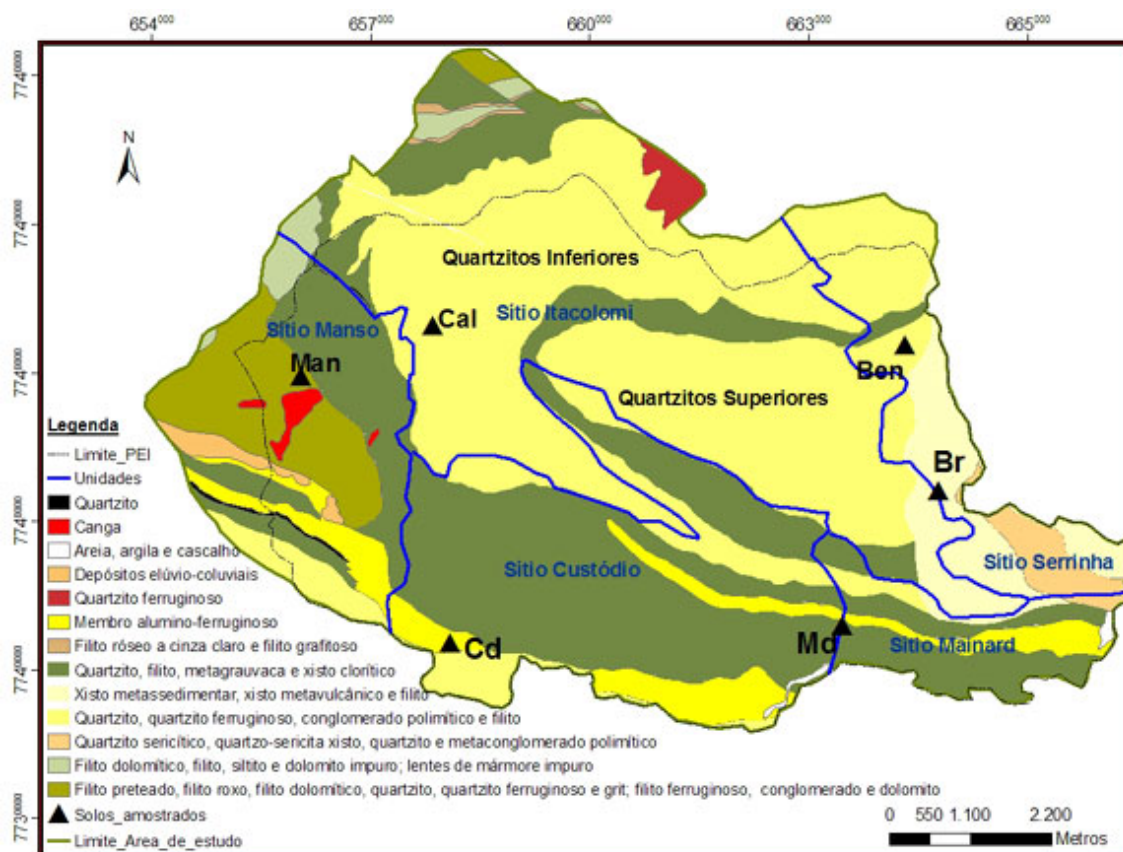


Figura 5.11 - Localização dos solos amostrados.

5.2.1 - Manso

A composição mineralógica destes solos, determinada por difração de raios-X, indicaram a presença dos seguintes minerais: quartzo, muscovita, goethita, caulinita e gibsita. As análises por

fluorescência de raios-X indicaram os óxidos Fe_2O_3 , Al_2O_3 , e SiO_2 como principais constituintes das amostras. As análises químicas via ICP-OES apresentaram elevados valores de Fe e Al. Já as concentrações de Al aumentaram com a profundidade. Dos elementos analisados, os solos amostrados no Manso apresentaram as maiores concentrações de Al, As, Cd, Co, Cr, Fe, Mg, Pb e Zn.

Em relação à análise granulométrica, assim como no trabalho de Fujaco (2007), foram encontrados solos siltosos mais desenvolvidos, profundos e mal selecionados. As maiores proporções de matéria orgânica foram encontradas neste solo, com concentrações entre 11,5 e 16%. Também como descrito em Fujaco (2007), foram encontradas elevadas concentrações dos elementos Fe, Mn, As e Al. De acordo com a norma Cetesb (2005) foi verificada anomalia dos elementos As, Cd, Ba, Cr, Co, Pb, Ni e Zn.

5.2.2 - Benedito

As análises por fluorescência de raios-X indicaram como principal constituinte das amostras o óxido SiO_2 , com concentrações entre 62,8 e 71,8 %. As análises químicas via ICP-OES mostraram a predominância dos elementos Fe, K e Al. Quartzo, muscovita, goethita, caulinita e gibsita foram os minerais encontrados nestes solos. Os solos da sub-bacia do rio Benedito apresentam certo equilíbrio entre as concentrações de pedregulho, silte, argila e areia fina, média e grossa, e apresentam teores de matéria orgânica entre 7,6 e 18,4%. Foram encontradas anomalias dos elementos Ba, Cr, Co, Cd, Ni e de Zn na profundidade de 10 cm.

5.2.3 - Calais

De acordo com os dados obtidos por fluorescência de raios-X, a sub-bacia do rio Calais é constituída basicamente por quartzo (SiO_2), perfazendo um total de 86,11%. As análises químicas via ICP-OES também mostraram a predominância dos elementos Fe, K e Al. Quartzo, muscovita, caulinita e goethita foram os minerais encontrados. As menores concentrações dos elementos Na, Cr e Ni foram encontradas nessa região. O elemento Cd apresentou valores abaixo do limite de quantificação. Assim como nas análises realizadas por Fujaco (2007), as frações de areias finas e médias predominaram nestes solos. Além disso, são solos bem selecionados e com baixas concentrações de matéria orgânica. Foram encontradas anomalias dos elementos Ba e Co em todas as profundidades e de Zn na profundidade de 60 cm.

5.2.4 - Mainard

Através dos dados obtidos com a fluorescência de raios-X, observou-se que a região do córrego Mainard também é constituída basicamente por quartzo (SiO_2), com concentrações entre 60 e 80%. As análises químicas via ICP-OES também mostraram a predominância dos elementos Fe, K e Al, com concentrações menores nas camadas mais profundas. A composição mineralógica dos solos

desta região é formada por quartzo, muscovita, goethita, caulinita e gibsita. As maiores concentrações do elemento Ca foram verificadas nestes solos. As classes texturais de areia fina e silte representam as maiores frações, conferindo a estes solos uma menor permeabilidade. As concentrações de matéria orgânica ficaram entre 3,5 a 10%. Anomalias foram encontradas dos elementos Ba, Co, Ni, Cr, Cd e Zn.

5.2.5 - Belchior

As análises por fluorescência de raios-X indicaram os óxidos Fe_2O_3 , Al_2O_3 , e SiO_2 como principais constituintes das amostras coletadas. As análises químicas via ICP-OES mostraram a predominância dos elementos Fe, K e Al, com concentrações maiores nas camadas mais profundas. As concentrações mais elevadas de K foram verificadas nestes solos. Altas concentrações de Al, Ba, Fe e Na também foram encontradas. Também foram encontrados os minerais quartzo, muscovita, goethita, caulinita e gibsita. As camadas destes solos apresentaram maiores concentrações de silte e areia fina. As concentrações de matéria orgânica ficaram entre 9,2 a 12%. Apresentou valores anômalos de Ba, Co, Cd e Cr em todas as profundidades e de Pb e Zn nas profundidades de 20 e 30 cm.

5.2.6 - Custódio

Assim como no Manso, estes solos também apresentaram valores altos de Al, Fe e K. Foram encontradas as maiores concentrações de Mg. Além dos minerais encontrados nos outros solos, como o quartzo, muscovita, goethita, caulinita e gibsita, também verificou-se a presença de talco. As análises por fluorescência de raios-X indicaram como principais constituintes das amostras os óxidos Fe_2O_3 , Al_2O_3 , e SiO_2 . As concentrações de Fe_2O_3 e Al_2O_3 diminuíram sutilmente com a profundidade, e as concentrações de SiO_2 aumentaram significativamente com a profundidade. As análises por ICP-OES apresentaram maiores concentrações de K, Fe e Al, que decresceram sutilmente com a profundidade. As camadas destes solos apresentaram maiores concentrações de silte e areia fina. As concentrações de matéria orgânica ficaram entre 10,6 a 14,5%. Valores anômalos de Ba, Co, Ni, Cr e Cd em todas as profundidades e de Pb e Zn nas profundidades de 20, 40 e 50 cm.

5.2.7 - Análise das assinaturas geoquímicas e as litologia

No dendrograma da figura 5.12, observa-se que as amostras foram agrupadas de acordo com a litologia, sendo as amostras localizadas nos quartzitos superiores (Ben), nos quartzitos inferiores (Cal) e no grupo Sabará (Md) agrupadas em um mesmo grupo, o que indica a semelhança da composição destes solos. Algumas amostras se encontram agrupadas em grupos com litologias diferentes, como é o caso da amostra Man-60 agrupada com as amostras do Belchior, e da Man-50 com as amostras do Custódio. A amostra Br-30 se encontra isolada em um grupo por apresentar alguns elementos em maiores concentrações, como Al, Ba, Ca, Mn, Mg e Fe.

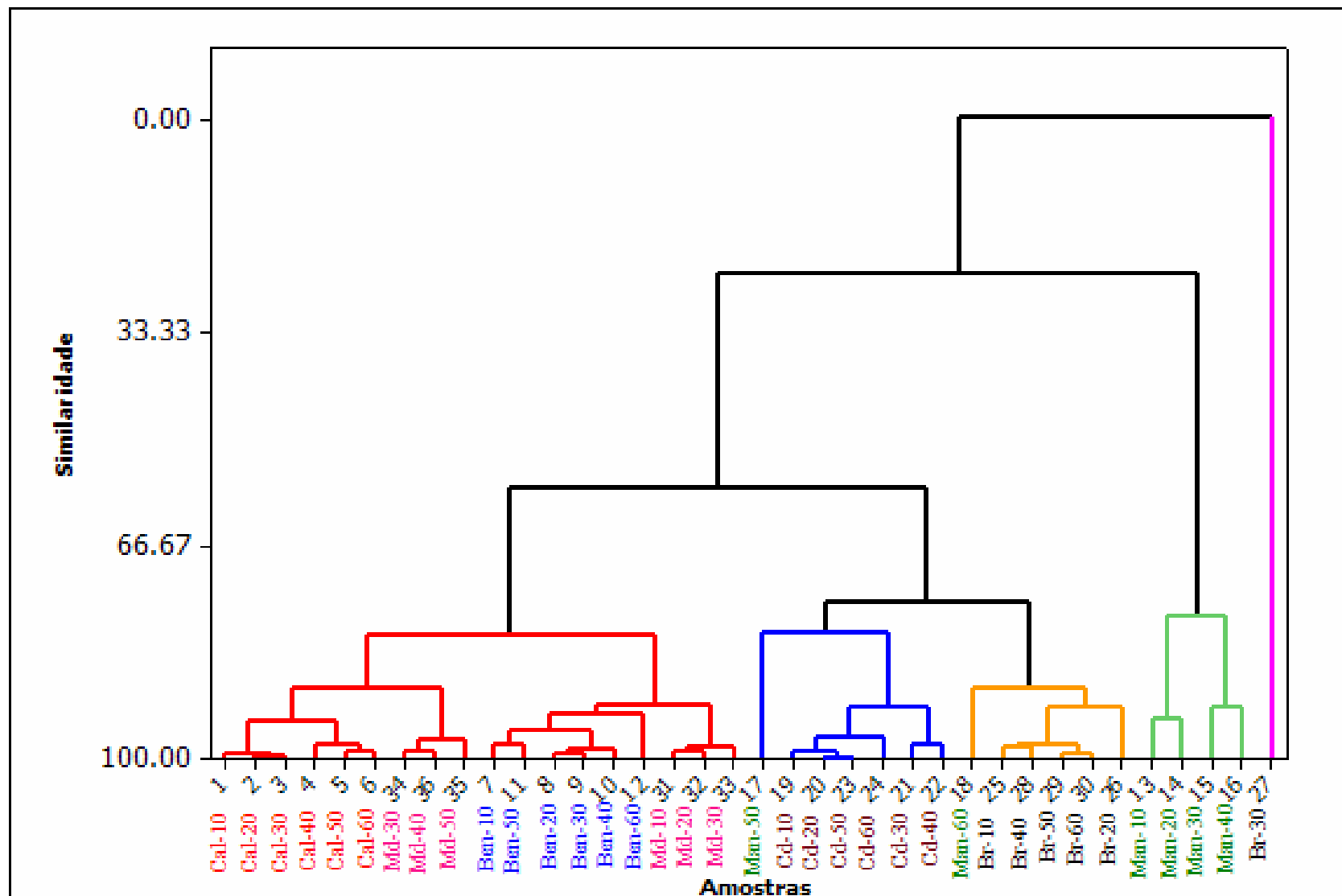


Figura 5.12 - Cluster das amostras de solos.

CAPÍTULO 6

ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS DADOS HIDROLÓGICOS E HIDROGEOQUÍMICOS

Neste capítulo são apresentados os dados do monitoramento fluviométrico e hidroquímico de cada sub-bacia. As peculiaridades de cada sub-bacia são relacionadas com os processos hidrológicos e hidrogeoquímicos, buscando estabelecer possíveis influências dos condicionantes geológicos e geomorfológicos na potencialidade hídrica e nas características físico-químicas das sub-bacias.

O termo “potencial hídrico” utilizado neste estudo diz respeito ao potencial de produção de água da sub-bacia, ou seja, designa-se como sub-bacia de alto potencial hídrico aquela que apresenta altas taxas de fluxo de base, e assim, mantêm-se por longo tempo, até mesmo em períodos de estiagem, uma vazão significativa.

6.1 - CARACTERIZAÇÃO DOS PONTOS DE AMOSTRAGEM DE ÁGUA

Na Figura 6.1 encontram-se dados de pluviometria mensal, do período de janeiro de 2004 a setembro de 2007, da estação pluviométrica Custódio, localizada no limite sul do parque.

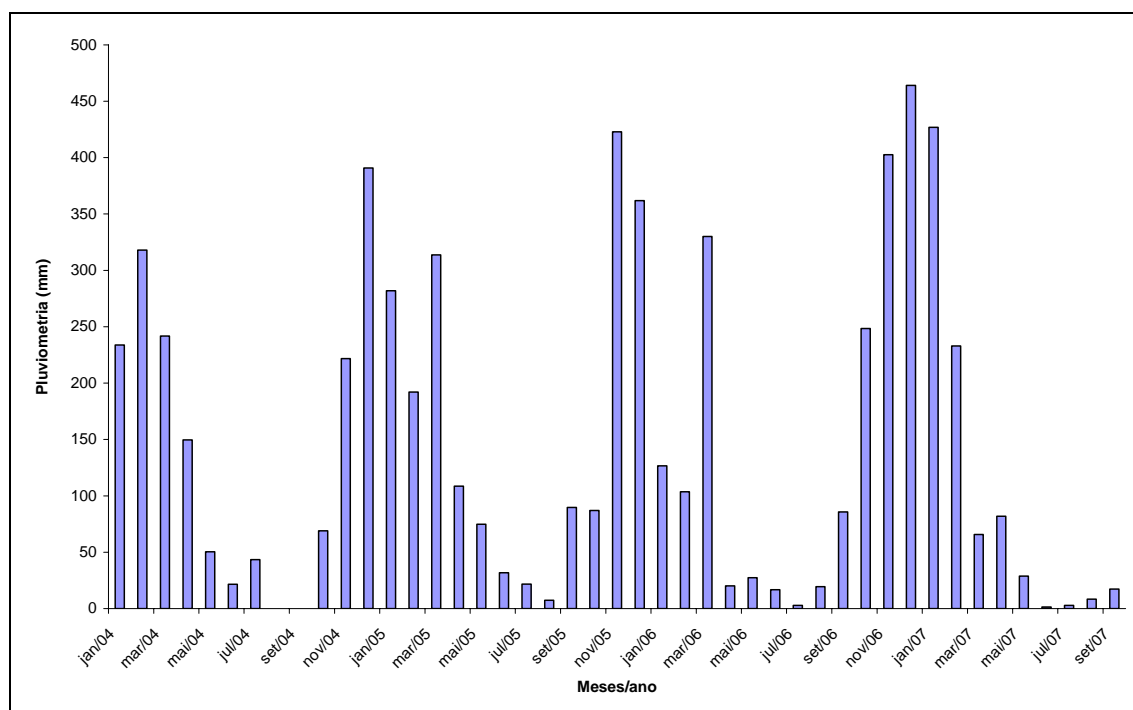


Figura 6.1 - Histograma mostrando a precipitação total mensal da estação pluviométrica Custódio, no período de janeiro de 2004 e de julho a setembro de 2007.

A precipitação média anual na região, considerando uma média histórica de quinze anos, é em torno de 1686mm (IGA 1995). Nos anos de 2006 e 2007, período de monitoramento, as precipitações

ficaram um pouco acima da média, em torno de 1847 mm. Nota-se, portanto, que foram anos atípicos. As precipitações variaram de 2,8 mm a 464 mm no primeiro ano monitorado (julho a dezembro de 2006) e de 1,4 mm a 426,8 mm no segundo ano de monitoramento (janeiro a junho de 2007).

Na Tabela 6.1 são apresentados os valores diários de precipitação durante o tempo de monitoramento, de julho de 2006 a junho de 2007. As cores laranja, amarelo e cinza representam os dias que foram realizados as medidas de vazões nas sub-bacias dos rios Manso, Benedito e Calais, respectivamente.

Tabela 6.1 - Pluviometria diária dos meses de julho de 2006 a junho de 2007.

Dias	Jul/ 2006 Precip. (mm)	Ago/ 2006 Precip. (mm)	Set/ 2006 Precip. (mm)	Out/ 2006 Precip. (mm)	Nov/ 2006 Precip. (mm)	Dez/ 2006 Precip. (mm)	Jan/ 2007 Precip. (mm)	Fev/ 2007 Precip. (mm)	Mar/ 2007 Precip. (mm)	Abr/ 2007 Precip. (mm)	Mai/ 2007 Precip. (mm)	Jun/ 2007 Precip. (mm)
1	0.0	0.0	0.0	0.0	7.4	56.2	16.2	9.4	0.0	0.0	0.0	0.0
2	0.0	5.8	0.0	2.2	26.4	3.0	12.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3	0.0	0.0	6.4	2.2	10.2	0.0	26.8	54.4	0.0	0.0	0.0	0.0
4	0.0	1.2	0.0	0.0	59.8	0.0	13.2	6.8	12.4	0.0	0.0	1.4
5	0.0	0.0	9.8	0.0	0.0	0.0	17.8	18.8	1.4	0.0	0.0	0.0
6	0.0	0.0	1.2	0.0	21.8	10.0	4.8	9.4	2.4	0.0	0.0	0.0
7	0.0	0.0	1.8	0.0	0.0	3.8	5.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
8	0.0	0.0	0.0	5.8	10.8	28.4	0.0	4.8	0.0	0.0	0.0	0.0
9	0.0	0.0	0.0	2.8	0.0	4.2	7.2	0.0	0.0	11.3	0.0	0.0
10	0.0	0.0	0.0	36.8	6.4	24.6	29.4	0.0	0.0	22.4	0.0	0.0
11	0.0	0.0	0.0	1.2	47.0	32.4	19.8	0.0	0.0	7.8	0.0	0.0
12	0.0	0.0	0.0	0.0	34.0	28.4	48.4	31.2	0.0	0.0	0.0	0.0
13	0.0	0.0	0.0	18.4	9.8	13.4	14.8	9.8	0.0	0.0	0.0	0.0
14	0.0	0.0	0.0	6.8	19.4	23.4	5.8	2.4	0.0	0.0	0.0	0.0
15	0.0	0.0	0.0	0.0	50.4	6.8	4.8	22.4	0.0	0.0	0.0	0.0
16	0.0	0.0	0.0	0.0	7.0	17.0	5.8	1.8	0.0	0.0	0.0	0.0
17	0.0	0.0	0.0	0.0	7.0	32.4	22.8	0.0	0.0	17.4	0.0	0.0
18	0.0	0.0	0.0	45.4	0.0	0.0	0.0	0.0	22.4	0.0	0.0	0.0
19	0.0	0.0	13	52.4	10.2	0.0	5	14.8	2.4	0.0	0.0	0.0
20	0.0	0.0	1.2	48.4	13.2	0.0	5.8	5.5	0.0	0.0	0.0	0.0
21	0.0	1.4	12.4	0.0	12.4	0.0	0.0	0.0	24.8	0.0	0.0	0.0
22	0.0	0.0	0.0	2.4	27.2	0.0	30.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
23	0.0	1.8	16.8	4.8	0.0	23.8	21	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
24	0.0	0.0	3.8	18.8	3.0	4.6	9.8	0.0	0.0	10.6	6.4	0.0
25	0.0	0.0	9.8	0.0	0.0	9.4	9.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
26	0.0	0.0	3.2	0.0	0.0	18.8	6.4	4.0	0.0	0.0	0.0	0.0
27	0.0	0.0	5.2	0.0	8.4	21.8	55.4	37.4	0.0	0.0	0.0	0.0
28	0.0	0.0	1.2	0.0	4.2	10.0	15.4	0.0	0.0	12.4	22.4	0.0
29	0.0	3.4	0.0	0.0	2.4	57.8	1.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
30	0.0	5.8	0.0	0.0	4.2	31.4	8.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
31	2.8	0.0	-	0.0	-	2.4	2.4	-	0.0	-	0.0	-

6.1.1 - Manso

O mapa da Figura 6.2 apresenta a geologia e a localização dos pontos amostrados na sub-bacia do rio Manso. Vale a pena ressaltar que o ponto man-5 embora esteja localizado fora do limite da área do parque, não sofre interferências antrópicas.

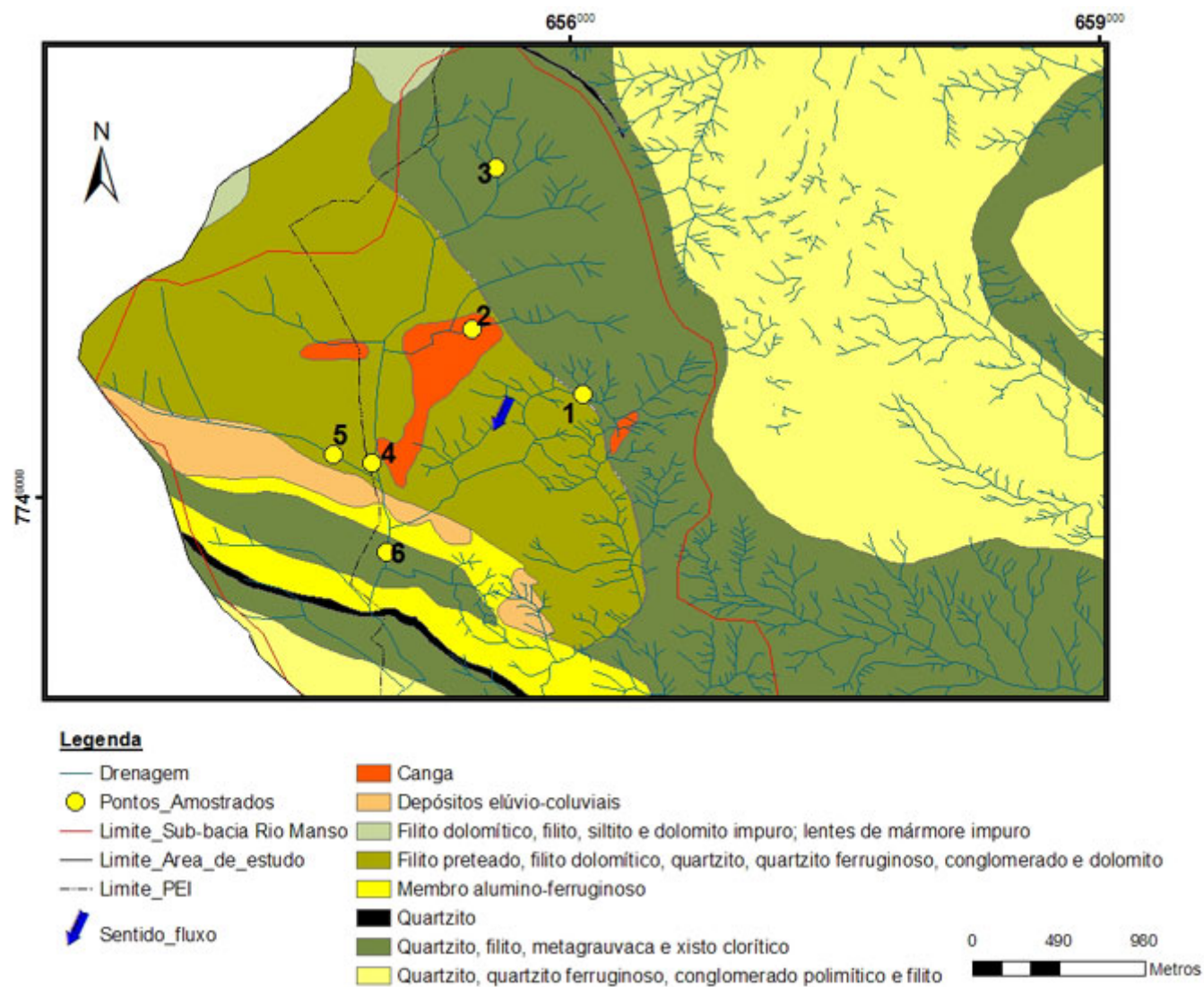


Figura 6.2 - Mapa geológico (baseado em Lobato *et al.* 2004) com a localização dos pontos amostrados na sub-bacia do rio Manso.

A partir dos dados fluviométricos obtidos durante um ano hidrológico em cada ponto, foram calculadas as médias das vazões mínimas mensais (\bar{Q}). Para o cálculo destas vazões foi considerado apenas o período de seca, quando a vazão variou pouco, se aproximando de uma média mensal, quase toda proveniente da água subterrânea, ou seja, do fluxo de base.

Foram consideradas somente as vazões quando não houve precipitação nos seis dias anteriores à amostragem, que compreendeu os meses de maio a setembro (Tabela 6.1). Este critério foi utilizado para todas as sub-bacias estudadas (Manso, Benedito e Calais). Para facilitar a comparação dos dados, também foram calculadas as vazões específicas mínimas mensais (\bar{Q}_{esp}), que ficaram entre $7,0 \times 10^{-10}$ e $1,7 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ nesta sub-bacia do rio Manso (Tabela 6.2).

Tabela 6.2 - Descrição dos pontos amostrados na sub-bacia do rio Manso.

Pontos	Coordenadas UTM		Composição litológica a montante do ponto amostrado	Área a montante (km ²)	\bar{Q} mínima (m ³ /s)	\bar{Q}_{esp} mínima (m ³ /s/km ²)
1	656368	7739630	Quartzito, filito, metagrauvaca e xisto clorítico.	0,33	0,0057	$1,7 \times 10^{-8}$
2	655789	7740014	Canga, Filito preteado, filito dolomítico, quartzito, quartzito ferruginoso, metaconglomerado, dolomito, filito, metagrauvaca e xisto clorítico.	0,24	0,0036	$1,5 \times 10^{-8}$
3	655922	7740772	Quartzito, filito, metagrauvaca e xisto clorítico.	0,33	0,0001	$7,0 \times 10^{-10}$
4	655186	7739157	Canga, Filito preteado, filito dolomítico, quartzito, quartzito ferruginoso, metaconglomerado, dolomito, filito, metagrauvaca e xisto clorítico.	3,26	0,0100	$3,1 \times 10^{-9}$
5	655106	7739162	Canga, filito preteado, filito dolomítico, quartzito, quartzito ferruginoso, metaconglomerado, dolomito	0,80	0,0044	$5,5 \times 10^{-9}$
6	655628	7738862	Canga, membro alumino-ferruginoso, Filito preteado, filito dolomítico, quartzito, quartzito ferruginoso, metaconglomerado, dolomito, filito, metagrauvaca e xisto clorítico.	5,6	0,0210	$3,8 \times 10^{-9}$

Os hidrogramas (Figuras 6.3 e 6.4) representam a variação da vazão ao longo do tempo (dias), durante um ano hidrológico e a variação da vazão específica.

Como apresentado na figura 6.1, durante o período de amostragem, a maior precipitação ocorreu em dezembro/2006 (464 mm), sendo que um dia anterior (dia 01/12) ao das medidas das vazões choveu 56,2 mm (Tabela 6.1). Portanto, o gráfico da Figura 6.3 mostra que a vazão, nos pontos amostrados, teve relação direta com a precipitação, já que todos os pontos tiveram um pico de

vazão neste mês, correspondendo ao evento do dia 01/12 e provavelmente a das chuvas no final de novembro. Também é possível observar através da figura 6.3 que, como esperado, a vazão aumenta de montante para jusante.

Observa-se que o ponto man-3 (situado no grupo Sabará) apresenta comportamento totalmente distinto dos pontos man-1 e man-2 (Figura 6.4), sendo que o primeiro também se situa no grupo Sabará e o segundo flui em grande parte neste grupo. O ponto man-3 apresenta vazões bem inferiores a estes pontos, o que provavelmente se deve a presença de um barramento situado a montante. Já os pontos situados no grupo Piracicaba (man-5 e man-4) e o ponto man-6 que drena em grande parte neste grupo, apresentam valores de vazões específicas bem próximos.

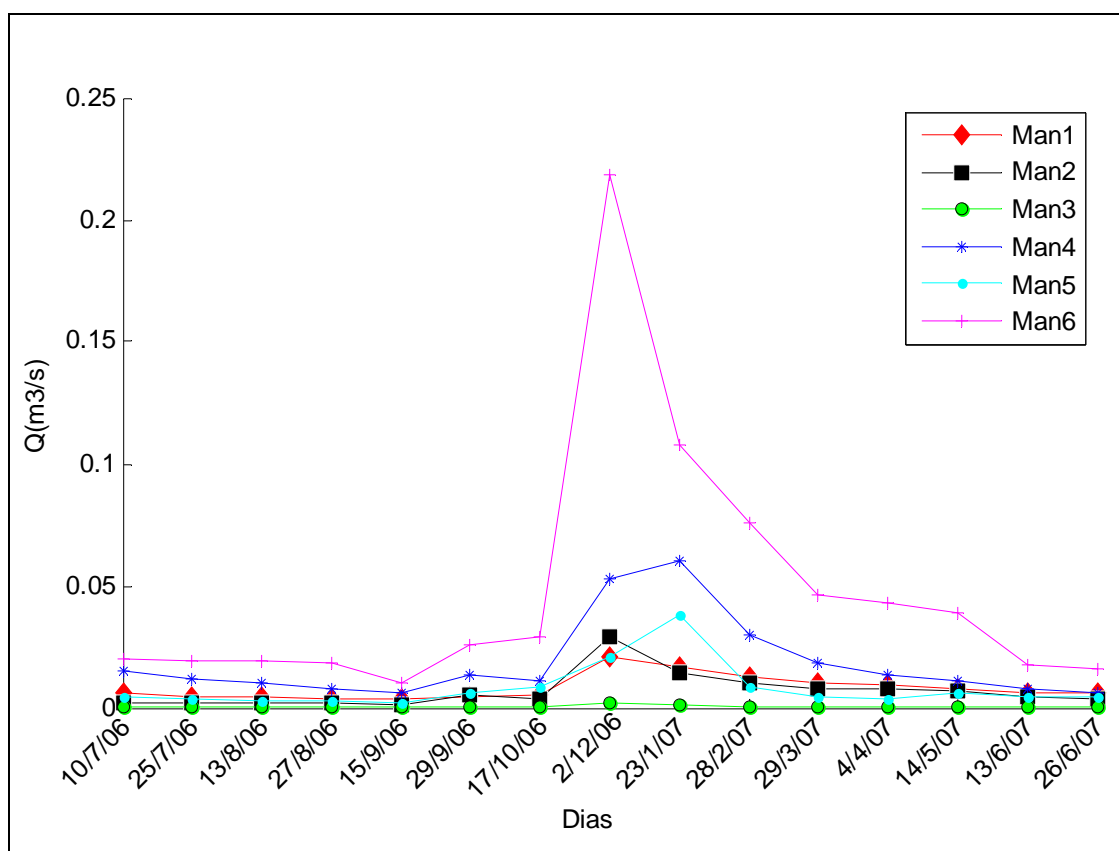


Figura 6.3 - Hidrograma com vazões dos pontos amostrados na sub-bacia do rio Manso.

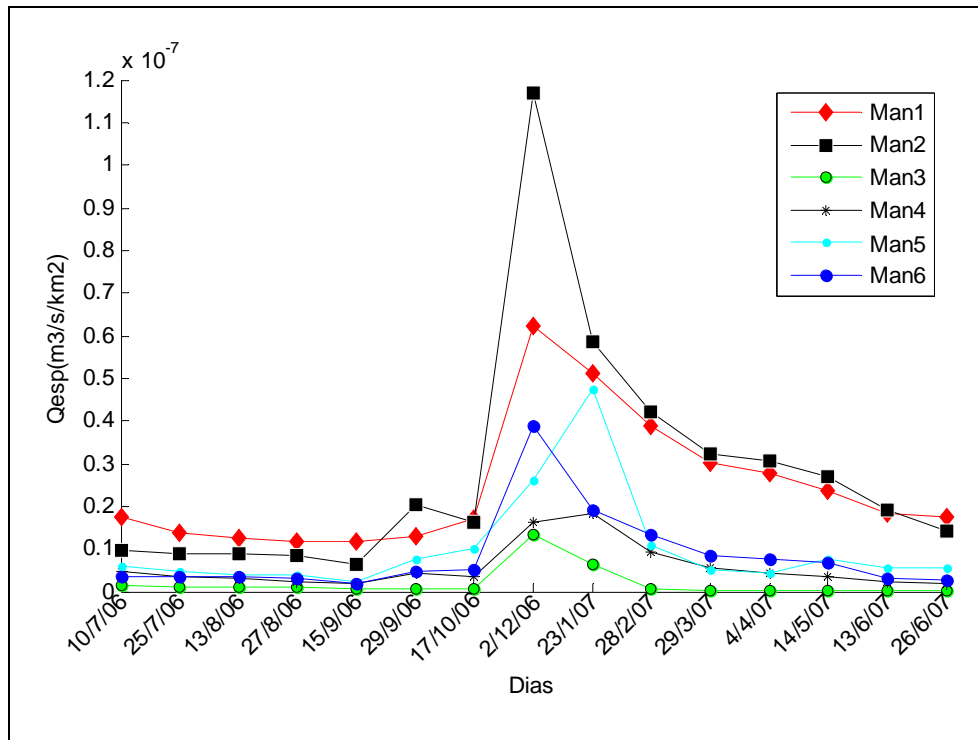


Figura 6.4 - Hidrograma com vazões específicas dos pontos amostrados na sub-bacia do rio Manso.

6.1.1.1 - Parâmetros Físico-Químicos

Através da Figura 6.5, é possível observar que a condutividade elétrica esteve relacionada negativamente com as vazões na maioria dos pontos, ou seja, apresentou declínio de seus valores na época chuvosa. Tal comportamento corresponde à tendência de diluição acentuada da carga total dos íons dissolvidos no período de chuva. A condutividade elétrica nesta sub-bacia variou entre $7,2 \mu\text{s}/\text{cm}$ e $27,05 \mu\text{s}/\text{cm}$. O valor de condutividade no ponto man-5, durante o mês de maio, provavelmente se deve a algum erro de medida.

Nos pontos man-1 e man-5 foram observados os maiores e os menores valores de condutividade elétrica, respectivamente. Os maiores valores de condutividade observados no man-1 provavelmente se devem as elevadas concentrações de Ca e Mg apresentadas neste ponto. Além disso, este ponto possui águas estagnadas e grande quantidade de matéria orgânica. Já o ponto man-5 apresenta, em geral, as menores concentrações para a maioria dos elementos analisados, o que provavelmente explica as menores condutividades apresentadas (Anexo I).

Em relação ao pH (Figura 6.6), as amostras coletadas apresentaram, em sua maioria, valores entre 6 e 7. Nos pontos man-3 e man-2 foram observados os maiores e os menores valores de pH, respectivamente. Também foi possível observar uma tendência de queda dos valores de pH ao longo do ano, em todos os pontos amostrados.

A turbidez de uma amostra de água é a medida da dificuldade que um feixe de luz sofre ao atravessá-la devido à presença de sólidos em suspensão (silte, argila, coloides), matéria orgânica e

inorgânica, plâncton e organismos microscópicos (Derísio 1992). Na amostragem de janeiro, a turbidez variou de 1 FTU a 7,7 FTU, e na amostragem de agosto houve variação de 0,5 FTU a 2,4 FTU. A tendência em apresentar maiores valores na época chuvosa mostra os efeitos do transporte de material sólido para os rios (Figura 6.7).

Os pontos man-4 e man-5 apresentaram maiores valores de turbidez no período de chuva, que podem ser reflexo da própria geologia da área assim como da presença de estradas próximas a estes pontos, dando acesso a sede do Parque. Além disso, esse fato pode estar relacionado ao pico de vazão no final de janeiro, período que foi analisada a turbidez.

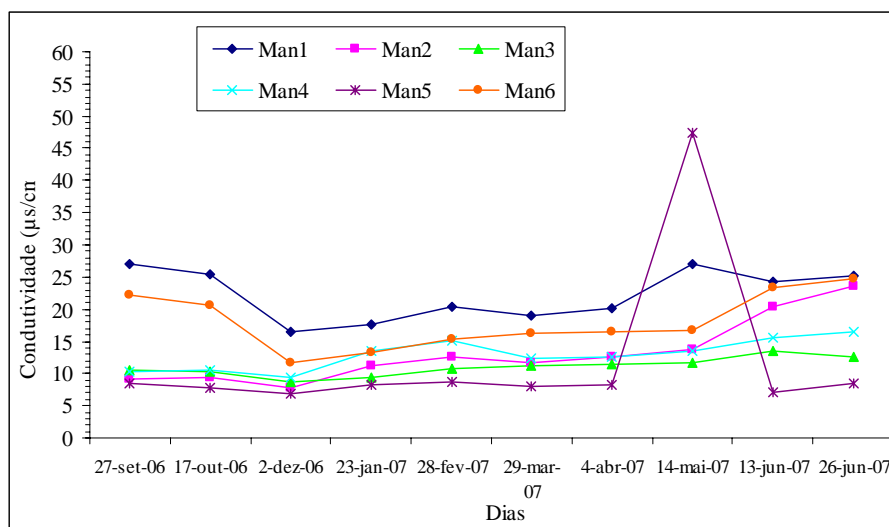


Figura 6.5 - Condutividade elétrica dos diferentes pontos da sub-bacia do rio Manso.

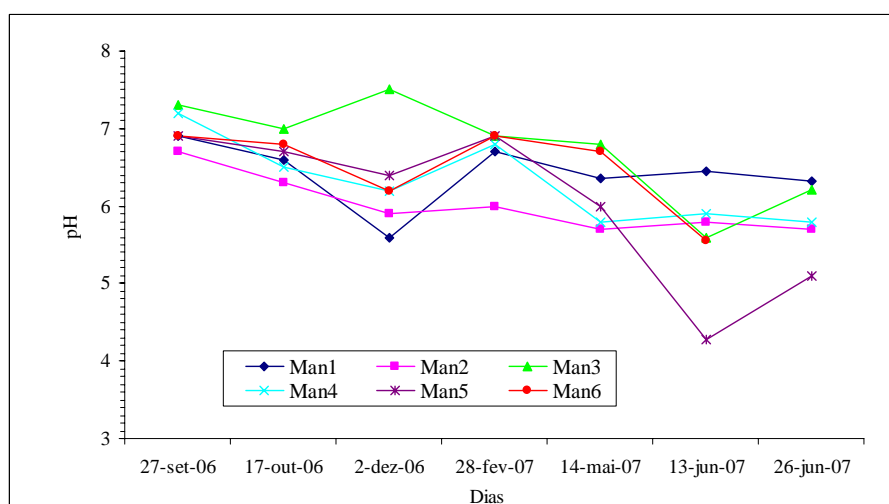


Figura 6.6 – Dados de pH dos diferentes pontos da sub-bacia do rio Manso.

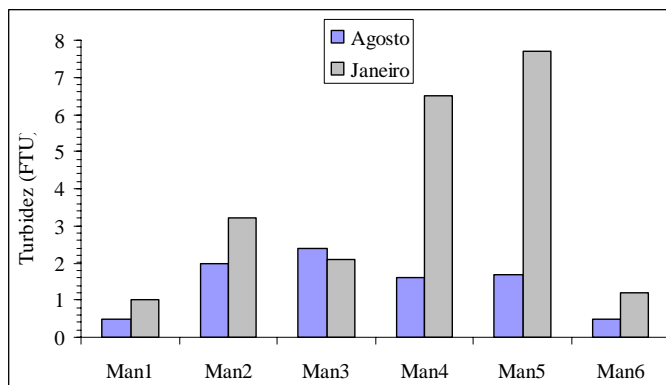


Figura 6.7 - Turbidez dos diferentes pontos da sub-bacia do rio Manso.

6.1.1.2 - Elementos maiores e menores

Dos elementos maiores e menores analisados, os valores obtidos para As, Cd, Cr, Mo, Ni, V e Y foram inferiores ao limite de quantificação da técnica utilizada (Anexo I). Através da Figura 6.8, observam-se as concentrações dos elementos Mn, Al e Fe, para os quais foram identificadas anomalias. Os demais elementos apresentam valores abaixo das apresentadas na resolução CONAMA 357/05, para a classe I.

Em todos os pontos, os teores de Fe estiveram na ordem de 132 µg/L a 1091 µg/L na época seca, e de 478 µg/L a 1289 µg/L no período chuvoso. De acordo com a resolução CONAMA 357/05, o Fe em águas doces para atender a classe I deve ter concentrações menores que 300 µg/L. Portanto, concentrações anômalas deste elemento foram observadas nos pontos man-3 e man-4 no período de seca, e em todos os pontos no período de chuva.

De acordo com essa resolução, para atender a classe 1, as concentrações de Mn devem ser menores que 100 µg/L. Dessa forma, as concentrações deste elemento apresentaram valores anômalos nos pontos man-2, man-5 e man-4, no período chuvoso, e no man-3, man-4 e man-5 no período seco.

As concentrações de Al, de acordo com a resolução CONAMA 357/05 para atender a classe 1, apresentam concentrações menores que 100 µg/L. Anomalia deste elemento foi verificada no ponto man-2, apresentando concentração de 714 µg/L. O ponto man-3 também apresentou concentração acima deste valor (110 µg/L).

Como descrito no capítulo 5, os solos da sub-bacia do rio Manso também apresentaram elevadas concentrações de Fe e Mn. Isto já era esperado, uma vez que, de um modo geral, os solos tendem a refletir a composição química da rocha original com reflexos na composição da água. Portanto, tal fato reflete a geologia, composta de xistos e filitos do grupo Piracicaba, quartzitos ferruginosos do Grupo Sabará, e especialmente a presença de canga, que contribui de forma mais

efetiva para estes elevados valores. Ainda na descrição mineralógica dos solos esta relação é reforçada, já que foram encontrados minerais como a goethita (Anexo III). Além disso, no trabalho desenvolvido por IEF (2006), também foram observadas elevadas concentrações de Fe e Mn nas águas do Manso, e estas foram relacionadas com as características geológicas da área. Oliveira (1999) em seu estudo também verificou grandes concentrações de Fe nesta sub-bacia, e também atribuiu às características geológicas da área, somadas ao forte intemperismo químico, que se processa sobre as litologias.

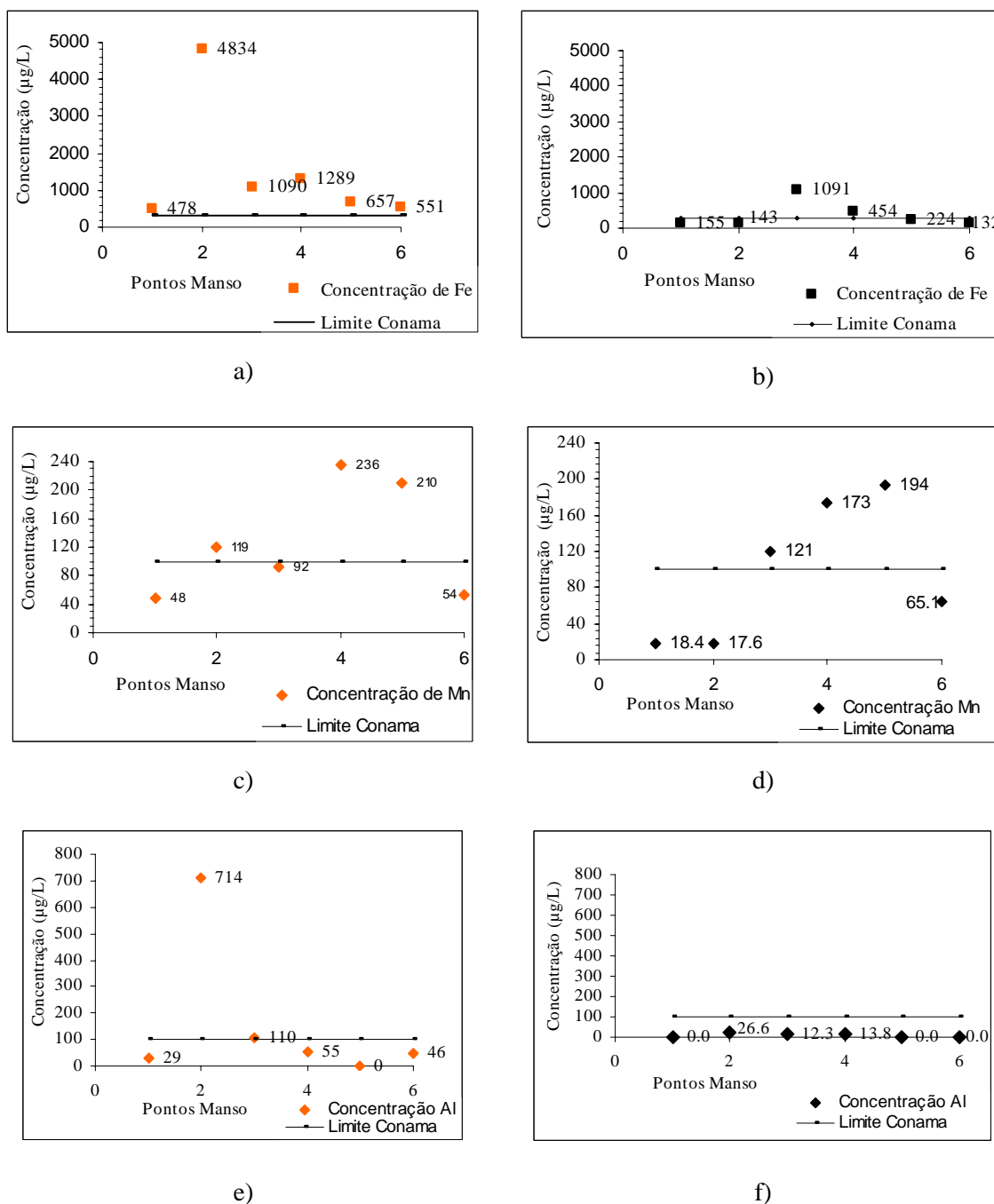


Figura 6.8 - Concentração dos elementos maiores e menores dos diferentes pontos da sub-bacia do rio Manso: a) Fe (período de chuva); b) Fe (período de seca); c) Mn (período de chuva); d) Mn (período de seca), e) Al (período de chuva) e f) Al (período de seca) .

6.1.2 - Benedito

O mapa da Figura 6.9 apresenta a geologia e a localização dos pontos amostrados na sub-bacia do rio Benedito.

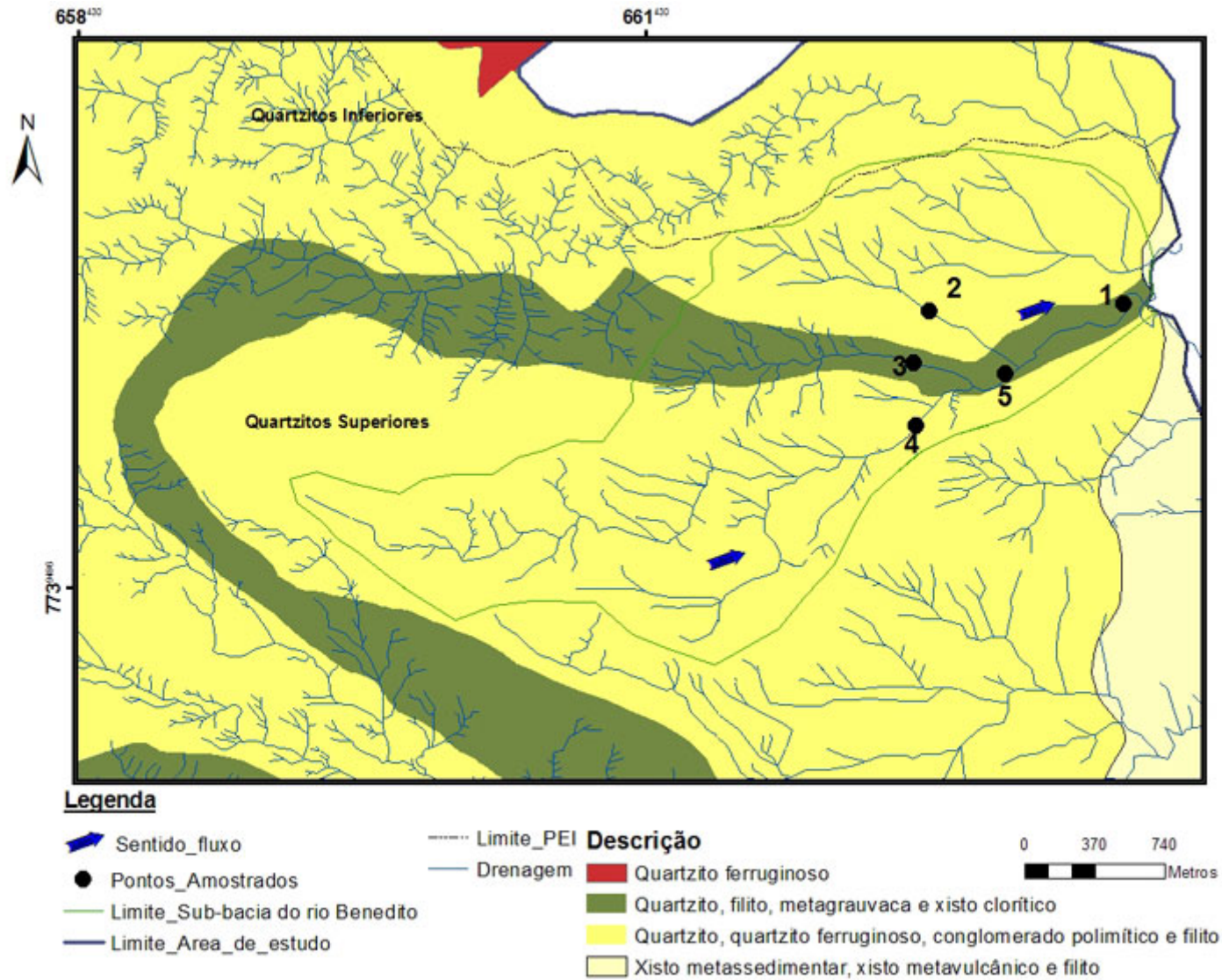


Figura 6.9 - Mapa geológico com os pontos amostrados na sub-bacia do rio Benedito (adaptado de Lobato *et al.* 2004).

As vazões médias mínimas (\bar{Q}) dos pontos da sub-bacia do rio Benedito variaram entre 0,000054 m³/s e 0,0067 m³/s. Já as vazões específicas mínimas (\bar{Q}_{esp}) variaram entre 1,2 x 10⁻¹⁰ e 2,2 x 10⁻⁹ m³/s/km² (Tabela 6.3).

Tabela 6.3 - Descrição dos pontos amostrados na sub-bacia do rio Benedito.

Pontos	Coordenadas UTM		Geologia	Área a montante (km ²)	\bar{Q} mínima (m ³ /s)	\bar{Q}_{esp} mínima (m ³ /s/km ²)
1	663922	7741115	Quartzito, quartzito ferruginoso, sericítico e com grãos de quartzo mais grosseiros metaconglomerado polimítico e filito e Quartzito-sericita-clorita xisto	4,5	0,0067	1,5 x 10 ⁻⁹
2	662979	7740967	Quartzito, quartzito ferruginoso, metaconglomerado polimítico e filito (Quartzitos inferiores).	0,42	0,000054	1,2 x 10 ⁻¹⁰
3	663145	7740582	Quartzito-sericita-clorita xisto e Quartzito ferruginoso, sericítico e com grãos de quartzo mais grosseiros	0,67	0,0015	2,2 x 10 ⁻⁹
4	663120	7740575	Quartzito ferruginoso, sericítico e com grãos de quartzo mais grosseiros (Quartzitos superiores).	2,5	0,0022	8,9 x 10 ⁻¹⁰
5	663137	7740544	Quartzito-sericita-clorita xisto e Quartzito ferruginoso, sericítico e com grãos de quartzo mais grosseiros.	3,5	0,0025	7,3 x 10 ⁻¹⁰

As vazões medidas nos pontos da sub-bacia do rio Benedito são apresentadas nas Figuras 6.10 e 6.11. A partir da análise dos hidrogramas apresentados nestas figuras é possível concluir que a sub-bacia do rio Benedito apresenta baixo escoamento subsuperficial.

Também observa-se que os pontos no Sabará (Ben-3) apresentam picos maiores de vazão em janeiro e os pontos 1, 4 e 5 no Benedito apresentam um segundo pico importante neste período. Tal fato é reflexo das fortes chuvas que ocorreram neste período.

Assim como na sub-bacia do rio manso observa-se que a vazão aumenta de montante para jusante.

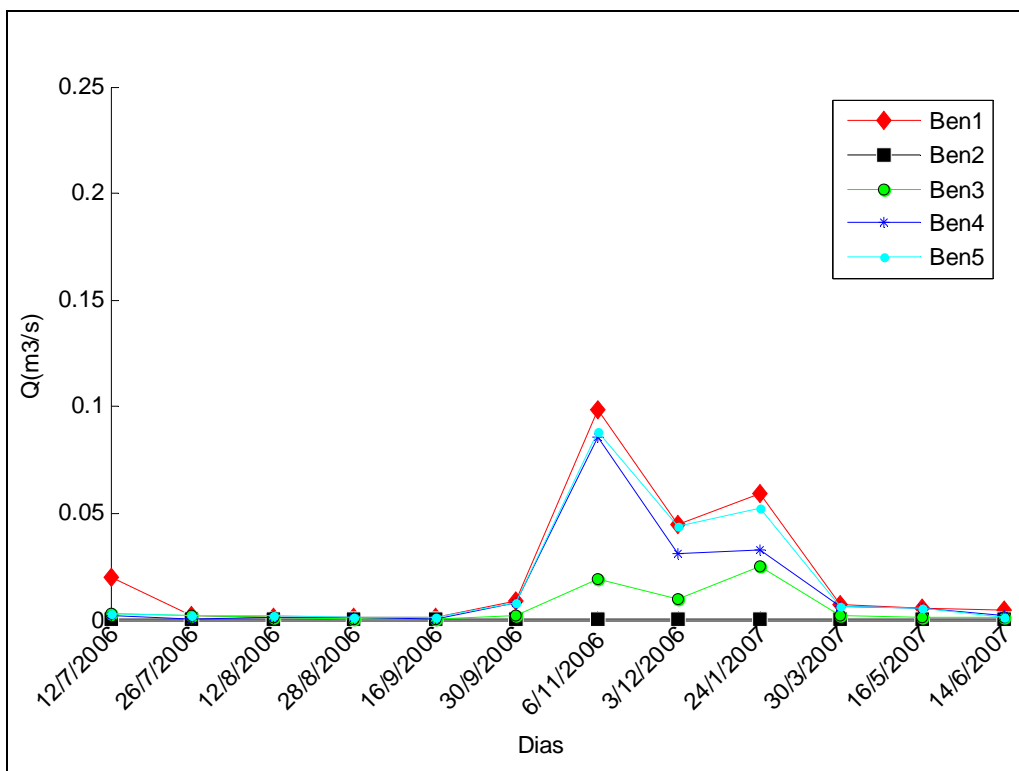


Figura 6.10 - Hidrograma com as vazões dos diversos pontos da sub-bacia do rio Benedito.

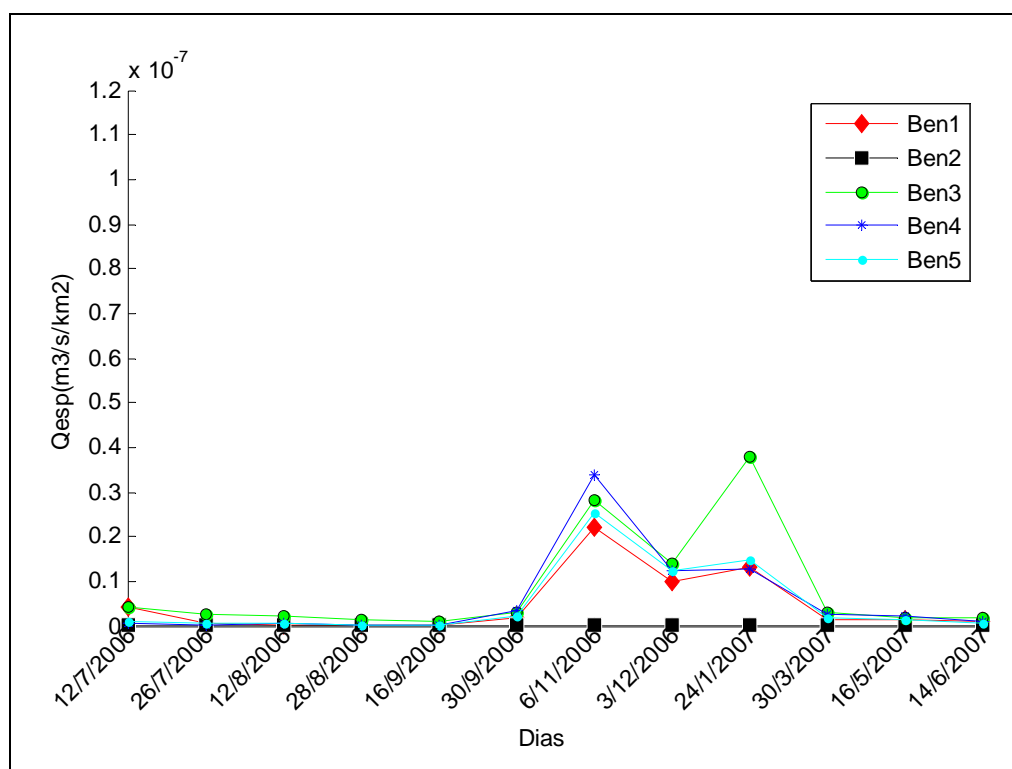


Figura 6.11 - Hidrograma com as vazões específicas dos diversos pontos da sub-bacia do rio Benedito.

6.1.2.1 - Parâmetros Físico-Químicos

A condutividade elétrica, o pH e a turbidez dos diferentes trechos da sub-bacia do rio Benedito são apresentados nas Figuras 6.12 a 6.14. Observa-se que a condutividade elétrica nos pontos desta sub-bacia variou entre 3,4 $\mu\text{s}/\text{cm}$ e 36,1 $\mu\text{s}/\text{cm}$. Os maiores valores de condutividade foram verificados no ponto ben-4 e ben-5, o que provavelmente se deve as concentrações anômalas de Al e as elevadas concentrações de Ca e Na (Anexo I).

Em relação ao pH, todas as amostras coletadas apresentaram valores abaixo da neutralidade, entre 4.2 e 6.6. Nos pontos ben-3 e ben-4 foram observados os maiores e os menores valores de pH, respectivamente.

Na amostragem de janeiro, a turbidez variou de 0,7 FTU a 1,1 FTU, e na amostragem de agosto houve variação de 0,5 FTU a 2,0 FTU (Figura 6.14). O ponto ben-2 apresentou um comportamento diferente dos demais, com valores mais elevados de turbidez.

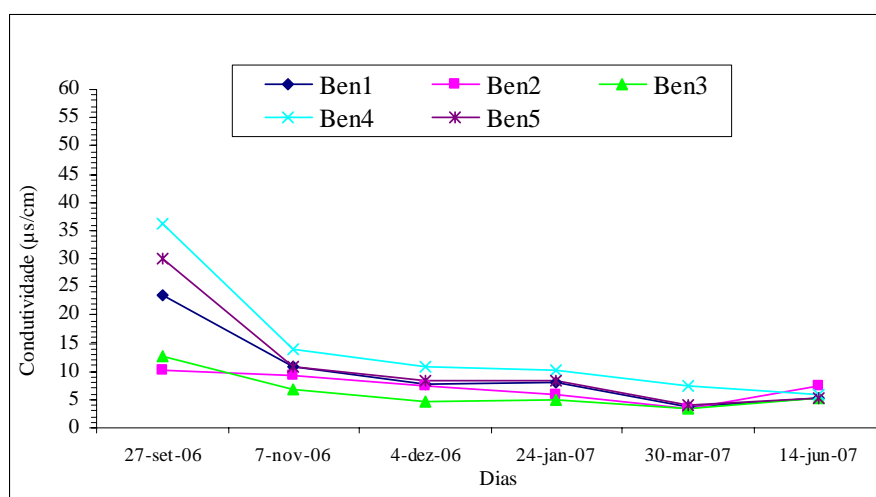


Figura 6.12 - Condutividade elétrica dos diferentes pontos da sub-bacia do rio Benedito.

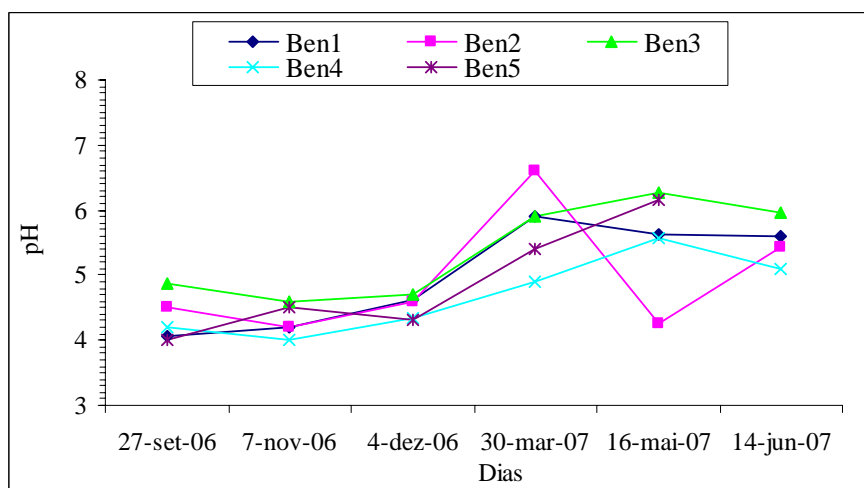


Figura 6.13 – Valores de pH dos diferentes trechos da sub-bacia do rio Benedito.

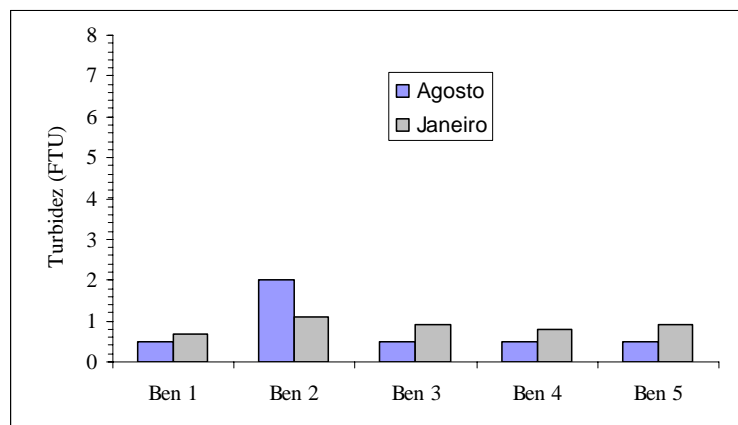


Figura 6.14 - Turbidez nos diferentes trechos da sub-bacia do rio Benedito.

6.1.2.2 - Elementos maiores e menores

Entre os elementos químicos analisados, os valores obtidos para As, Be, Cd, Cr, Mo, Ni, V e Y apresentaram concentrações abaixo do limite de quantificação da técnica utilizada (Anexo I). De acordo com a resolução CONAMA 357/05, foram encontradas concentrações anômalas de Al nos pontos ben-2 e ben-4, no período de chuva (Figura 6.15).

As concentrações anômalas de Al, provavelmente são conseqüências dos quartzitos sericíticos da região e do pH ácido apresentado nestas águas, o que facilita a mobilidade deste metal. O mesmo foi verificado no ponto man-2, na sub-bacia do rio Manso, que apresentou baixos valores de pH e elevada concentração de Al.

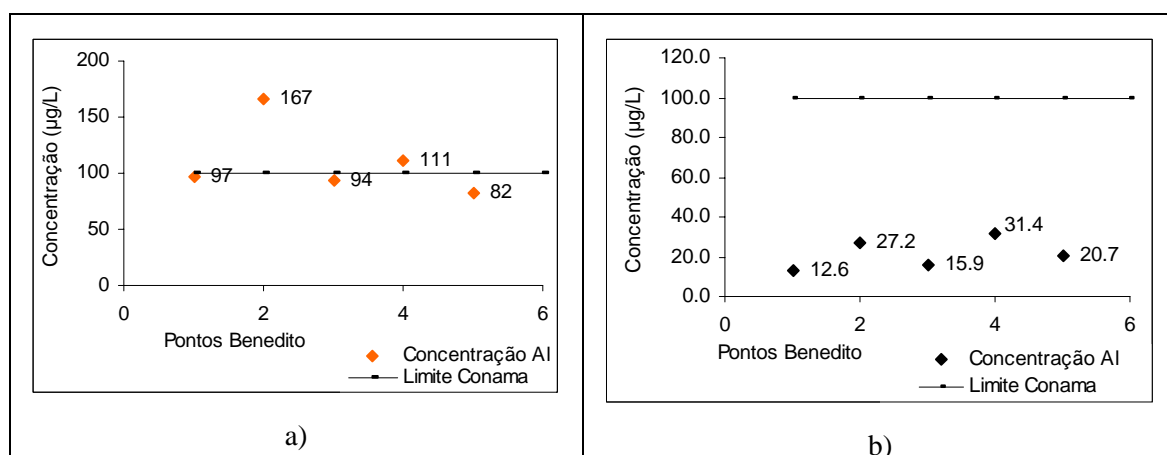


Figura 6.15 - Concentrações de Al na sub-bacia do rio Benedito no período de chuva (a) e seca (b).

6.1.3 - Calais

O mapa da Figura 6.16 apresenta a geologia e a localização dos pontos amostrados na sub-bacia do Calais. Vale apenas ressaltar que os pontos cal-1, cal-2 e cal-7 estão localizados fora do limite da área do parque, e possivelmente sofrem interferências antrópicas.

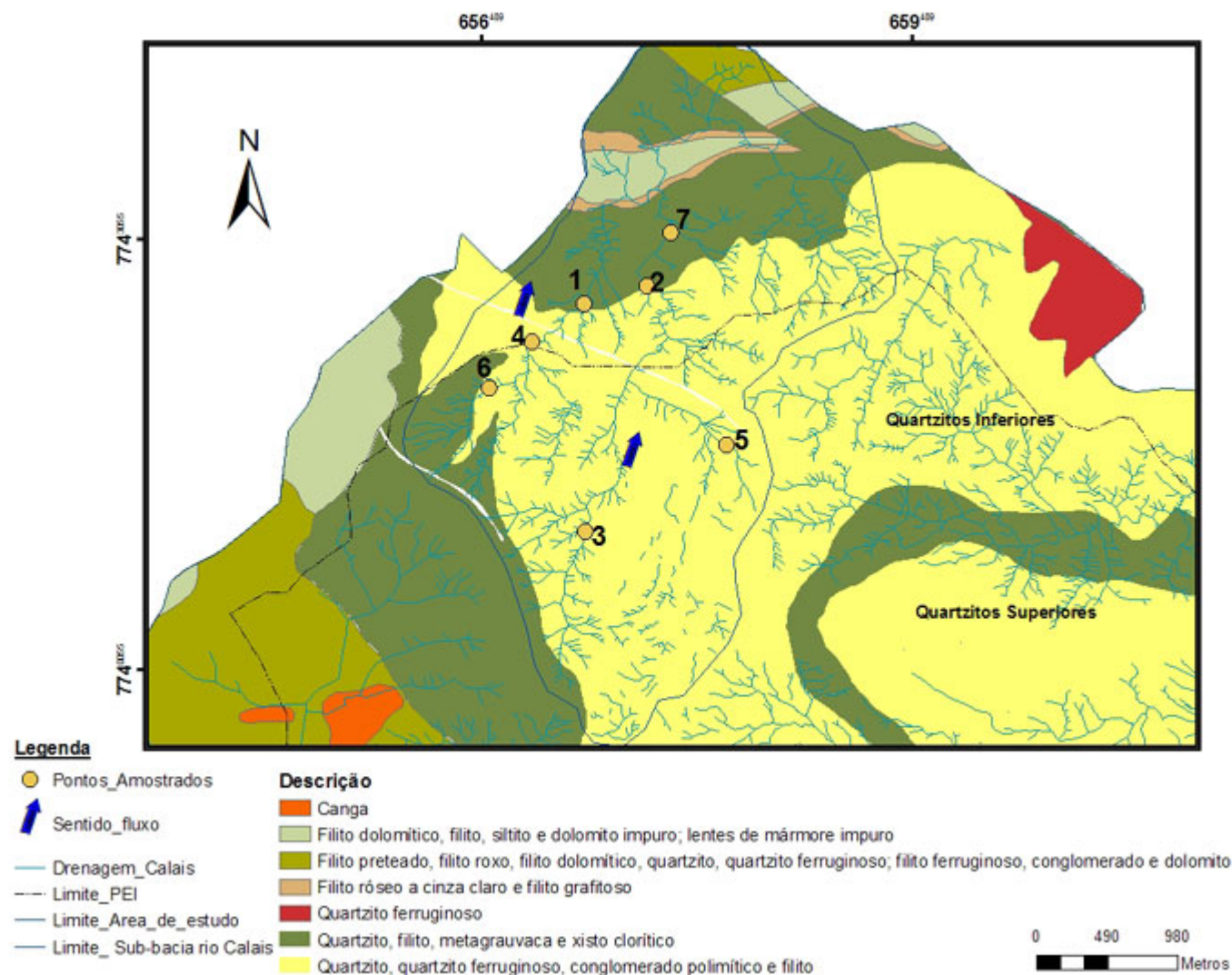


Figura 6.16 - Mapa geológico com os pontos amostrados na sub-bacia do rio Calais (adaptado de Lobato *et al.* 2004).

As vazões médias mínimas dos pontos da sub-bacia do rio Calais variaram de 0,0010 m³/s a 0,0110 m³/s. Já as vazões médias mínimas específicas variaram de 1,4 x 10⁻⁹ a 1,2 x 10⁻⁸ m³/s/km² (Tabela 6.4).

Tabela 6.4 - Descrição dos pontos amostrados da sub-bacia do rio Calais.

Pontos	Coordenadas UTM		Geologia	Área a montante (km ²)	\bar{Q} mínima (m ³ /s)	\bar{Q} esp mínima (m ³ /s/km ²)
1	657104	7742706	Quartzito, filito, metagrauvaca e xisto clorítico, quartzito ferruginoso, metaconglomerado polimítico e filito	1,35	0,0110	8,1 x 10 ⁻⁹
2	657578	7742880	Quartzito, filito, metagrauvaca e xisto clorítico, quartzito ferruginoso, metaconglomerado polimítico e filito	3,8	0,0054	1,4 x 10 ⁻⁹
3	657066	7741065	Quartzito, filito, metagrauvaca e xisto clorítico, quartzito ferruginoso, metaconglomerado polimítico e filito	1,2	0,0059	5,2 x 10 ⁻⁹
4	656767	7742429	Quartzito, filito, metagrauvaca e xisto clorítico, quartzito ferruginoso, metaconglomerado polimítico e filito	0,66	0,0024	3,7 x 10 ⁻⁹
5	658122	7741771	Quartzito, quartzito ferruginoso, metaconglomerado polimítico e filito	0,25	0,0010	4,0 x 10 ⁻⁹
6	656479	7742062	Quartzito, filito, metagrauvaca e xisto clorítico, quartzito ferruginoso, metaconglomerado polimítico e filito	0,29	0,0037	1,2 x 10 ⁻⁸
7	658073	7744033	Quartzito, filito, metagrauvaca e xisto clorítico, quartzito ferruginoso, metaconglomerado polimítico e filito	3,9	0,0070	1,8 x 10 ⁻⁹

As Figuras 6.17 a 6.19 apresentam as vazões e as vazões específicas de cada ponto, medidas durante um ano hidrológico na sub-bacia do rio Calais.

Nota-se que o ponto denominado cal-6 (Figura 6.17), situado a montante do cal- 4, deveria apresentar vazões inferiores a este ponto, porém mostrou, em quase todos os meses medidos, vazões

superiores em relação ao ponto cal-4, que pode ser explicado pela presença de um sumidouro entre estes dois pontos. Tal fato também é observado em demais pontos, como é o caso do ponto cal-3 (situado a montante), que apresentou maiores vazões em relação aos pontos cal-2 e cal-7 (situados a jusante), nos meses de julho de 2006 a dezembro de 2007. Isto também pode ser atribuído à existência de sumidouros e ressurgências, por onde as águas que correm em superfície podem abruptamente passar a drenar subterraneamente adentrando nos sumidouros. E a jusante, ressurgir passando a correr em superfície novamente (Figura 6.18).

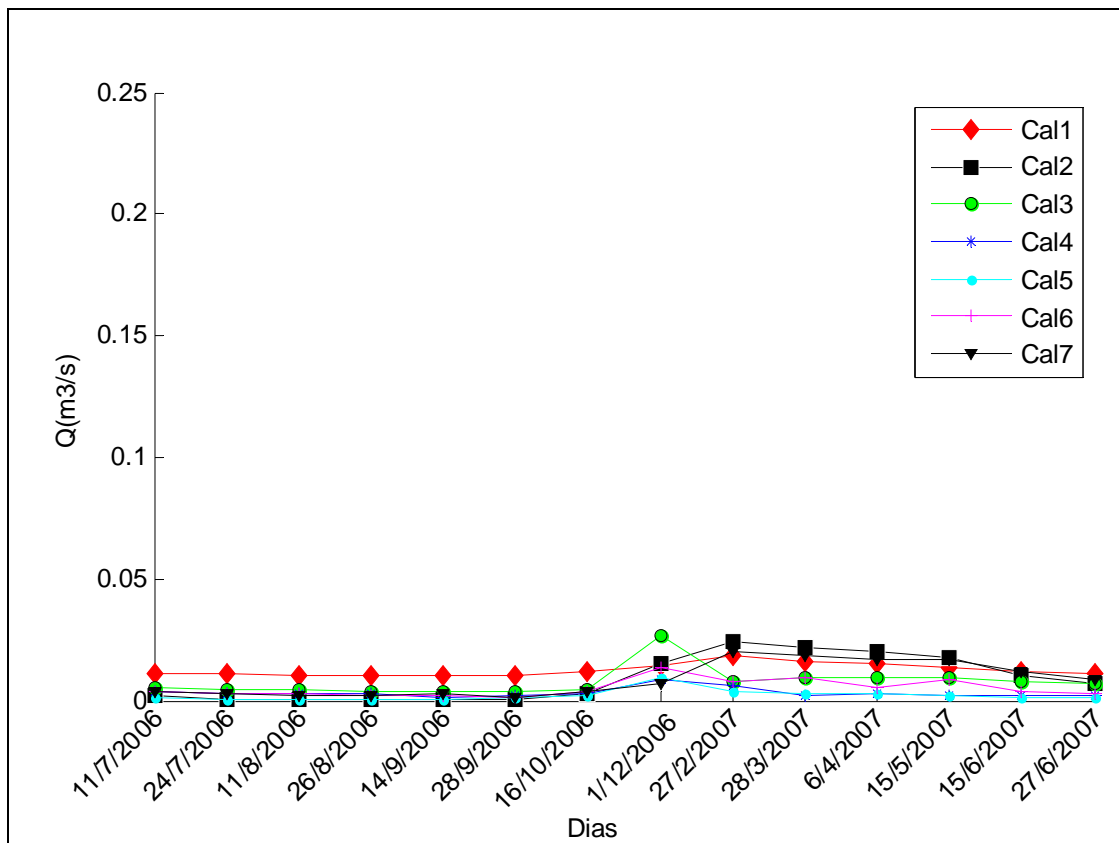


Figura 6.17 - Hidrograma com as vazões dos diversos trechos da sub-bacia do rio Calais.

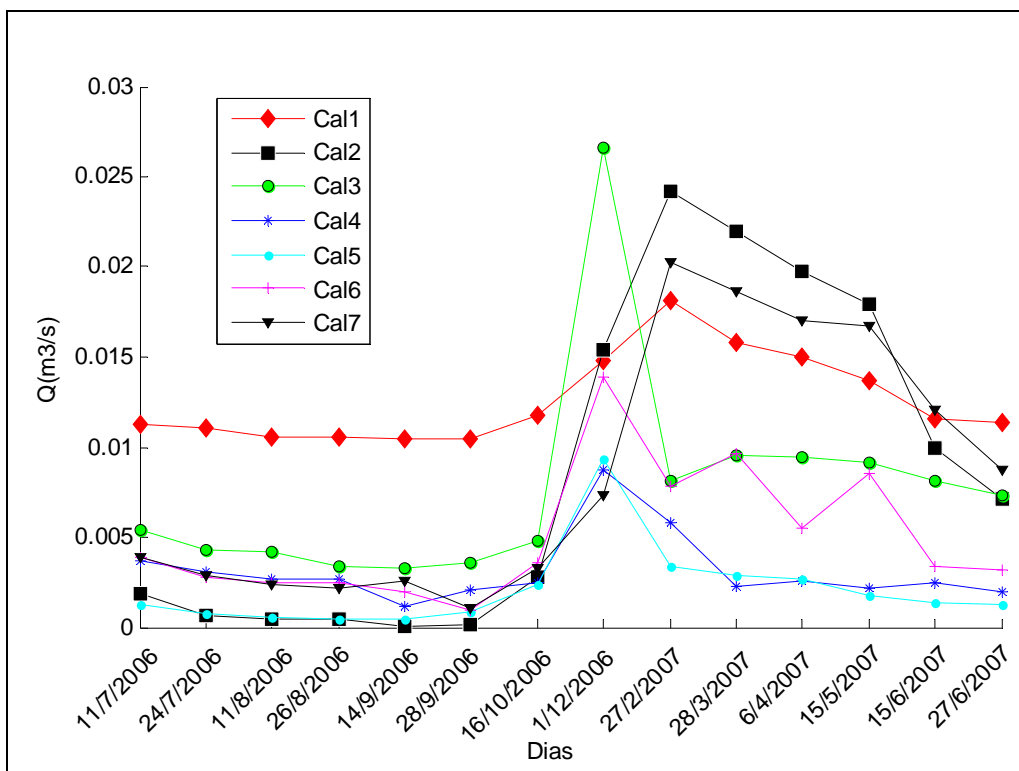


Figura 6.18 - Hidrograma com as vazões (em escala menor) dos diversos trechos da sub-bacia do rio Calais.

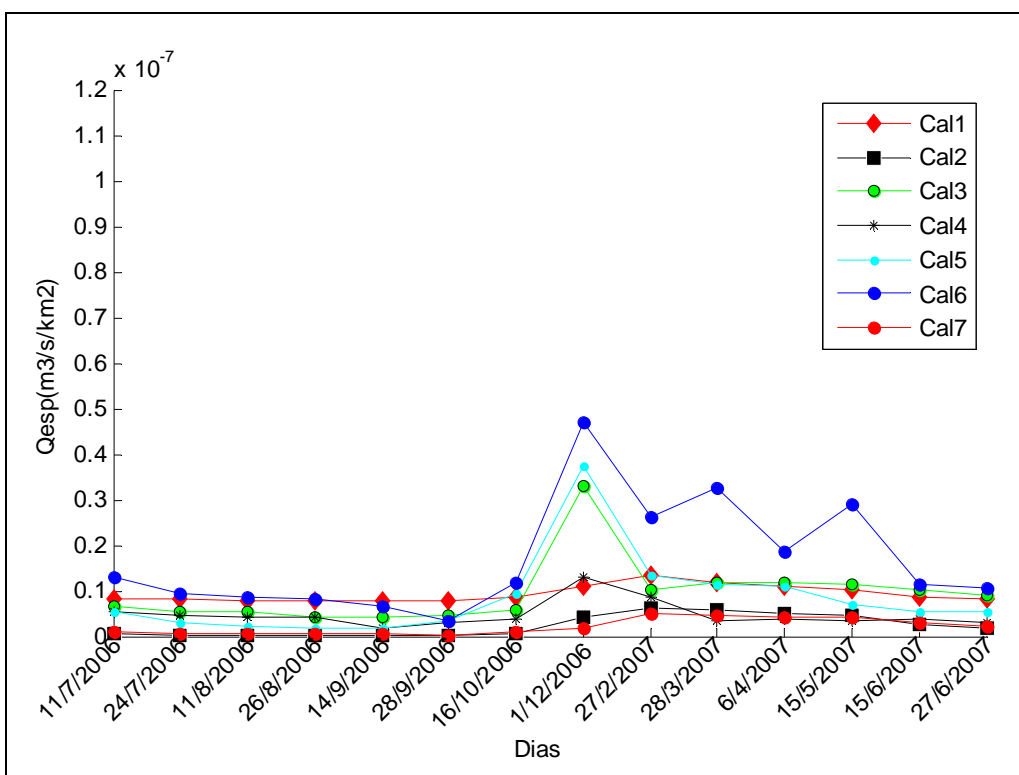


Figura 6.19 - Hidrograma com as vazões específicas dos diversos trechos da sub-bacia do rio Calais.

6.1.3.1 - Parâmetros Físico-Químicos

A condutividade elétrica na sub-bacia do rio Calais (Figuras 6.20) apresentou diferenças acentuadas entre um ponto e outro, provavelmente consequência das diferentes litogias por onde seus canais drenam.

Em relação ao pH (Figura 6.21), as amostras coletadas apresentaram, em sua maioria, valores abaixo da neutralidade, com apenas duas amostras no ponto cal-3 e uma no ponto cal-1 com pH acima de 7.0. Em geral, nos pontos cal-3 e cal-5 foram observados os maiores e os menores valores de pH, respectivamente. Também foi possível observar uma tendência de elevação dos valores de pH ao longo do ano, em todos os pontos amostrados.

Os valores de turbidez em janeiro variaram entre 0,5 FTU e 4,1 FTU, e em agosto entre 0,5 FTU e 7,2 FTU (Figura 6.22). O ponto cal-7 foi o que apresentou o maior valor de turbidez. Este ponto localiza-se em área urbana e não apresenta cobertura vegetal, e a sua montante ocorrem extrações frequentes de areia, contribuindo assim para elevar o índice de turbidez.

Os menores valores de turbidez são apresentados nos pontos cal-4, cal-5 e cal-6. Estes pontos estão localizados em regiões rochosas sem influência antrópica. O ponto cal-3, embora situado nos quartzitos e livre de antropização, apresentou valores maiores de turbidez, provavelmente consequência de uma maior declividade apresentada.

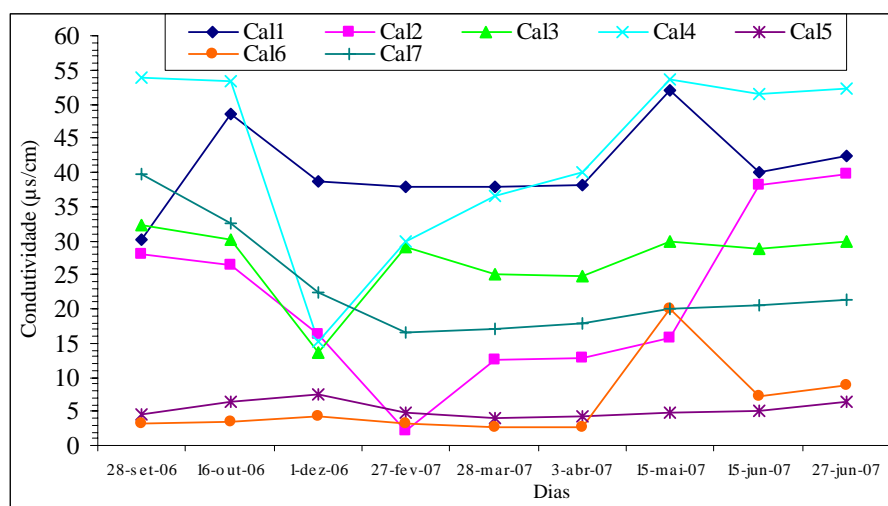


Figura 6.20 - Condutividade elétrica dos diferentes pontos da sub-bacia do rio Calais.

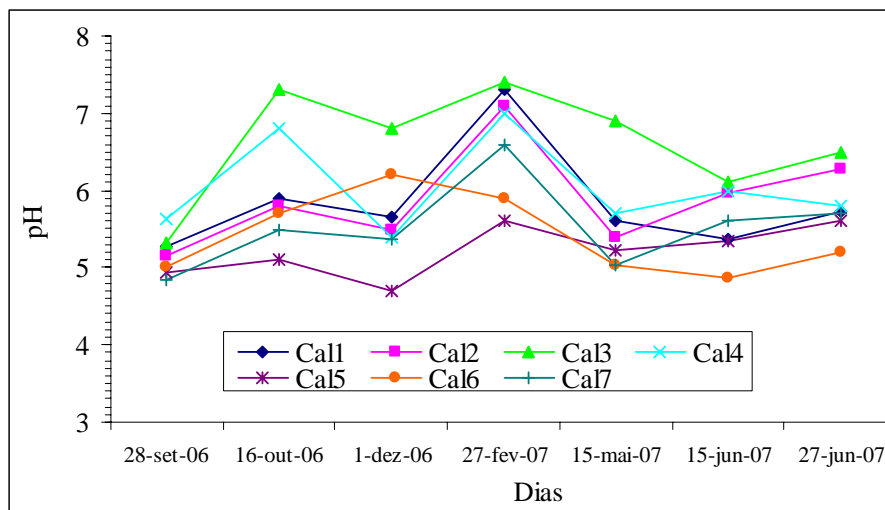


Figura 6.21 – Valores de pH dos diferentes trechos da sub-bacia do rio Calais.

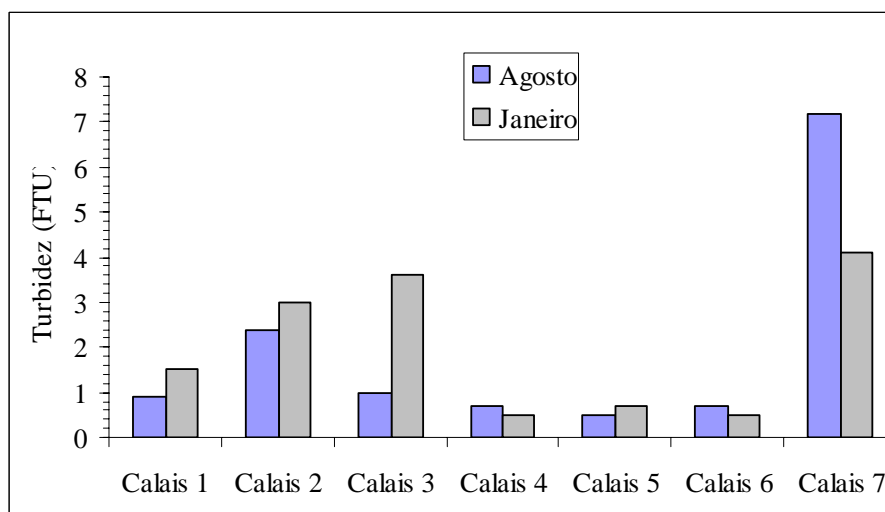


Figura 6.22 - Turbidez dos diferentes pontos da sub-bacia do rio Calais.

6.1.3.2 - Elementos maiores e menores

As concentrações de As, Li, Ti, Cd, Cr, Mo, Ni, V, Y e Zn apresentaram valores abaixo do limite de quantificação da técnica utilizada (Anexo I). Além disso, foram observadas concentrações anômalas de Mn nos pontos cal-7 (período de chuva e seca) e cal-2 (período de seca).

Teores anômalos de Fe foram determinados nos pontos cal-2 e cal-7 (períodos de seca) e cal-3 e cal-7 (chuva). Os pontos cal-2 e cal-7 estão situados fora do limite do parque, então estas anomalias podem ser atribuídas tanto à geologia quanto a alguma interferência antrópica.

No ponto cal-3, as anomalias apresentadas provavelmente são influências da geologia, já que este ponto localiza-se no interior do parque e sendo assim apresenta menor possibilidade de

interferências antrópicas. Este ponto recebe contribuições de canais que drenam o quartzito ferruginoso (no Grupo Sabará), o que provavelmente contribui para os elevados valores de Fe e Mn.

Já as anomalias encontradas nos pontos cal-1, cal-2 e cal-7, não se pode dizer que é uma contaminação natural, já que estes são os únicos pontos situados fora da área do parque, e possivelmente sofrem influência antrópica.

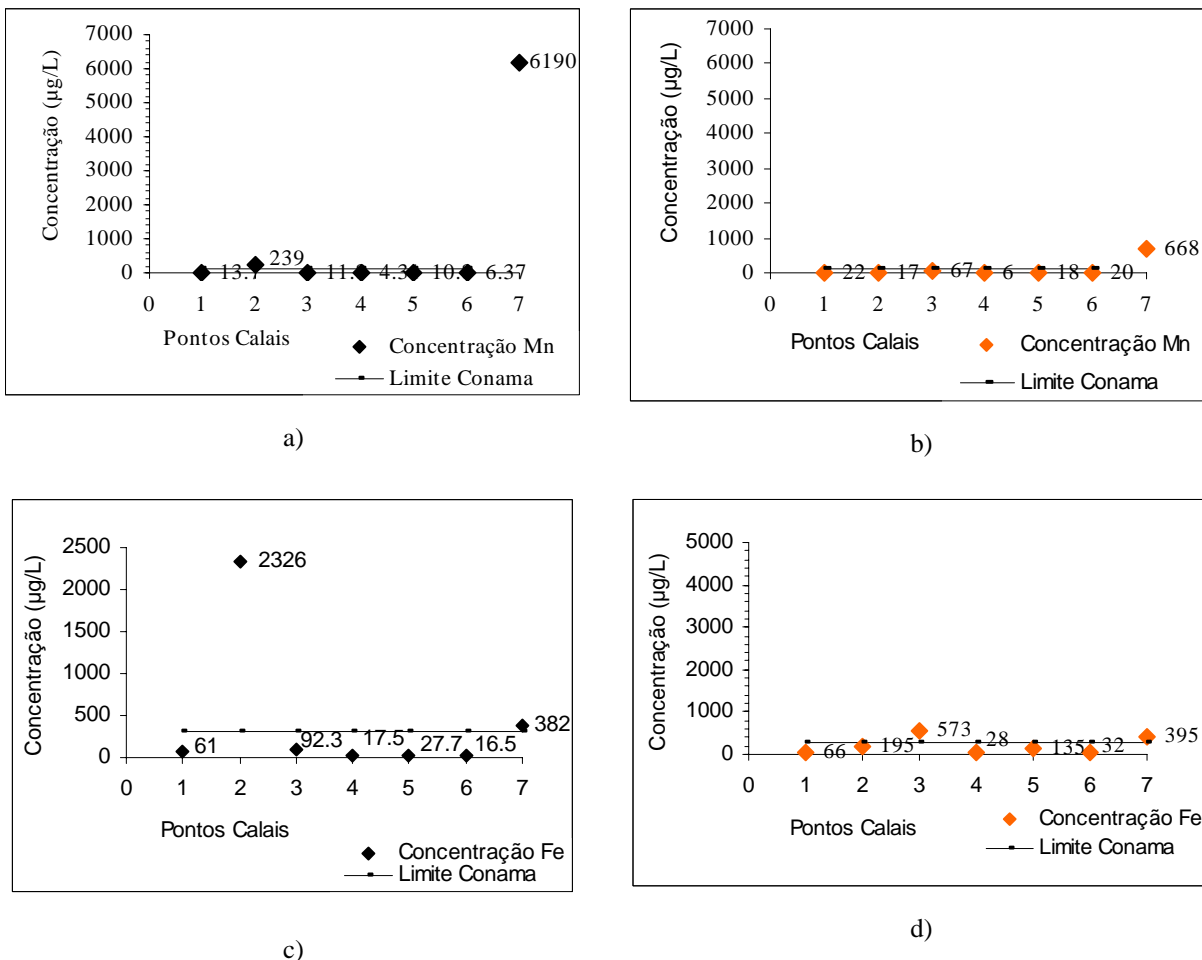


Figura 6.23 - Concentração dos elementos Fe e Mn nos diferentes trechos da sub-bacia do rio Calais: a) Mn (período de seca); b) Mn (período de chuva); c) Fe (período de seca) e d) Fe (período de chuva).

6.2 - COMPARAÇÃO DOS DADOS DAS SUB-BACIAS ANALISADAS

Para uma melhor interpretação dos dados hidrológicos, foi realizada uma análise espacial dos dados de vazões específicas médias e mínimas, como apresentado na Figura 6.24.

Nas Figuras 6.25 a 6.28 são representados espacialmente os dados de pH e condutividade das diferentes sub-bacias, nos meses de setembro e dezembro. Para uma melhor visualização destes dados, procurou-se analisar espacialmente os meses que apresentaram os quimismos mais distintos.

Observa-se através da Figura 6.24 que na sub-bacia do rio Manso são encontradas as maiores vazões específicas mínimas, ou seja, os maiores escoamentos de subsuperfície. As sub-bacias dos rios Benedito e Calais apresentaram os menores escoamentos subsuperficiais e o menor potencial em termos de armazenamento de água e produção de fluxo de base. Este fato se deve provavelmente à grande permeabilidade das fraturas e dolinas existentes na região, o que indica que nestas sub-bacias a água subterrânea drena em um menor intervalo de tempo. Ressalta-se que no Benedito este escoamento subsuperficial é ainda menor. Portanto, comparando essas sub-bacias, pode-se dizer que a sub-bacia do rio Manso apresenta o maior potencial hídrico, o Benedito o menor.

Com relação à condutividade, os pontos amostrados apresentaram valores baixos. Comparando as sub-bacias estudadas, nota-se que a do rio Benedito é a que apresenta os menores valores de condutividade elétrica, o que era esperado, pois esta sub-bacia apresenta as menores concentrações de Fe, Mn, Ca, Mg, K e Na. Já o Manso deveria apresentar as maiores condutividades, pois a rocha é mais alterável e o solo mais espesso, entretanto as maiores condutividades foram verificadas na sub-bacia do rio Calais, o que provavelmente se explica pelas maiores concentrações de Ca, Na e K encontradas (Figuras 6.25 e 6.26).

Com relação ao pH, os menores valores foram encontrados nas sub-bacias do rio Benedito e Calais, e os maiores no Manso (Figuras 6.27 e 6.28).

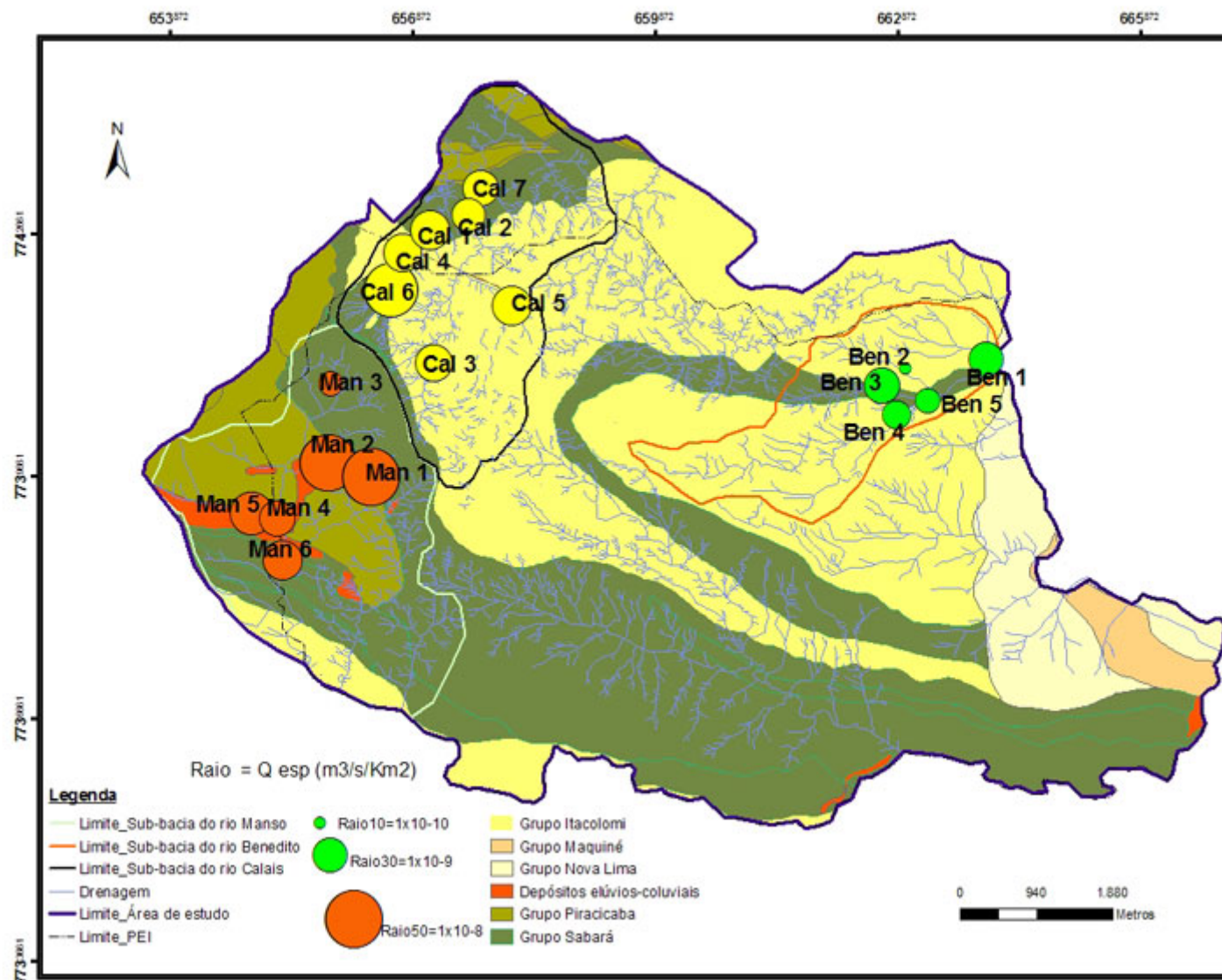


Figura 6.24 - Vazões específicas médias mínimas dos pontos amostrados.

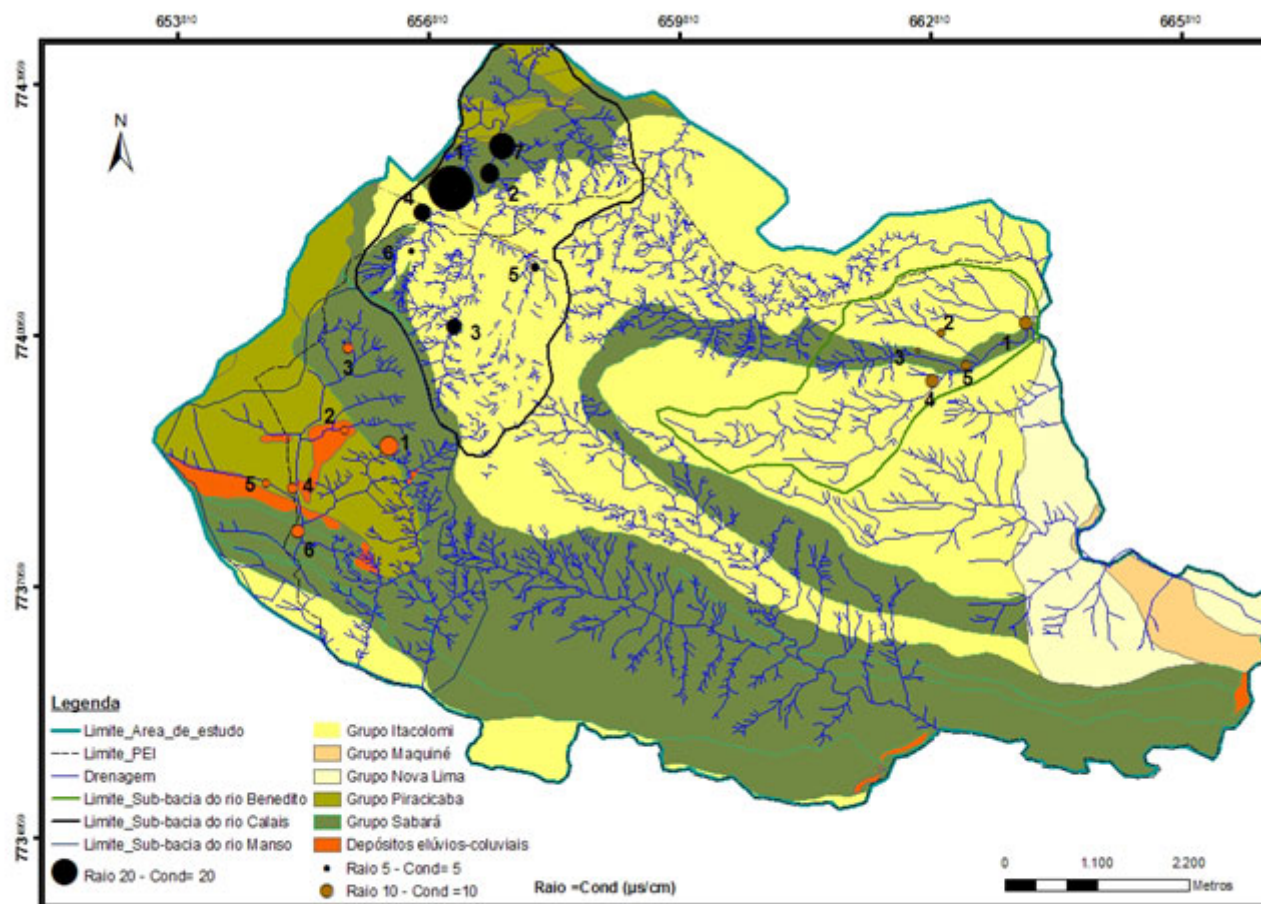


Figura 6.25 - Distribuição espacial da condutividade elétrica no mês de dezembro.

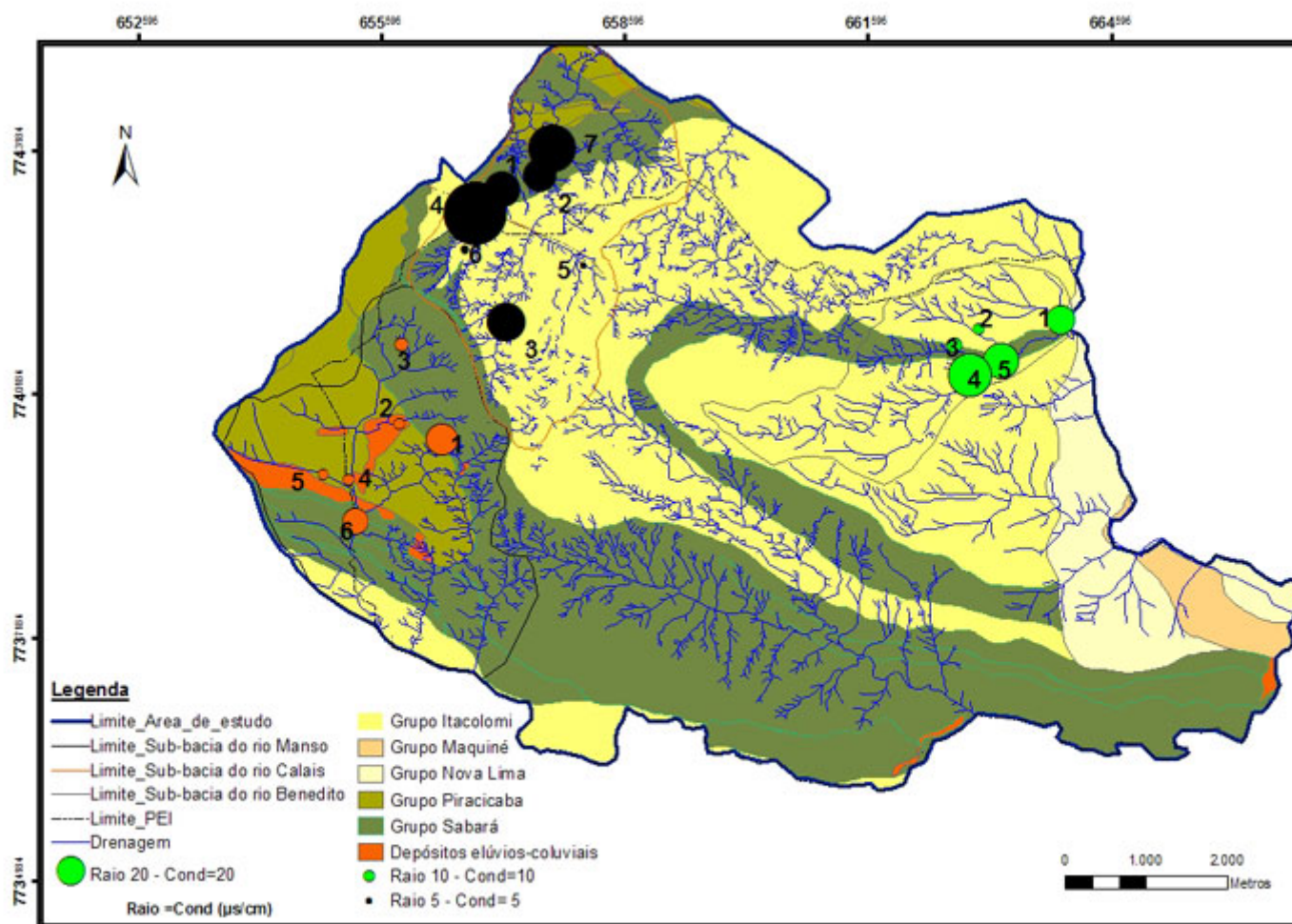


Figura 6.26 - Distribuição espacial da condutividade elétrica no mês de setembro.

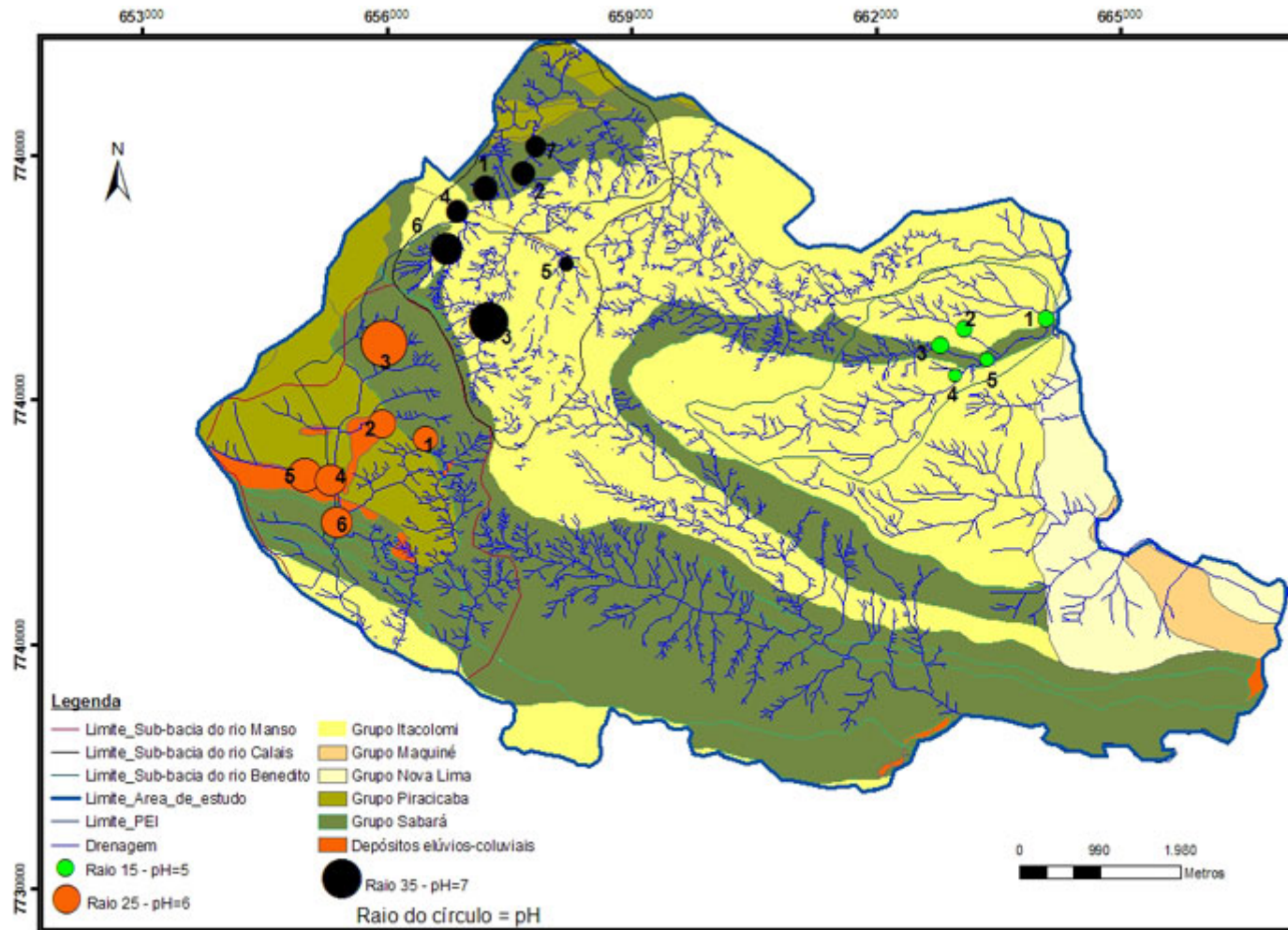


Figura 6.27 - Distribuição espacial do pH no mês de dezembro.

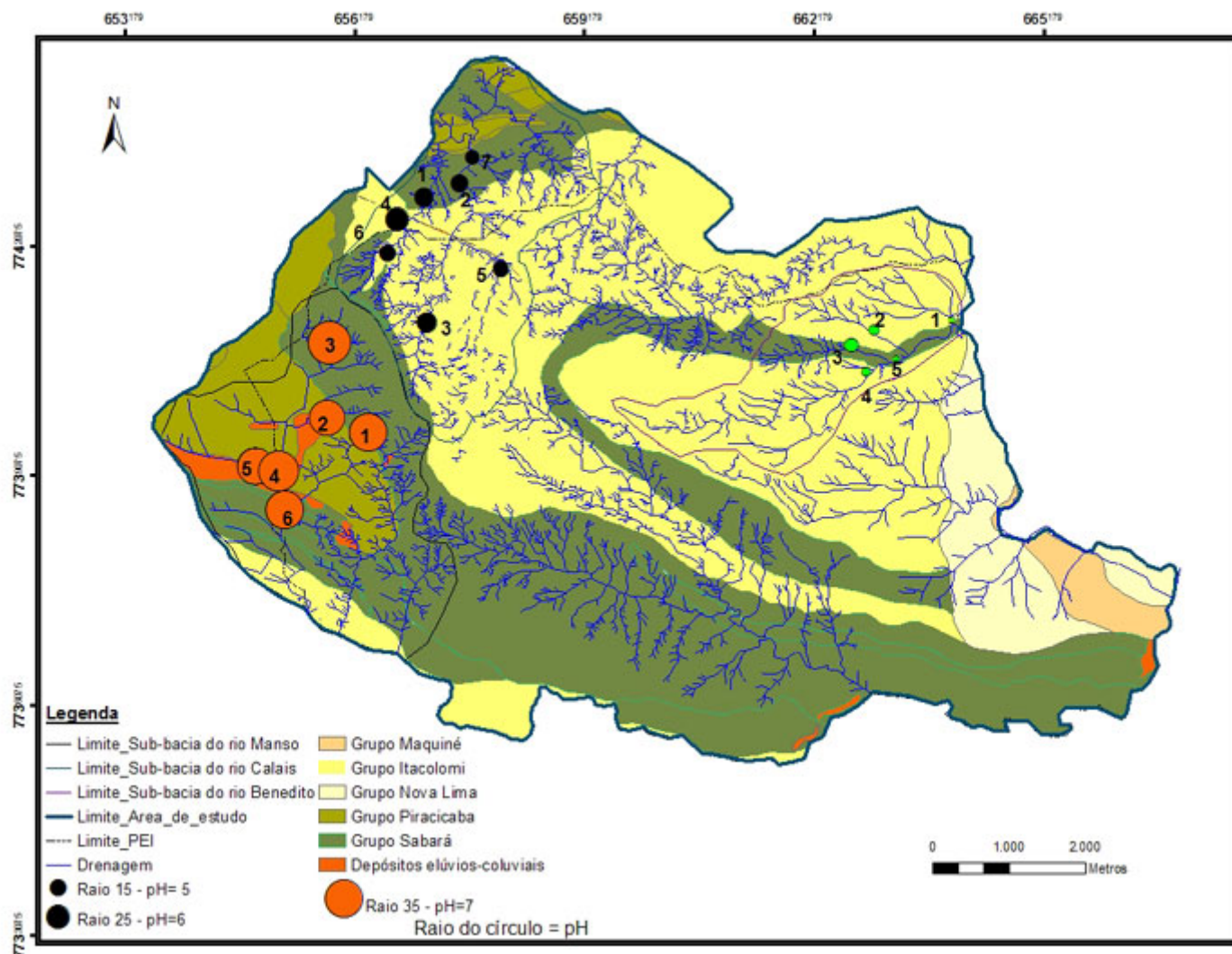


Figura 6.28 - Distribuição espacial do pH no mês de setembro.

Na Tabela 6.5 é apresentada a diferença das concentrações dos elementos maiores e menores amostrados no período de chuva e de seca. Através desta tabela é possível observar que os elementos Mg, Ca, Na e K apresentam maiores concentrações na seca em todas as sub-bacias. Esse fato indica que estas águas estão correndo em subsuperfície, ou seja, estão sendo infiltradas. Isto é visualizado sobretudo na sub-bacia do rio Benedito. Porém, tal interpretação deve ser tomada com ressalvas devido à amostragem não sistemática, pois os dados hidroquímicos foram amostrados apenas duas vezes, uma na estação chuvosa e outra na seca.

Tabela 6.5 - Tabela com a diferença das concentrações dos elementos maiores e menores amostrados no período de chuva e de seca.

Amostra	Al	Mg	Ba	Ca	Mn	Na	Zn	Fe	K
	(c-s)	(c-s)	(c-s)	(c-s)	(c-s)	(c-s)	(c-s)	(c-s)	(c-s)
	µg/l	µg/ml	µg/l	µg/ml	µg/l	µg/ml	µg/l	µg/l	µg/ml
Ben -1	84.2	-0.25	0.62	-0.11	16.3	-0.17	0	142.1	-0.09
Ben -2	138.8	-0.08	1.94	-0.01	3.73	-0.26	2.27	126.2	-0.06
Ben -3	77.8	-0.3	1.61	-0.1	8.93	-0.09	0	88.7	-0.02
Ben-4	79.6	-0.14	-0.48	-0.13	0.3	-0.14	0	142.1	-0.05
Ben-5	61.2	-0.26	0.6	-0.11	6.02	-0.14	2.9	72.6	-0.07
Man-1	21.8	-0.78	1.79	-0.93	29.1	-0.03	3.4	323	0.02
Man -2	687.4	-0.07	3.68	0.04	100.4	-0.06	4.8	4691	-0.04
Man -3	96.7	-0.17	1.33	0.02	-30	-0.04	2.2	-1	0
Man -4	40.8	-0.04	-1.51	0.29	62	-0.33	5.3	835	-0.44
Man -5	0	-0.04	-0.6	0.2	16	-0.1	5.3	433	-0.13
Man -6	38.5	-0.75	0.9	-0.9	-11	-0.06	3.4	419	0.01
Cal -1	14	-0.69	2.06	-0.65	8.2	0.64	0.6	4	0.59
Cal -2	28.8	-0.32	-5.6	-0.91	55.2	-0.31	-0.5	-2131	-0.13
Cal -3	10.9	0.76	1.36	-0.32	-222	0.06	3.6	480.7	-0.16
Cal -4	16.4	-0.25	1.46	-2.15	-5.4	0.73	6.9	10.5	0.63
Cal -5	46.3	-3.23	-1.52	0.1	7.4	0.08	2.5	107.3	0.1
Cal -6	11.8	0	1.1	0.03	13.6	0.22	4.2	15.5	0.03
Cal -7	36.7	0.55	-35.2	-0.35	-5522	0.1	0	13.0	0.18

6.2.1 - Análise das assinaturas geoquímicas e as litologia

O resultado da análise dos agrupamentos para as amostras no período de chuva (Figura 6.29) mostrou nitidamente a individualização de duas áreas, uma com o ponto man-2 e outra com os demais pontos. O grande salto na formação do quarto grupo, composto pelo man-2, se deve as grandes discrepâncias apresentadas pelos elementos Fe e Al, já que este ponto é o único situado sobre as cangas. Os pontos man-3, man-4 e man-5 foram agrupados em um mesmo subgrupo pelo fato de conterem elevados valores de Fe e Mn. Os demais foram agrupados de acordo com a litologia, onde os pontos localizados sobre influência de litologias semelhantes, tiveram maior similaridade. No dendrograma da figura 6.30, o ponto cal -7 apresentou um grande salto na formação do seu grupo por apresentar valores extremamente altos de Mn.

Na tentativa de apresentar maiores similaridades entre as amostras, foram obtidos clusters, retirando as amostras com concentrações discrepantes, como apresentado nas figuras 6.31 e 6.32.

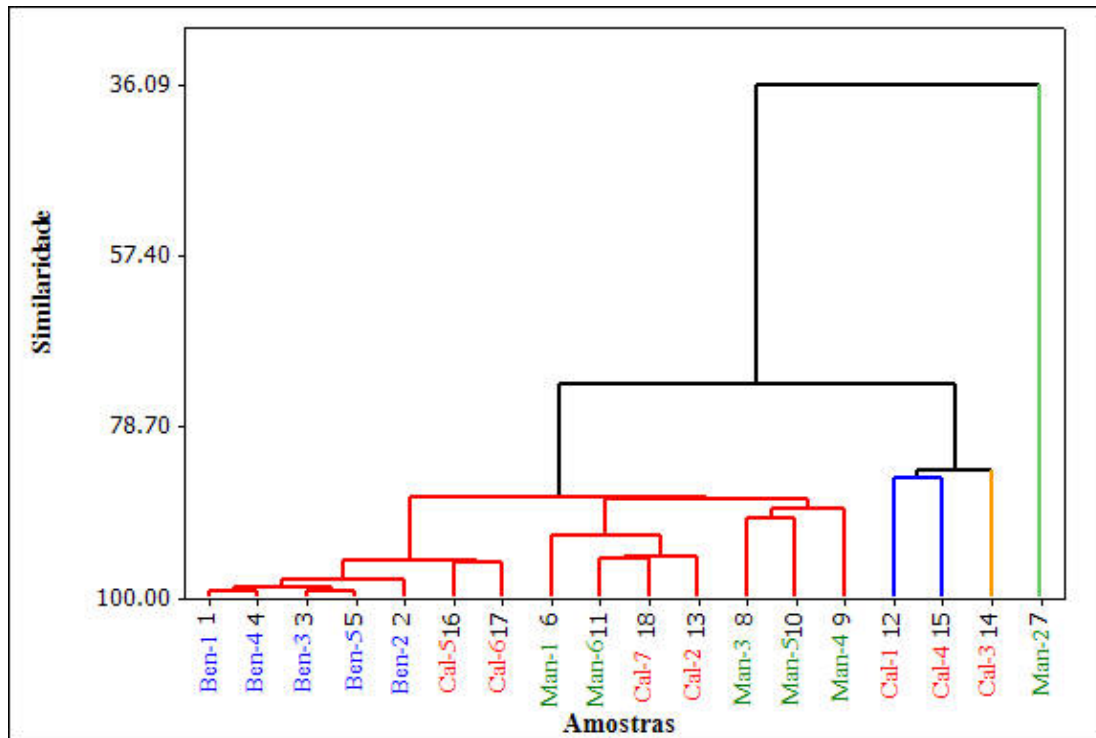


Figura 6.29 - Cluster amostras de água (período de chuva).

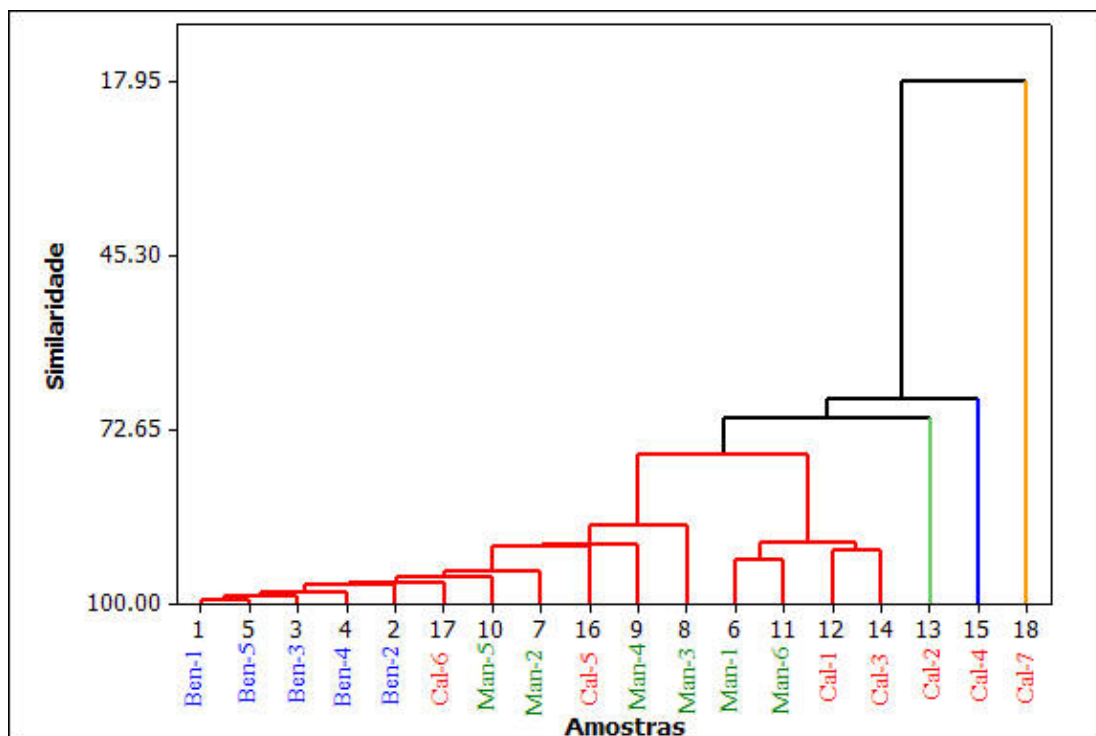


Figura 6.30 - Cluster amostras de água (período de seca).

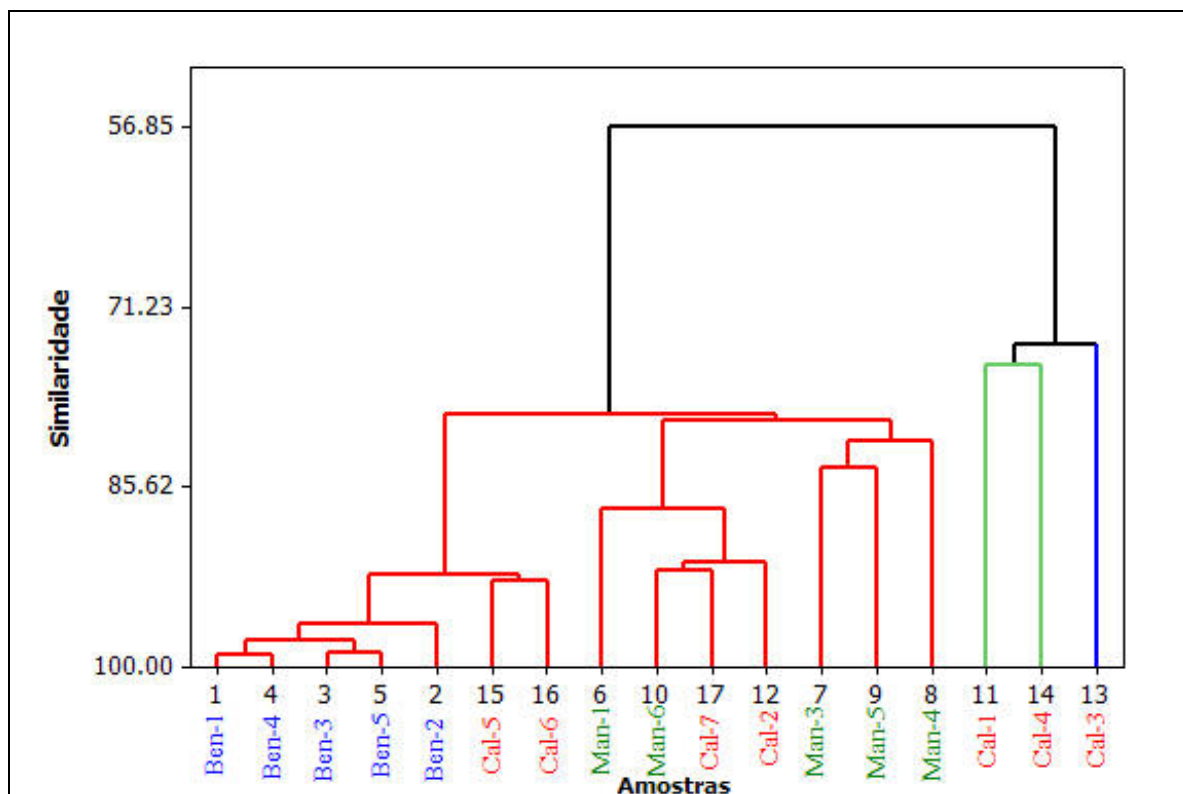


Figura 6.31 - Cluster amostras de água sem outliers (período de chuva).

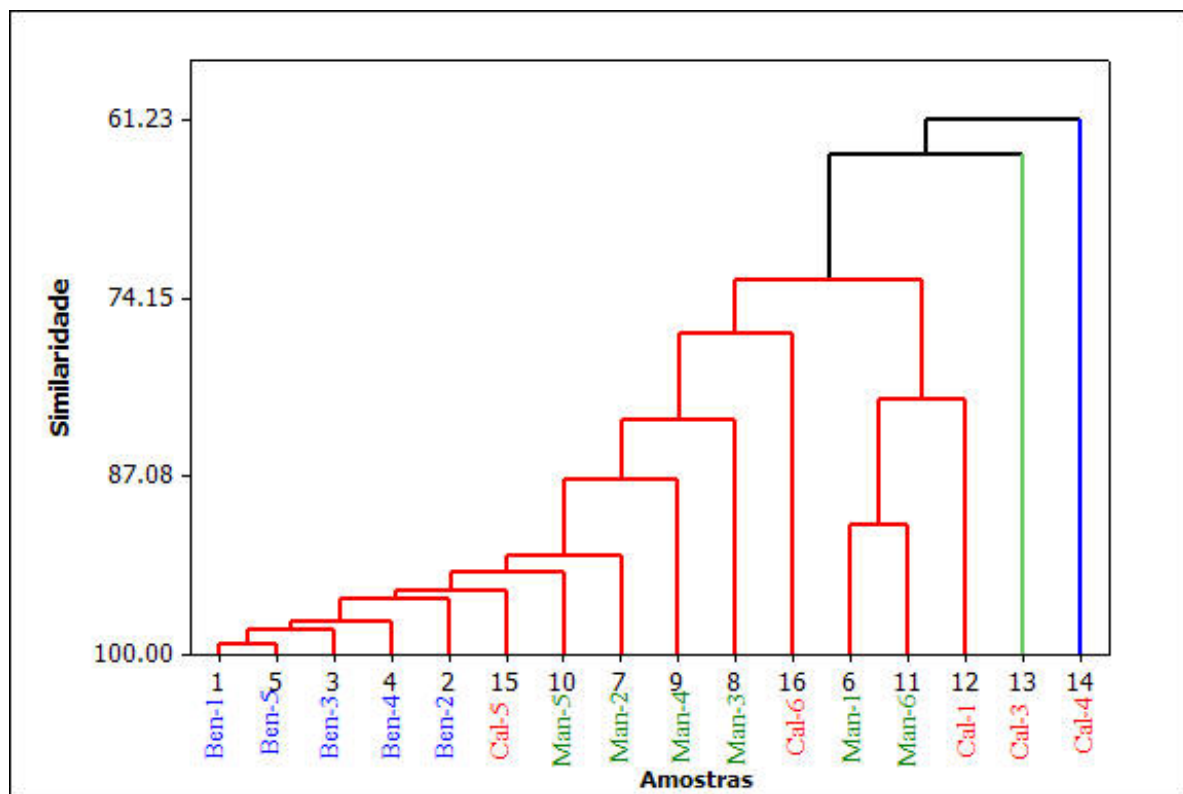


Figura 6.32 - Cluster amostras de água sem outliers (período de seca).

CAPÍTULO 7

CONCLUSÕES

Este estudo abordou aspectos relacionados à circulação das águas superficiais do Parque Estadual do Itacolomi através de uma caracterização hidrológica e hidrogeoquímica. Neste estudo, buscou-se avaliar a influência da geologia na assinatura química das águas superficiais da região e analisar o potencial hídrico das sub-bacias analisadas. Para tal, foram identificadas a geoquímica e a mineralogia dos diversos tipos de solos, foram medidas as vazões líquidas e os parâmetros físico-químicos em diversos pontos, e foi monitorada a geoquímica das águas. Também se buscou conhecer e explicar os processos cársticos sobre as rochas quartzíticas do Parque Estadual do Itacolomi, através da identificação da localização de dolinas e a relação destas com a geologia, topografia e declividade da área.

Com o conhecimento das peculiaridades das sub-bacias analisadas (Manso, Benedito e Calais) e dos processos hidrológicos e hidrogeoquímicos, foi possível estabelecer possíveis influências da geologia e da geomorfologia no potencial hídrico e nas características físico-químicas e geoquímicas destas sub-bacias. O termo “potencial hídrico” designado neste estudo refere-se ao potencial de produção de água da sub-bacia, ou seja, as taxas de fluxo de base.

Através da análise da geomorfologia e da rede de drenagem das sub-bacias, verificou-se que o padrão treliça é dominante na área e que a densidade de drenagem está fortemente relacionada com a declividade. Quanto às características estruturais da região, foi possível observar que as dolinas estão relacionadas principalmente com a baixa declividade e a alta densidade dos lineamentos, e se encontram, geralmente, a montante dos níveis de base.

Baseado na resolução CETESB (2005), pode-se concluir que os solos do Manso apresentam valores anômalos de As, Pb, Zn, Cd, Cr e Ni. Anomalias de Ba e Co foram verificadas em todas as amostras de solo e anomalias de Cr e Cd somente não foi encontrado nos solos do Calais. Os solos do Custódio e Belchior apresentaram concentrações anômalas de Pb, Ni e Zn. Nos solos do Benedito, Mainard e Calais foram verificadas concentrações anômalas de Zn.

A determinação dos elementos químicos e da granulometria nos solos permitiram concluir que a sub-bacia do rio Manso apresenta solos com um elevado percentual da fração silte. Os solos das regiões dos córregos Mainard, Belchior e Custódio são constituídos basicamente por silte e areia fina, e os da sub-bacia do rio Calais são os mais arenosos. Os menores valores dos elementos Na e Al foram encontrados na sub-bacia do rio Calais. Nos solos da sub-bacia do rio Manso foram encontradas

elevadas concentrações dos elementos Fe, Mn, As e Al, refletindo a geologia local composta por quartzitos ferruginosos, faixas de canga, xistos e filitos.

Através das análises dos dados hidrológicos e das características que influenciam o potencial hídrico, pode-se concluir que:

- A sub-bacia do rio Manso, situada nos grupos Sabará e Piracicaba, tende a apresentar maior potencial de produção de água.
- A sub-bacia do rio Calais, situada nos quartzitos inferiores e em xistos do Grupo Sabará, tende a grandes variações de vazões entre seus diversos trechos, e apresenta um potencial hídrico intermediário.
- A sub-bacia do rio Benedito, situada em xistos do Grupo Sabará e quartzitos superiores, tende a apresentar um menor potencial hídrico.
- Nas sub-bacias dos rios Calais e Benedito se concentram as dolinas e fraturas, o que indica que a drenagem das águas subterrâneas tende a ocorrer em um menor intervalo de tempo.

Em relação aos dados físico-químicos das sub-bacias analisadas, pode-se concluir que:

- Os valores de turbidez encontrados em todos os pontos amostrados são considerados baixos, sendo bem inferiores ao limite de 40 FTU estabelecido pela Resolução CONAMA 357/05 para águas da Classe 1. Alguns valores de turbidez encontrados foram relacionados à interferência antrópica, como no ponto cal-7. Em outros pontos, com possibilidade menor de interferência antrópica, os maiores valores de turbidez encontrados foram relacionados à declividade do terreno e aos picos de vazão.
- A condutividade elétrica variou negativamente com as vazões na maioria dos pontos, ou seja, apresentou declínio de seus valores na época chuvosa, refletindo a tendência de diluição acentuada da carga total dos íons dissolvidos no período de chuva.
- Com relação ao pH, os menores valores foram encontrados nas sub-bacias dos rios Benedito e Calais, e os maiores na do rio Manso.

Baseado na resolução CONAMA (2005) foi possível encontrar concentrações anômalas dos elementos Mn, Fe e Al na sub-bacia do rio Manso, de Mn e Fe na sub-bacia do rio Calais, e de Al na sub-bacia do rio Benedito. Estas elevadas concentrações têm como principais fontes o quartzito ferruginoso (no Grupo Sabará), os xistos e filitos do grupo Piracicaba, e também a presença de canga,

no caso da sub-bacia do rio Manso. As concentrações anômalas de alumínio, verificadas na sub-bacia do rio Benedito, pode ser atribuída aos quartzitos sericíticos.

Através dos dados obtidos, pode-se concluir que a composição química da água natural está de fato fortemente relacionada com o meio litológico no qual esta circula. A influência dos solos na hidroquímica das águas ficou evidente em algumas regiões, sendo bem caracterizada pelos resultados apresentados nos agrupamentos das amostras e na verificação de anomalias, a partir das quais se pode concluir que as anomalias apresentadas são decorrentes da litologia, já que há uma menor possibilidade de interferência antrópica. Também foram verificados indícios de que os processos hidrológicos exercem influência tanto na variação espacial quanto temporal da hidroquímica dos sistemas de drenagem do PEI.

Este estudo pode ser considerado como uma ferramenta de gestão, fiscalização e conservação do parque. Os dados físico-químicos e geoquímicos gerados podem ser utilizados para estudos posteriores, já que a área de estudo pode ser considerada relativamente livre de interferências antrópicas. Assim, as concentrações dos elementos desta área podem ser usadas como base para outras pesquisas na região, onde se encontram litologias semelhantes, indicando uma situação adequada da concentração destes elementos nas águas e nos solos. Além disso, este trabalho apresenta subsídios para um melhor entendimento da dinâmica dos fluxos hídricos da região, com avaliação de seu potencial hídrico e da importância do relevo e das características físicas e estruturais neste potencial.

Como extensão deste trabalho, sugere-se maiores esforços no sentido de contornar as dificuldades e limitações encontradas, como:

- Monitoramento hidrológico diário, visando interpretações minuciosas a respeito dos fluxos de base.
- Monitoramento hidrológico e hidroquímico contínuo, visando uma correlação mais precisa entre vazão, precipitação e concentração média dos elementos químicos.

Referências

- Agudo E.G.1987. *Guia de coleta e preservação de amostras de água*. São Paulo. 1 ed. CETESB, 150 p.
- APHA. 1992. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 18th edition. American Public Health association (APHA). American Water Works Association (AWWA) and Water Pollution Control Federation (WPCF), Washington, DC.
- Azevedo E.O., Sousa M.M., Ferreira R.L.S.1986. *Mapeamento litoestrutural do Grupo Itacolomi na região da fazenda da Alegria, Minas Gerais*. Departamento de Geologia, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, Trabalho Geológico, 30p.
- Bacellar L.A.P.2005.O papel das florestas no regime hidrológico de bacias hidrográficas. *Geo.br.*, **1**: 1-39.
- Beaucaire C & Michard G. 1982. Origin of dissolved minor elements (Li. Rb. Sr. Ba) in superficial waters in a granitic area. *Geochem. J.*, **16**: 247–258.
- Bosh J.M & Hewlett J.D.1982. A review of catchment experiments to determine the effect of vegetation changes on water yield and evapotranspiration. *Journal of Hydrology.*, **55**: 3 – 23.
- Brandão L.R & Gomes M.E.F. 2005. Técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto aplicadas na avaliação do potencial hidrogeológico da folha irauçuba. 1- 22. <http://proasne.net/indexport.html>
- Brindley G.W & Brown G.1984. *Cristal structures of clays minerals and their x-Ray indentification*. London. Ed. Mineralogical Society. 495p.
- Câmara G., Davis C., Monteiro A.M.V. 2001. *Introdução à ciência da geoinformação*. Disponível em: <http://mtc-m12.sid.inpe.br/rep/sid.inpe.br/sergio.html>. Acessado em 26 fev 2006.
- Castañeda C. 1993. *Caracterização Geológica e Geomorfológica do Parque Estadual de Itacolomi*. Projeto Itacolomi. Relatório de Projeto. Convênio IEF/UFOP/BIRD. 36 p.
- Castany G.1971. *Tratado Practico de las Aguas Subterraneas*. Barcelona. Ediciones Omega. 672p.
- CETESB (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental) 2005. DECISÃO DE DIRETORIA Nº 195-2005- E, de 23 de novembro de 2005. <http://www.cetesb.sp.gov.br>.
- Chorley R.J. 1980. The Hillslope Hydrological Cycle. In: Kirkby M.J. (Eds) *Hillslope Hydrology* 3ed. New York. John Wiley & sons, 1-42.
- Chow V. T. 1959. Open-channel hydraulics. Nova York, EUA. McGraw-Hill Book Company. Inc. 680 p.
- Christofolletti A. 1980. *Geomorfologia*. 2ª Edição. São Paulo. Editora Edgard Blücher Lda. 188 p.
- Coelho Netto A. L., Uagoda R. E. S., Avelar A. S. 2006. Depressões Fechadas em Relevo Cárstico-Quartzítico. Bacia do Ribeirão Santana. Médio Vale do Rio Paraíba do Sul. *Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ.*, **29** (2): 87-100.
- CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente) 2005. Resolução do CONAMA Nº 357 de 17 de março de 2005. <http://www.mma.gov.br>.
- Corrêa Neto A.V., Anísio L.C.C., Brandão C.P. 1993. Um endocarste quartzítico na Serra do Ibitipoca, SE de Minas Gerais. In: Simpósio de geologia de Minas Gerais., *Anais.* **7**: 83-86.
- Costa M.F. 2005. *Análise por métodos hidrológicos e hidroquímicos de fatores condicionantes do potencial hídrico de bacias hidrográficas – Estudo de casos no quadrilátero ferrífero (MG)*. Departamento de Geologia, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, Dissertação de Mestrado, 147 p.
- Costa M.H., Botta A., Cardille J.A. 2003. Effects of large-scale changes in land cover on the discharge of the Tocantins River, Southeastern Amazonia. *Journal of Hydrology.*, **283**: 206 – 217.
- Cruz V.L & Filho P.M. 2006. O Carste em quartzitos no Parque Estadual do Itacolomi, Sertão de Cima, Mariana, MG. *Espeleologia.*, **X**: 6-13.
- Custodio E & Llamas M. R. 1976. *Hidrologia Subterrânea*. Barcelona.Ediciones Omega S. A, vol2, 1157p.
- Davies B. E. 1974. Loss-on-ignition as an Estimate of Soil Organic Matter. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, **38**: 347-353.
- Derisio J.C.1992. *Introdução ao controle de poluição ambiental*. 1 ed. São Paulo. CETESB, 201 p.

- Doerr S.H. 1999. Karst-like landforms and hydrology in quartzites of the Venezuelan Guyana shield: Pseudokarst or 'real' karst?. *Zeitschrift für Geomorphologie.*, **43**: 1-17.
- Dorr J. V. N. 1969. Physiographic, Stratigraphic and Structural Development of Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. *U.S. Geological Survey Professional Paper.*, **641**(A): 110p.
- Dutra V. F., Messias M. C. T. B., Garcia F. C. P. 2006. Papilionoideae (Leguminosae) nos Campos Ferruginosos do Parque Estadual do Itacolomi, Minas Gerais, Brasil: florística e fenologia. *Revista Brasileira de Botânica.*, **28**(3): 493-504.
- Feitosa A.C & Manoel Filho J.1997. *Hidrogeologia: Conceitos e aplicações*. CPRM. LABHID-UFPE, 412p.
- Fernandes S. M., Aguilar J. Z. P., Costa J.C.V., Azevedo M. M., Oliveira R.I.C. 1988. *Estudo Integrado de Geologia, Geomorfologia e Solo do Parque Estadual do Itacolomi, MG*. Relatório FAPEMIG.
- Ferreira A. F. & Lazarin H. A. 1993. *Caracterização litoestrutural e geomorfológica da região do Pico do Itacolomi, Ouro Preto*. Departamento de Geologia, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, Monografia de Graduação, 54p.
- Fetter C.W. 1988. *Applied Hydrogeology*. 2.ed. Merril Publishing Company, University of Wisconsin, Oshkosh, 592p.
- Freitas M. A. V & Coimbra R. 1998. *Perspectivas da Hidrometeorologia no Brasil*. ANEEL, Brasília, CD- ROM.
- Fujaco M.A.G. 2007. *Influência dos diferentes tipos de substrato e geomorfologia na distribuição espacial e estrutura arquitetônica do gênero Eremanthus sp., no Parque Estadual do Itacolomi, Ouro Preto/MG*. Departamento de Geologia, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, Dissertação de Mestrado, 140p.
- Garbossa A.R. 2003. *O controle litoestrutural na organização espacial da Bacia do Rio Tagaçaba (Paraná): Uma análise morfométrica da rede de drenagem*. Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Dissertação Mestrado, 136p.
- Garcez N.L.1974. *Hidrologia*. São Paulo. Edgard Blucher Ltda. 249p.
- Geological Survey (U.S.). 1977. *National handbook of recommended methods for water-data acquisition*. Reston, Va, The Office, 147p.
- Glöeckner K.J.1981. *Lithostratigraphic, Sedimentologie, Tektonic und Metamoephose der Proterozoischem Itacolomi Serie bei Ouro Preto, Minas Gerais, Brasilien*. Diss, 10, Clausthal-Zelb, Alemanha, 221p.
- Gonçalves C.A.J. 2001. *Contribuição à hidrogeologia e à hidroquímica do Leste da Zona da Mata de Minas Gerais e do extremo Noroeste do estado do Rio de Janeiro*. Departamento de Geologia, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, Dissertação de Mestrado, 101 p.
- Guimarães D. 1931. Contribuição à geologia do estado de Minas Gerais. *Bol. Serv. Geol.Min.*, **55**: 1-36.
- Harder E.C & Chamberlin R.T. 1915. The geology of Central Minas Gerais, Brazil. *U.S. Geol.*, **23**(4): 341-378.
- Hem J.D.1985. *Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water*. USGS Water-Supply paper 2254, 263p.
- IEF. 2006. *Relatório parcial do meio físico*. Plano de manejo do Parque Estadual do Itacolomi, Ouro Preto, MG. DEGEO/UFOP.
- IGA 1995. *Desenvolvimento ambiental de Ouro Preto – microbacia do Riberirão do Funil*. Secretaria de Estado de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente de Minas Gerais/CETEC. 363p.
- Jennings J.N. 1983. Sandstone Pseudokarst or Karst? In: R.W. Young and G.C. Nanson (Editors). *Aspects of Australian Sandstone Landscapes*. Australian and New Zealand Geomorphology Group Spec. Publ., 1. Univ.Wollongong, Wollongong, 21-30.
- Krauskopf K.B.1956. Dissolution and precipitation of silica at low temperatures. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **10**: 1-26.
- Krauskopf. B. K. 1983. *Introduction to Geochemistry*. New York: McGraw- Hill. 617p.
- Lacey G.C. & Grayson R.B. 1998. Relating baseflow to catchment properties in south-eastern Australia. *Journal of Hydrology, AGU.*, **19**: 435-447.
- Ladeira E.A.1980. *Metallogenesis of gold at the Morro Velho Mine and in the Nova Lima District. Quadrilátero Ferrífero, MG, Brasil*. Universidade Ontário, Canadá, Tese de Doutorado, 272p.

- Lana C. E. 2004. *Cartografia integrada de ecossistemas lóticos (Fluviais) no alto curso do Rio das Velhas - MG*. Departamento de Geologia, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, Dissertação de Mestrado, 175p.
- Lasaga A.C.1984. Chemical kinetics of water–rock interaction. *J. Geophys. Res.*, **89**: 4009–4025.
- Lima M. I. C. de. et.al. 2002. Análise de Drenagem e seu Significado Geológico-Geomorfológico. Belém, CD-ROM.
- Lobato *et al.* 2004. Geologia do Quadrilátero Ferrífero – Integração e Correção Cartográfica em SIG. Belo Horizonte: Codemig. 1 CD-ROM.
- Mainguet M. 1972. *Le Modele des Gres*. Paris: Institut Geographique National, 657 p.
- Marshak S. & Alkmim F.F. 1989. Proterozoic extension/contraction of the souther São Francisco Craton, Minas Gerais, Brazil. *Tectonics.*, **8** (3):355 – 571.
- Mason B. 1966. *Principles of geochemistry*. 3. Ed. New York: Wiley. 350p.
- Messias M. C. T. B., Dias S. J. L., Roschel M. B., Souza H. C., Silva J. L., Matos A. V. M. 1997. *Levantamento florístico das matas e distribuição de algumas espécies endêmicas da região na área do Parque do Itacolomi*. UFOP/BIRD/IEFPROFLORESTA. Relatório Técnico, Ouro Preto, 151p.
- Moldan B & Cerný J. (Eds). 1994. *Biogeochemistry of Small Catchment: a tool for Environmental Research*. SCOPE (Scientific Committee on the Problems of the Environment) Publication 51. John-Wiley, India- Disponível em: <http://www.icsu-scope.org/downloadpubs/scope51/index.html>. Acessado em 26 set 2006.
- Moutte J. 1990. *Procedure for multiacid digestion of rocks and minerals Géochimie*. École des Mines de Saint Etienne, France. Disponível em: <http://www.emse.fr/moutte/enplasma/prepar>. Acessado em 12 jul 2006.
- NBR-7181/ABNT - Análise Granulométrica de Solos; D421-58 e D422-63/ASTM; T87-70 e T88-v70/AASHTO; MSL-05/CESP.
- Négrel P. 2006. Water–granite interaction: Clues from strontium, neodymium and rare earth elements in soil and waters. *Applied Geochemistry.*, **21**:1432–1454.
- Neves M.A. 2005. *Análise Integrada Aplicada à Exploração de Água Subterrânea na Bacia do Rio Jundiá (SP)*. Instituto de Geociências e Ciências Exatas, UNESP, São Paulo, Tese de Doutorado, 200p.
- Oliveira R.M. 1999. *Investigação da contaminação por metais pesados no sedimento de corrente e água do Parque Estadual do Itacolomi. Minas Gerais, e arredores*. Departamento de Geologia, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, Dissertação de Mestrado, 174 p.
- Salgado A.A.R. 2006. *Estudo da evolução do relevo do quadrilátero ferrífero. MG – Brasil, através da quantificação dos processos erosivos e denudacionais*. Departamento de geologia, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, Tese de Doutorado, 135p.
- Santos R.P & Lima S.A. 1991. *Análise estrutural de deformacional nos metassedimentos do Grupo Itacolomi na Serra do Trovão, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais*. Departamento de Geologia, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, Trabalho Geológico, 114 p.
- Silva F.A. 1989. Origem de cavidades em rochas quartzíticas do Grupo Itacolomi. Ouro Preto, Mariana, MG. In: *Anais do 20º Cong. Bras. De Espel.*, Brasília-DF.
- Silva S.M. 2004. *Carstificação em Rochas Siliciclásticas: Estudo de casona Serra do Ibitipoca. Minas Gerais*. Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Dissertação de Mestrado, 142p.
- Smakhtin V.U. 2001. Low flow hydrology: a review. *Jornal of Hydrology.*, **240**: 147-186.
- Soares C.P & Fiori P.A. 1976. Lógica e sistemática na análise e interpretação de fotografias aéreas em geologia. *Notícia Geomorfológica.*, **16**(32): 71-104.
- Sweeting M.M.1981. *Karst Geomorphology*. Hutchinson Ross Publishing Company, Stroudsburg, 427 p.
- Tempel R. N., Shevenell A., Lechler P., Price J. 2000. Geochemical modeling approach to predicting arsenic concentrations in a mine pit lake. *Applied Geochemistry.*, **15**:1- 475.
- Tessari O & Amorim L.Q. 1984. Evolução Sedimentar e Tectônica do Grupo Itacolomi na região de Passagem de Mariana. *Rev. Escola de Minas.*, **87**(4): 31-44.

- Varajão C.A.C. 1991. A questão da correlação das superfícies de erosão do quadrilátero ferrífero, Minas Gerais. *Rev. Bras. Geoc.*, **21**(2):138-145.
- Vasconcelos M.F., Oliveira A.M., Andrade A.M. 1993. *Anteprojeto do plano de implantação e manejo do Parque Estadual do Itacolomi. municípios de Mariana e Ouro Preto*. Instituto Estadual de Florestas, IEF, Belo Horizonte. 23p.
- Waltham T. 2006. Tiankengs of the world. outside China. *Speleogenesis and Evolution of Karst Aquifers.*, **4** (1): 1- 12. Disponível em : www.speleogenesis.info. Acessado em 23 jan 2008.
- White W D., Jefferson G. L., Haman J. F. 1966. Quartzite Karst in Southeastern Venezuela. *International Journal of Speleology.*, **2**: 309-314.
- Winter T.C., Harvey J.W., Franke O.L., Alley W.M. 1998. Ground Water and Surface Water- A single resource. *USGS Circular.*,**1139**: 1-79.
- Wray R.A.L. 1995. *Solutional Landforms in Quartz Sandstones of the Sydney Basin*. PhD Thesis, Univ. Wollongong, 381 pp.
- Zecharias Y.B & Brutsaert W. 1988. Recession characteristics of groundwater outflow and baseflow from mountainous watersheds. *Water Resour. Res.*, **24** (10):1651–1658.
- Ziegler A.D., Giambelluca T.W., Tran L.T; Vana T.T., Nullet M.A.; Fox J., Vien T.D., Pinthong J., Maxwell J.F., Evett S. 2004. Hydrological consequences of landscape fragmentation in mountainous northern Vietnam: evidence of accelerated overland flow generation. *Journal of Hydrology.*, **287**:124 – 146.

ANEXO I

ELEMENTOS MAIORES E MENORES NAS ÁGUAS

Concentração dos elementos maiores e menores nos pontos amostrados no período de chuva.

Amostra	Al µg/l	As µg/l	Ba µg/l	Ca µg/l	Cd µg/l	Co µg/l	Cr µg/l	Cu µg/l	Fe µg/l	K µg/l	Li µg/l
Ben - 1	97,0	<LQ	3,2	130	<LQ	15,2	<LQ	6,5	167,0	<LQ	<LQ
Ben - 2	167,0	<LQ	4,4	110	<LQ	13,5	<LQ	7,5	225,0	78	<LQ
Ben - 3	94,0	<LQ	3,1	130	<LQ	17,1	<LQ	6,4	126,0	58	<LQ
Ben - 4	111,0	<LQ	3,3	160	<LQ	17,8	<LQ	5,7	169,0	<LQ	<LQ
Ben - 5	82,0	<LQ	2,8	160	<LQ	18,1	<LQ	6,6	108,0	57	<LQ
Man - 1	29,0	<LQ	5,4	1390	<LQ	14,8	<LQ	5,6	478,0	109	<LQ
Man - 2	714	<LQ	5,7	310	<LQ	16,4	<LQ	9,0	4834	130	<LQ
Man - 3	110,0	<LQ	3,5	250	<LQ	13,3	<LQ	7,4	1090	149	<LQ
Man - 4	55,0	<LQ	8,0	790	<LQ	20,2	<LQ	8,3	1289	215	<LQ
Man - 5	<LQ	<LQ	10,5	510	<LQ	18,0	<LQ	6,4	657	167	<LQ
Man - 6	46,0	<LQ	5,7	1030	<LQ	19,8	<LQ	7,7	551	152	<LQ
Cal - 1	21,5	<LQ	6,1	2500	<LQ	11,5	<LQ	11,8	66,0	723	<LQ
Cal - 2	36,3	<LQ	6,3	1070	<LQ	16,8	<LQ	8,0	195,0	180	<LQ
Cal - 3	18,4	<LQ	5,4	2630	<LQ	<LQ	<LQ	11,4	573	204	<LQ
Cal - 4	23,9	<LQ	5,1	2880	<LQ	12,7	<LQ	10,56	28,0	684	<LQ
Cal - 5	69,8	<LQ	8,3	190	<LQ	14,2	<LQ	11,03	135,0	236	<LQ
Cal - 6	19,3	<LQ	5,3	120	<LQ	<LQ	<LQ	12,67	32,0	310	<LQ
Cal - 7	44,2	<LQ	11,0	1190	<LQ	13,64	<LQ	7,84	395,0	271	<LQ
LQ	7,5	85	0,5	0,1	8,0	15	10	2,5	6,0	0,085	0,75

Amostra	Mg µg/l	Mn µg/l	Mo µg/l	Na µg/l	Ni µg/l	Sc µg/l	Sr µg/l	Ti µg/l	V µg/l	Y µg/l	Zn µg/l
Ben - 1	<LQ	16,4	<LQ	157	<LQ	<LQ	1,32	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
Ben - 2	<LQ	12,3	<LQ	150	<LQ	<LQ	1,43	<LQ	<LQ	<LQ	7,27
Ben - 3	<LQ	11,5	<LQ	180	<LQ	<LQ	1,62	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
Ben - 4	<LQ	15,3	<LQ	173	<LQ	<LQ	1,53	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
Ben - 5	<LQ	11,8	<LQ	197	<LQ	<LQ	1,65	<LQ	<LQ	<LQ	7,96
Man - 1	954	48,0	<LQ	363	<LQ	<LQ	2,67	<LQ	<LQ	<LQ	8,42
Man - 2	536	119,0	<LQ	507	<LQ	0,431	1,70	<LQ	<LQ	<LQ	9,84
Man - 3	365	92,0	<LQ	417	<LQ	<LQ	1,72	<LQ	<LQ	<LQ	7,23
Man - 4	543	236,0	<LQ	494	<LQ	<LQ	4,58	<LQ	<LQ	<LQ	10,37
Man - 5	257	210,0	<LQ	284	<LQ	<LQ	3,82	<LQ	<LQ	<LQ	10,23
Man - 6	667	54,0	<LQ	352	<LQ	<LQ	2,45	<LQ	<LQ	<LQ	8,48
Cal - 1	1234	22,0	<LQ	1562	<LQ	<LQ	2,12	<LQ	<LQ	<LQ	5,65
Cal - 2	557	17,0	<LQ	259	<LQ	<LQ	2,28	<LQ	<LQ	<LQ	4,55
Cal - 3	1767	67,0	<LQ	611	<LQ	<LQ	2,32	<LQ	<LQ	<LQ	8,69
Cal - 4	1810	6,4	<LQ	1079	<LQ	0,438	2,48	<LQ	<LQ	<LQ	11,9
Cal - 5	<LQ	18,2	<LQ	382	<LQ	<LQ	1,36	<LQ	<LQ	<LQ	7,51
Cal - 6	<LQ	20,0	<LQ	565	<LQ	<LQ	0,74	<LQ	<LQ	<LQ	9,27
Cal - 7	606	668	<LQ	389	<LQ	0,468	3,97	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
LQ	0,05	2,0	20	0,05	20	0,4	0,5	5,0	10	5,0	5,0

Concentração dos elementos maiores e menores nos pontos amostrados no período de seca.

Amostra	Al µg/L	As µg/L	Ba µg/L	Be µg/L	Ca µg/L	Cd µg/L	Co µg/L	Cr µg/L	Cu µg/L	Fe µg/L	K µg/L
Ben - 1	12,6	<LQ	2,58	<LQ	240	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	24,9	140
Ben - 2	27,2	<LQ	2,46	<LQ	120	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	98,8	130
Ben - 3	15,9	<LQ	1,49	<LQ	230	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	37,3	70
Ben - 4	31,4	<LQ	3,78	<LQ	290	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	26,9	100
Ben - 5	20,7	<LQ	2,20	<LQ	270	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	35,4	120
Man - 1	<LQ	<LQ	3,61	<LQ	2320	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	155	80
Man - 2	26,6	<LQ	2,02	<LQ	270	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	143	170
Man - 3	12,3	<LQ	2,17	<LQ	230	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	1091	140
Man - 4	13,8	<LQ	9,51	<LQ	500	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	454	650
Man - 5	<LQ	<LQ	11,1	<LQ	310	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	224	290
Man - 6	<LQ	<LQ	4,80	<LQ	1930	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	132	140
Cal - 1	<LQ	<LQ	4,04	<LQ	3150	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	61	130
Cal - 2	<LQ	<LQ	11,9	<LQ	1980	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	2326	310
Cal - 3	<LQ	<LQ	4,04	<LQ	2950	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	92,3	360
Cal - 4	<LQ	<LQ	3,64	<LQ	5030	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	17,5	50
Cal - 5	23,5	<LQ	9,82	<LQ	900	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	27,7	130
Cal - 6	<LQ	<LQ	4,20	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	16,5	280
Cal - 7	<LQ	<LQ	46,2	<LQ	1540	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	382	90
LQ	7,5	85,0	0,5	4,0	0,08	8,0	15	10	2,5	6,0	0,050

Amostra	Li µg/L	Mg µg/L	Mn µg/L	Mo µg/L	Na µg/L	Ni µg/L	Sc µg/L	Sr µg/L	V µg/L	Y µg/L	Zn µg/L
Ben - 1	<LQ	300	<LQ	<LQ	320	<LQ	0,28	1,76	<LQ	<LQ	<LQ
Ben - 2	<LQ	130	8,57	<LQ	410	<LQ	0,26	1,17	<LQ	<LQ	<LQ
Ben - 3	0,68	350	2,57	<LQ	270	<LQ	0,30	1,60	<LQ	<LQ	<LQ
Ben - 4	<LQ	190	15,0	<LQ	310	<LQ	0,24	2,65	<LQ	<LQ	<LQ
Ben - 5	<LQ	310	5,78	<LQ	330	<LQ	0,35	1,96	<LQ	<LQ	<LQ
Man - 1	0,69	1730	18,4	<LQ	390	<LQ	0,16	2,47	<LQ	<LQ	<LQ
Man - 2	<LQ	600	17,6	<LQ	560	<LQ	0,33	1,37	<LQ	<LQ	<LQ
Man - 3	0,61	530	121	<LQ	450	<LQ	0,27	1,41	<LQ	<LQ	<LQ
Man - 4	<LQ	580	173	<LQ	820	<LQ	0,30	2,82	<LQ	<LQ	19,9
Man - 5	<LQ	290	194	<LQ	380	<LQ	0,23	2,82	<LQ	<LQ	<LQ
Man - 6	0,76	1410	65,1	<LQ	410	<LQ	0,33	2,95	<LQ	<LQ	<LQ
Cal - 1	<LQ	1920	13,7	<LQ	920	<LQ	0,30	4,32	<LQ	<LQ	<LQ
Cal - 2	0,66	870	239	<LQ	560	<LQ	0,34	7,35	<LQ	<LQ	<LQ
Cal - 3	2,46	1000	11,8	<LQ	550	<LQ	0,35	12,2	<LQ	<LQ	<LQ
Cal - 4	<LQ	2060	4,31	<LQ	340	<LQ	0,28	2,03	<LQ	<LQ	<LQ
Cal - 5	<LQ	3280	10,8	<LQ	300	<LQ	0,42	2,82	<LQ	<LQ	<LQ
Cal - 6	<LQ	<LQ	6,37	<LQ	340	<LQ	0,19	1,38	<LQ	<LQ	<LQ
Cal - 7	<LQ	<LQ	6190	<LQ	280	<LQ	0,25	0,52	<LQ	<LQ	<LQ
LQ	0,75	0,05	2,0	20	0,05	20	0,25	0,5	10	5,0	5,0

ANEXO II

ELEMENTOS MAIORES E MENORES NOS SOLOS

Variação das concentrações dos elementos maiores e menores nas diferentes profundidades dos solos amostrados.

Amostra	Al mg/kg	As mg/kg	Ba mg/kg	Ca mg/kg	Cd mg/kg	Co mg/kg	Cr mg/kg	Cu mg/kg	Fe mg/kg	K mg/kg	Li mg/kg	Mg mg/kg	Mn mg/kg
Cal-10	38308	<LQ	697	<LQ	<LQ	25,05	16,62	<LQ	6186	14575	11,34	612	30,85
Cal-20	40024	<LQ	699	42,38	<LQ	29,49	16,88	<LQ	6775	14683	11,44	624	18,66
Cal-30	39988	<LQ	726	16,15	<LQ	26,61	17,31	<LQ	6542	15691	11,41	652	12,51
Cal-40	52570	<LQ	879	49,04	<LQ	24,21	20,91	<LQ	13991	19207	9,34	734	17,63
Cal-50	55662	<LQ	932	32,92	<LQ	21,94	21,78	<LQ	11871	21002	12,75	790	16,10
Cal-60	57306	<LQ	989	221,5	<LQ	21,34	23,12	<LQ	9358	21803	21,00	831	11,99
Ben-10	53827	<LQ	295	<LQ	4,72	27,94	96,40	10,76	44860	8586	7,58	593	138,20
Ben-20	67528	<LQ	356	<LQ	5,39	38,84	113,1	14,11	52361	10255	9,38	694	158,90
Ben-30	64872	<LQ	349	<LQ	5,37	33,14	103,5	16,14	52049	9709	8,44	711	181,00
Ben-40	65703	<LQ	362	<LQ	4,94	39,20	107,4	13,69	48109	10912	9,04	788	142,10
Ben-50	60807	<LQ	354	<LQ	3,95	24,57	96,00	11,24	42155	10021	8,06	673	162,30
Ben-60	77208	<LQ	489	<LQ	3,30	24,15	120,3	12,88	41079	15063	8,20	793	117,60
Man-10	96704	184,1	385	194,0	43,35	42,18	380,0	12,87	241975	9625	5,16	792	1378
Man-20	93082	238,7	403	175,8	48,20	49,48	409,0	7,80	263338	8902	4,89	694	2234
Man-30	107870	200,6	421	194,7	37,57	46,06	388,6	26,96	216596	11785	5,94	876	2337
Man-40	121260	146,4	453	150,9	31,86	34,04	363,1	8,98	192081	15135	6,98	1062	1260
Man-50	123795	78,5	391	873,0	18,82	32,60	331,6	38,98	114487	13638	7,86	1080	582
Man-60	140064	46,5	514	<LQ	9,56	18,11	322,2	55,00	86540	19821	13,08	1383	349
Cd-10	92407	<LQ	331	<LQ	11,40	27,09	279,9	22,25	88942	11364	4,93	4411	396
Cd-20	95173	<LQ	333	<LQ	11,02	27,33	300,6	21,73	87888	11866	5,21	4461	342
Cd-30	104475	<LQ	319	<LQ	13,14	31,78	283,4	26,96	101243	12329	5,13	4185	431
Cd-40	99680	<LQ	315	<LQ	13,14	34,10	287,6	22,91	96205	11922	4,96	4102	387
Cd-50	95290	<LQ	347	<LQ	11,08	34,60	294,2	22,65	87444	12159	5,29	4656	340
Cd-60	90676	<LQ	361	<LQ	9,50	32,96	309,8	17,74	77210	12534	5,56	4694	275
Br-10	141576	<LQ	1140	65,7	4,40	22,29	193,6	33,57	59883	30266	15,28	1302	261
Br-20	161283	<LQ	1300	492,0	6,57	16,18	220,8	<LQ	58836	34821	14,87	1485	141
Br-30	343221	<LQ	2791	85,5	13,90	68,90	465,9	<LQ	159588	73182	<LQ	3501	1019
Br-40	141346	<LQ	1089	16,3	5,26	23,17	201,3	34,25	65429	28829	16,55	1387	322
Br-50	135505	<LQ	1042	<LQ	5,15	26,21	188,0	34,43	60030	26983	17,87	1424	492
Br-60	135773	<LQ	1090	<LQ	5,08	25,45	198,0	33,96	62284	28260	15,99	1424	340
Md-10	67834	<LQ	563	529,0	7,99	29,26	102,4	14,72	63270	18012	12,57	2177	1201
Md-20	67461	<LQ	541	615,0	8,49	26,69	104,5	14,41	66430	16889	12,92	2270	1149
Md-30	65647	<LQ	535	1363,0	9,54	29,08	122,3	<LQ	66630	15774	11,99	2359	951
Md-40	48269	<LQ	388	734,0	4,81	28,50	80,8	13,35	43011	10796	9,15	1987	692
Md-50	41340	<LQ	350	787,0	3,61	29,75	71,7	12,37	35572	9143	7,42	1901	532
Md-60	48355	<LQ	413	707,0	4,16	25,83	76,4	13,79	39158	11314	8,96	2098	600
LQ	13,7	5,0	0,06	4,6	0,8	15	0,9	0,5	6,7	52,7	0,11	0,17	0,26

Amostra	Na mg/kg	Ni mg/kg	Pb mg/kg	Sb mg/kg	Sc mg/kg	Sr mg/kg	Th mg/kg	Ti mg/kg	V mg/kg	Y mg/kg	Zn mg/kg	Zr mg/kg
Cal-10	<LQ	9,35	<LQ	19,13	1,97	32,94	6,65	1643	28,29	7,97	30,9	114,4
Cal-20	<LQ	9,15	<LQ	15,80	2,10	32,69	6,58	1603	29,52	8,66	16,1	125,9
Cal-30	<LQ	9,94	<LQ	15,34	2,07	35,08	6,65	1636	29,25	7,92	18,3	118,2
Cal-40	<LQ	9,38	<LQ	<LQ	2,23	41,33	9,15	1653	35,22	5,04	82	117,4
Cal-50	<LQ	10,44	<LQ	14,88	2,38	43,31	10,2	1897	37,39	7,56	12,6	135,6
Cal-60	<LQ	11,47	<LQ	<LQ	2,56	49,83	10,9	1852	35,03	4,82	571	121,5
Ben-10	1753	20,82	<LQ	<LQ	6,21	44,3	9,2	3167	106,0	3,15	438	75,9
Ben-20	2120	24,49	<LQ	<LQ	8,26	53,5	11,3	3225	113,7	4,14	19,7	89,3
Ben-30	2030	24,49	<LQ	<LQ	8,18	51,6	10,6	2933	103,9	3,81	15,8	70,9
Ben-40	2121	23,59	<LQ	<LQ	7,86	51,1	10,7	3343	112,0	3,92	18,5	89,8
Ben-50	2001	21,20	<LQ	<LQ	7,14	55,6	9,8	3048	104,4	3,84	50,3	83,4
Ben-60	2712	25,18	<LQ	<LQ	8,51	68,9	9,6	3401	115,2	4,15	25,9	82,2
Man-10	1460	94,50	53	<LQ	16,56	24,9	16,5	8059	288,3	14,53	352,6	200,1
Man-20	1284	120,5	94	<LQ	15,99	26,2	17,2	8217	295,5	11,42	339,7	184,9
Man-30	1516	106,9	103	<LQ	17,99	31,5	16,5	8789	297,9	15,23	384,4	212,0
Man-40	1910	96,90	48	<LQ	20,43	34,1	16,7	7743	294,4	15,57	291,8	213,9
Man-50	2257	150,1	46	<LQ	15,86	40,8	17,1	8962	291,3	10,64	47214	201,9
Man-60	3658	84,80	<LQ	<LQ	18,46	48,3	18,0	4975	267,3	15,83	88,3	202,7
Cd-10	810	57,80	46	<LQ	18,13	19,9	16,9	7542	221,1	11,17	18,4	196,1
Cd-20	841	58,30	42	<LQ	18,51	22,3	17,2	7292	219,1	10,82	93,9	180,3
Cd-30	816	60,90	49	<LQ	22,68	18,5	17,1	8689	253,1	10,72	33,0	181,4
Cd-40	813	57,70	58	<LQ	20,52	18,9	16,3	8335	236,5	12,59	75,1	181,2
Cd-50	910	60,30	39	<LQ	18,74	22,9	17,1	7224	216,6	9,31	79,6	180,9
Cd-60	922	59,20	29	<LQ	15,26	25,3	17,2	6568	195,9	11,67	51,8	195,4
Br-10	6438	66,60	<LQ	<LQ	13,89	124,7	15,3	5192	177,1	6,78	32,9	101,6
Br-20	8590	53,10	57	<LQ	18,94	163,7	21,2	6048	188,0	7,40	239,2	118,4
Br-30	14590	173,5	26	<LQ	32,64	299,3	38,0	13077	397,5	17,75	29,1	269,3
Br-40	5570	70,40	<LQ	<LQ	13,93	117,5	15,9	5200	187,0	8,80	53,0	128,4
Br-50	4900	73,00	<LQ	<LQ	11,98	103,0	14,2	4974	172,7	7,90	16,4	113,8
Br-60	5022	72,50	<LQ	<LQ	13,09	114,7	14,1	5031	174,8	8,49	27,2	126,1
Md-10	1457	46,41	<LQ	<LQ	6,98	45,1	12,5	4297	122,3	11,50	94,6	127,8
Md-20	1563	47,28	<LQ	<LQ	6,98	45,6	12,1	4442	127,8	12,24	74,8	133,7
Md-30	1696	52,70	<LQ	<LQ	9,57	48,0	14,1	4383	112,4	12,67	4125	153,3
Md-40	1406	39,08	<LQ	<LQ	5,25	36,3	9,1	3631	94,6	7,43	130,5	95,1
Md-50	1400	33,46	<LQ	<LQ	4,90	33,7	8,5	3535	84,5	8,18	133,5	112,3
Md-60	1528	35,38	9,0	<LQ	5,42	36,1	10,3	3898	97,2	9,99	61,7	127,6
LQ	3,2	2,5	6,4	4,6	0,04	0,03	1,89	0,57	1,7	0,1	0,4	0,44

ANEXO III

COMPOSIÇÃO MINERALÓGICA E PH DOS SOLOS

Composição mineralógica e pH dos solos das sub-bacias dos rios Manso, Benedito e Calais.

Amostra	Fluorescência de raio-x (%)	Composição mineralógica	pH
Man 10 cm	SiO ₂ (26,55), Al ₂ O ₃ (17,40), Fe ₂ O ₃ (35,40), MnO (0,25), MgO (0,47), CaO (0,23), K ₂ O (1,14), TiO ₂ (1,34), P ₂ O ₅ (0,24), PPC (15,63).	Quartzo, Muscovita, Goethita, Caulinita e Gibsita,	4,11
Man 20 cm	SiO ₂ (28,13), Al ₂ O ₃ (17,61), Fe ₂ O ₃ (38,66), MnO (0,32), MgO (0,44), CaO (0,24), K ₂ O (1,12), TiO ₂ (1,40), P ₂ O ₅ (0,28), PPC (12,38).	Quartzo, Muscovita, Goethita, Caulinita e Gibsita,	4,21
Man 30 cm	SiO ₂ (29,64), Al ₂ O ₃ (20,66), Fe ₂ O ₃ (32,11), MnO (0,35), MgO (0,49), CaO (0,24), K ₂ O (1,41), TiO ₂ (1,51), P ₂ O ₅ (0,23), PPC (13,87).	Quartzo, Muscovita, Goethita, Caulinita e Gibsita,	4,19
Man 40 cm	SiO ₂ (29,40), Al ₂ O ₃ (22,98), Fe ₂ O ₃ (29,28), MnO (0,21), MgO (0,53), CaO (0,23), K ₂ O (1,71), TiO ₂ (1,31), P ₂ O ₅ (0,23), PPC (14,26).	Quartzo, Muscovita, Goethita, Caulinita e Gibsita,	4,16
Man 50 cm	SiO ₂ (37,53), Al ₂ O ₃ (24,98), Fe ₂ O ₃ (16,97), MnO (0,11), MgO (0,57), CaO (0,22), K ₂ O (1,68), TiO ₂ (1,65), P ₂ O ₅ (0,12), PPC (15,83).	Quartzo, Muscovita, Goethita, Caulinita e Gibsita,	4,20
Man 60 cm	SiO ₂ (40,24), Al ₂ O ₃ (26,70), Fe ₂ O ₃ (12,80), MnO (0,09), MgO (0,63), CaO (0,22), K ₂ O (2,33), TiO ₂ (0,83), P ₂ O ₅ (0,12), PPC (15,49).	Muscovita, Goethita, Caulinita e Gibsita,	4,17
Ben 10 cm	SiO ₂ (71,83), Al ₂ O ₃ (11,01), Fe ₂ O ₃ (7,79), MnO (0,07), MgO (0,42), CaO (0,22), K ₂ O (1,33), TiO ₂ (0,54), P ₂ O ₅ (0,07), PPC (8,56).	Quartzo, Muscovita, Caulinita e Gibsita,	3,91
Ben 20 cm	SiO ₂ (68,24), Al ₂ O ₃ (13,45), Fe ₂ O ₃ (6,68), MnO (0,07), MgO (0,40), CaO (0,23), K ₂ O (1,14), TiO ₂ (0,52), P ₂ O ₅ (0,07), PPC (9,01).	Quartzo, Muscovita e Caulinita,	3,97
Ben 30 cm	SiO ₂ (64,73), Al ₂ O ₃ (12,79), Fe ₂ O ₃ (7,73), MnO (0,07), MgO (0,42), CaO (0,23), K ₂ O (1,28), TiO ₂ (0,51), P ₂ O ₅ (0,07), PPC (12,33).	Quartzo, Muscovita e Caulinita,	4,15
Ben 40 cm	SiO ₂ (69,90), Al ₂ O ₃ (11,83), Fe ₂ O ₃ (7,53), MnO (0,07), MgO (0,40), CaO (0,23), K ₂ O (1,33), TiO ₂ (0,57), P ₂ O ₅ (0,06), PPC (8,42).	Quartzo, Goethita, Caulinita e Gibsita,	4,06
Ben 50 cm	SiO ₂ (68,58), Al ₂ O ₃ (14,54), Fe ₂ O ₃ (6,25), MnO (0,07), MgO (0,44), CaO (0,22), K ₂ O (1,85), TiO ₂ (0,56), P ₂ O ₅ (0,06), PPC (8,11).	Quartzo, Muscovita, Caulinita e Gibsita,	4,10
Ben 60 cm	SiO ₂ (62,88), Al ₂ O ₃ (10,39), Fe ₂ O ₃ (5,37), MnO (0,07), MgO (0,36), CaO (0,25), K ₂ O (1,28), TiO ₂ (0,54), P ₂ O ₅ (0,06), PPC (19,01).	Quartzo, Muscovita, Caulinita e Goethita,	4,11
Cal 10 cm	SiO ₂ (86,11), Al ₂ O ₃ (8,12), Fe ₂ O ₃ (0,98), MnO (0,05), MgO (0,38), CaO (0,22), K ₂ O (1,92), TiO ₂ (0,23), P ₂ O ₅ (0,04), PPC (2,68).	Quartzo, Muscovita e Goethita,	3,78
Cal 20 cm	SiO ₂ (85,64), Al ₂ O ₃ (8,24), Fe ₂ O ₃ (0,95), MnO (0,06), MgO (0,36), CaO (0,21), K ₂ O (1,98), TiO ₂ (0,25), P ₂ O ₅ (0,04), PPC (2,86).	Quartzo e Muscovita,	3,79
Cal 30 cm	SiO ₂ (82,24), Al ₂ O ₃ (8,35), Fe ₂ O ₃ (0,93), MnO (0,06), MgO (0,39), CaO (0,21), K ₂ O (1,98), TiO ₂ (0,27), P ₂ O ₅ (0,04), PPC (2,87).	Quartzo, Muscovita e Goethita,	3,93
Cal 40 cm	SiO ₂ (81,52), Al ₂ O ₃ (9,89), Fe ₂ O ₃ (2,00), MnO (0,05), MgO (0,38), CaO (0,22), K ₂ O (2,43), TiO ₂ (0,31), P ₂ O ₅ (0,04), PPC (3,24).	Quartzo, Muscovita e Caulinita,	4,17
Cal 50 cm	SiO ₂ (80,75), Al ₂ O ₃ (11,11), Fe ₂ O ₃ (1,66), MnO (0,06), MgO (0,42), CaO (0,21), K ₂ O (2,63), TiO ₂ (0,33), P ₂ O ₅ (0,05), PPC (3,20).	Quartzo e Muscovita,	4,21
Cal 60 cm	SiO ₂ (80,49), Al ₂ O ₃ (11,65), Fe ₂ O ₃ (1,29), MnO (0,06), MgO (0,44), CaO (0,21), K ₂ O (2,75), TiO ₂ (0,34), P ₂ O ₅ (0,05), PPC (2,73).	Quartzo, Muscovita, Goethita e Caulinita,	4,26

Composição mineralógica e pH dos solos das regiões do Belchior, Custódio e Mainard.

Amostra	Fluorescência de raio-x (%)	Composição mineralógica	pH
Br 10 cm	SiO ₂ (41,87), Al ₂ O ₃ (25,89), Fe ₂ O ₃ (8,42), MnO (0,08), MgO (0,55), CaO (0,24), K ₂ O (3,63), TiO ₂ (0,83), P ₂ O ₅ (0,14), PPC (17,79).	Muscovita, Goethita, Caulinita e Gibsita,	3,91
Br 20 cm	SiO ₂ (44,99), Al ₂ O ₃ (30,01), Fe ₂ O ₃ (8,68), MnO (0,08), MgO (0,58), CaO (0,25), K ₂ O (4,27), TiO ₂ (0,99), P ₂ O ₅ (0,13), PPC (9,79).	Quartzo, Muscovita, Goethita, Caulinita e Gibsita,	3,97
Br 30 cm	SiO ₂ (47,83), Al ₂ O ₃ (25,52), Fe ₂ O ₃ (8,79), MnO (0,10), MgO (0,56), CaO (0,23), K ₂ O (3,62), TiO ₂ (0,87), P ₂ O ₅ (0,15), PPC (11,62).	Quartzo, Muscovita, Goethita, Caulinita e Gibsita,	4,15
Br 40 cm	SiO ₂ (45,69), Al ₂ O ₃ (26,17), Fe ₂ O ₃ (9,55), MnO (0,09), MgO (0,57), CaO (0,23), K ₂ O (3,44), TiO ₂ (0,85), P ₂ O ₅ (0,16), PPC (12,74).	Quartzo, Muscovita, Goethita, Caulinita e Gibsita,	4,06
Br 50 cm	SiO ₂ (45,75), Al ₂ O ₃ (25,95), Fe ₂ O ₃ (9,07), MnO (0,12), MgO (0,58), CaO (0,22), K ₂ O (3,51), TiO ₂ (0,84), P ₂ O ₅ (0,16), PPC (13,74).	Muscovita, Goethita, Caulinita e Gibsita,	4,10
Br 60 cm	SiO ₂ (44,88), Al ₂ O ₃ (26,85), Fe ₂ O ₃ (9,01), MnO (0,10), MgO (0,57), CaO (0,22), K ₂ O (3,52), TiO ₂ (0,84), P ₂ O ₅ (0,17), PPC (13,51).	Quartzo, Muscovita, Goethita, Caulinita e Gibsita,	4,11
Cd 10 cm	SiO ₂ (46,19), Al ₂ O ₃ (19,36), Fe ₂ O ₃ (13,80), MnO (0,10), MgO (1,18), CaO (0,22), K ₂ O (1,43), TiO ₂ (1,29), P ₂ O ₅ (0,14), PPC (16,64).	Muscovita, Goethita, Caulinita e Gibsita,	3,84
Cd 20 cm	SiO ₂ (49,02), Al ₂ O ₃ (18,60), Fe ₂ O ₃ (12,82), MnO (0,09), MgO (1,13), CaO (0,22), K ₂ O (1,43), TiO ₂ (1,24), P ₂ O ₅ (0,12), PPC (14,77).	Quartzo, Muscovita e Talco	3,87
Cd 30 cm	SiO ₂ (44,11), Al ₂ O ₃ (20,44), Fe ₂ O ₃ (15,16), MnO (0,10), MgO (1,10), CaO (0,21), K ₂ O (1,56), TiO ₂ (1,44), P ₂ O ₅ (0,15), PPC (14,80).	Quartzo, Muscovita, Goethita, Caulinita e Gibsita,	3,91
Cd 40 cm	SiO ₂ (44,39), Al ₂ O ₃ (19,86), Fe ₂ O ₃ (14,22), MnO (0,10), MgO (1,10), CaO (0,21), K ₂ O (1,47), TiO ₂ (1,37), P ₂ O ₅ (0,14), PPC (15,43).	Quartzo, Muscovita, Goethita, Caulinita e Gibsita,	3,97
Cd 50 cm	SiO ₂ (49,87), Al ₂ O ₃ (17,98), Fe ₂ O ₃ (12,45), MnO (0,09), MgO (1,12), CaO (0,22), K ₂ O (1,44), TiO ₂ (1,20), P ₂ O ₅ (0,11), PPC (15,28).	Quartzo, Muscovita, Goethita, Caulinita, Gibsita e Talco,	3,89
Cd 60 cm	SiO ₂ (52,35), Al ₂ O ₃ (17,39), Fe ₂ O ₃ (11,18), MnO (0,09), MgO (1,18), CaO (0,21), K ₂ O (1,41), TiO ₂ (1,03), P ₂ O ₅ (0,09), PPC (14,24).	Quartzo, Muscovita, Goethita, Caulinita, Gibsita e Talco,	3,85
Md 10 cm	SiO ₂ (63,28), Al ₂ O ₃ (13,56), Fe ₂ O ₃ (9,69), MnO (0,20), MgO (0,70), CaO (0,30), K ₂ O (2,24), TiO ₂ (0,73), P ₂ O ₅ (0,09), PPC (10,10).	Quartzo, Muscovita, Goethita, Caulinita e Gibsita,	4,28
Md 20 cm	SiO ₂ (63,88), Al ₂ O ₃ (13,67), Fe ₂ O ₃ (9,92), MnO (0,19), MgO (0,71), CaO (0,29), K ₂ O (2,25), TiO ₂ (0,76), P ₂ O ₅ (0,09), PPC (8,55).	Quartzo, Muscovita, Goethita, Caulinita e Gibsita,	4,14
Md 30 cm	SiO ₂ (67,92), Al ₂ O ₃ (12,53), Fe ₂ O ₃ (9,30), MnO (0,18), MgO (0,69), CaO (0,30), K ₂ O (1,94), TiO ₂ (0,73), P ₂ O ₅ (0,08), PPC (6,35).	Quartzo, Muscovita, Goethita, Caulinita e Gibsita,	4,11
Md 40 cm	SiO ₂ (76,97), Al ₂ O ₃ (9,70), Fe ₂ O ₃ (6,40), MnO (0,14), MgO (0,64), CaO (0,31), K ₂ O (1,35), TiO ₂ (0,63), P ₂ O ₅ (0,06), PPC (4,02).	Quartzo, Muscovita e Caulinita,	4,29
Md 50 cm	SiO ₂ (80,43), Al ₂ O ₃ (8,76), Fe ₂ O ₃ (5,42), MnO (0,12), MgO (0,64), CaO (0,32), K ₂ O (1,22), TiO ₂ (0,60), P ₂ O ₅ (0,05), PPC (3,39).	Quartzo, Muscovita, Goethita e Caulinita	4,35
Md 60 cm	SiO ₂ (77,81), Al ₂ O ₃ (9,67), Fe ₂ O ₃ (6,12), MnO (0,13), MgO (0,66), CaO (0,33), K ₂ O (1,48), TiO ₂ (0,67), P ₂ O ₅ (0,05), PPC (3,77).	Quartzo, Muscovita, Goethita, Caulinita e Gibsita,	4,36

ANEXO IV

VAZÕES E PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DAS ÁGUAS

Vazões e parâmetros físico-químicos dos trechos da sub-bacia do rio Benedito.

Meses	Pontos	Q (m ³ /s)	Qesp (m ³ /s/km ²)	pH	Cond (µs/cm)	STD (mg/L)	T °C	Meses	Pontos	Q (m ³ /s)	Qesp (m ³ /s/km ²)	pH	Cond (µs/cm)	STD (mg/L)	T °C
jul/01	Ben-1	0,0198	0,0048	4,5	4,1	2,74	15,8	nov	Ben-1	0,0988	0,0242	4,2	10,9	7,4	20,2
jul/01	Ben-2	7,0E ⁻⁰⁵	0,0001	4,3	3,5	2,30	17,9	nov	Ben-2	5,3E ⁻⁰⁵	0,0001	4,2	9,3	6,4	22,2
jul/01	Ben-3	0,0027	0,0036	4,7	4,2	2,77	16,4	nov	Ben-3	0,0189	0,0247	4,6	6,7	4,3	21,5
jul/01	Ben-4	0,0020	0,0008	4,1	4,4	2,80	17,6	nov	Ben-4	0,0855	0,0356	4,0	13,8	8,6	20,2
jul/01	Ben-5	0,0029	0,0008	4,2	4,1	2,63	17,1	nov	Ben-5	0,0885	0,0272	4,5	10,7	6,4	21,0
jul/02	Ben-1	0,0019	0,0004	4,2	4,5	2,93	13,8	dez	Ben-1	0,0446	0,0109	4,6	7,7	5,3	21,0
jul/02	Ben-2	5,9E ⁻⁰⁵	0,0001	4,5	4,0	2,60	16,9	dez	Ben-2	6,6E ⁻⁰⁵	0,0001	4,6	7,5	5,3	21,2
jul/02	Ben-3	0,0018	0,0023	4,6	4,9	2,96	14,9	dez	Ben-3	0,0095	0,0124	4,7	4,5	3,2	20,4
jul/02	Ben-4	0,0008	0,0003	4,2	4,6	2,95	17,4	dez	Ben-4	0,0312	0,0130	4,3	10,9	6,4	21,5
jul/02	Ben-5	0,0019	0,0006	4,4	4,1	2,65	16,8	dez	Ben-5	0,0435	0,0130	4,3	8,5	5,3	21,8
ago/01	Ben-1	0,0014	0,0003	4,6	4,7	3,50	17,1	jan	Ben-1	0,0594	0,0145	4,5	8,1	5,3	21,7
ago/01	Ben-2	6,3E ⁻⁰⁵	0,0001	4,3	7,8	5,30	17,5	jan	Ben-2	0,0001	0,0002	4,7	5,9	4,2	22,0
ago/01	Ben-3	0,0014	0,0019	4,7	25,2	17,2	17,3	jan	Ben-3	0,0255	0,0334	4,8	4,9	3,2	21,9
ago/01	Ben-4	0,0014	0,0006	4,3	12,3	7,00	17,7	jan	Ben-4	0,0324	0,0135	4,6	10,3	6,4	21,8
ago/01	Ben-5	0,0018	0,0005	4,4	4,9	3,23	17,7	jan	Ben-5	0,0525	0,0161	4,4	8,5	5,3	22,0
ago/02	Ben-1	0,0012	0,0003	4,5	4,9	3,90	17,0	mar	Ben-1	0,0068	0,0016	5,2	3,8	2,5	22,1
ago/02	Ben-2	5,9E ⁻⁰⁵	0,0001	4,1	8,5	5,40	16,9	mar	Ben-2	6,6E ⁻⁰⁵	0,0001	6,6	3,4	2,1	22,0
ago/02	Ben-3	0,0008	0,0011	4,7	32,5	19,5	16,3	mar	Ben-3	0,0021	0,0028	5,9	3,4	2,2	21,5
ago/02	Ben-4	0,0009	0,0003	4,1	13,5	7,80	17,2	mar	Ben-4	0,0068	0,0028	4,9	7,4	5,3	21,8
ago/02	Ben-5	0,0012	0,0003	4,0	4,7	3,45	17,0	mar	Ben-5	0,0068	0,0020	5,4	4	2,2	21,5
set/01	Ben-1	0,0010	0,0002	4,0	6,3	4,30	17,8	maio	Ben-1	0,0058	0,0014	5,6	4,8	3,1	16,0
set/01	Ben-2	6,7E ⁻⁰⁵	0,0001	4,4	4,2	2,50	17,0	maio	Ben-2	5,3E ⁻⁰⁵	0,0001	4,2	16,5	10,4	18,7
set/01	Ben-3	0,0006	0,0008	4,1	33,5	19,6	16,7	maio	Ben-3	0,0012	0,0016	6,2	28,7	18,3	17,8
set/01	Ben-4	0,0006	0,0002	4,0	14,2	8,00	18,2	maio	Ben-4	0,0054	0,0022	5,5	10,5	6,6	19,9
set/01	Ben-5	0,0010	0,0003	4,0	4,5	3,23	18,5	maio	Ben-5	0,0054	0,0016	6,1	4,7	3,0	17,9
set/02	Ben-1	0,0085	0,0020	4,0	23,6	10,0	18,2	jun/01	Ben-1	0,0049	0,0012	5,6	5,1	3,2	18,6
set/02	Ben-2	7,1E ⁻⁰⁵	0,0001	4,5	10,1	6,40	18,6	jun/01	Ben-2	2,0E ⁻⁰⁵	5,0E ⁻⁰⁵	5,4	7,2	4,5	18,5
set/02	Ben-3	0,0020	0,0027	4,8	12,6	7,50	18,1	jun/01	Ben-3	0,0011	0,0015	5,9	5,2	3,2	18,8
set/02	Ben-4	0,0084	0,0035	4,2	36,1	15,9	18,0	jun/01	Ben-4	0,0024	0,0010	5,0	5,9	3,6	18,2
set/02	Ben-5	0,0084	0,0025	4,0	30,1	12,9	19,0	jun/01	Ben-5	0,0014	0,0004	5,7	5,1	3,1	18,6

Vazões e parâmetros físico-químicos dos trechos da sub-bacia do rio Manso.

Meses	Pontos	Q (m ³ /s)	Qesp (m ³ /s/km ²)	pH	Cond (µs/cm)	STD (mg/L)	T °C	Meses	Pontos	Q (m ³ /s)	Qesp (m ³ /s/km ²)	pH	Cond (µs/cm)	STD (mg/L)	T °C
jul/01	Man-1	0,0058	0,0170	6,7	22,1	14,6	15,2	dez	Man-4	0,0528	0,0179	6,2	9,3	6,4	19,5
jul/01	Man-2	0,0024	0,0118	6,6	6,3	4,1	15,2	dez	Man-5	0,0211	0,0318	6,4	6,9	4,3	18,0
jul/01	Man-3	0,0002	0,0007	6,9	9,9	6,5	15,0	dez	Man-6	0,2187	0,0526	6,2	11,6	6,5	17,2
jul/01	Man-4	0,0149	0,0050	7,0	8,6	5,7	14,9	jan	Man-1	0,0170	0,0496	6,7	17,7	9,7	17,5
jul/01	Man-5	0,0046	0,0070	6,8	5,4	3,5	13,3	jan	Man-2	0,0146	0,0720	6,0	11,2	6,5	18,5
jul/01	Man-6	0,0199	0,0048	6,9	18,7	12,4	14,8	jan	Man-3	0,0010	0,0032	6,8	9,4	5,4	17,4
jul/02	Man-1	0,0045	0,0131	6,4	26,0	17,6	15,8	jan	Man-4	0,0599	0,0203	6,7	13,4	7,5	19,7
jul/02	Man-2	0,0022	0,0110	6,4	7,2	4,7	17,1	jan	Man-5	0,0382	0,0577	6,9	8,2	5,3	20,3
jul/02	Man-3	0,0001	0,0005	6,9	9,9	6,7	16,2	jan	Man-6	0,1075	0,0259	6,8	13,2	6,6	17,8
jul/02	Man-4	0,0117	0,0039	6,5	10,4	6,8	17,6	fev	Man-1	0,0128	0,0375	6,7	20,4	12,8	18,4
jul/02	Man-5	0,0036	0,0055	6,6	6,3	4,1	17,3	fev	Man-2	0,0105	0,0518	6,0	12,5	6,5	19,0
jul/02	Man-6	0,0194	0,0046	6,8	19,0	12,3	16,8	fev	Man-3	9,9E ⁻⁰⁵	0,0002	6,9	10,7	6,4	19,0
ago/01	Man-1	0,0042	0,0123	6,0	26,6	17,8	17,0	fev	Man-4	0,0299	0,0101	6,8	13,3	7,6	21,6
ago/01	Man-2	0,0022	0,0109	6,1	14,2	7,5	17,5	fev	Man-5	0,0088	0,0133	6,9	8,7	5,4	19,5
ago/01	Man-3	0,0001	0,0005	7,0	10,0	6,4	17,5	fev	Man-6	0,0762	0,0183	6,9	15,3	8,6	19,2
ago/01	Man-4	0,0100	0,0034	6,0	13,8	7,6	17,9	mar	Man-1	0,0100	0,0292	6,3	19,0	9,9	19,0
ago/01	Man-5	0,0032	0,0048	6,5	9,3	5,5	17,7	mar	Man-2	0,0080	0,0395	6,0	11,6	6,5	19,1
ago/01	Man-6	0,0189	0,0045	6,3	23,4	11,9	17,2	mar	Man-3	3,7E ⁻⁰⁵	0,0001	6,7	11,3	6,5	18,4
ago/02	Man-1	0,0039	0,0114	6,8	27,4	18,2	16,9	mar	Man-4	0,0181	0,0061	6,0	12,3	6,6	17,6
ago/02	Man-2	0,0021	0,0104	6,7	14,5	7,5	16,3	mar	Man-5	0,0042	0,0063	6,0	8,0	5,4	17,5
ago/02	Man-3	0,0001	0,0004	7,2	10,1	6,4	17,3	mar	Man-6	0,0463	0,0111	6,5	16,2	9,8	17,8
ago/02	Man-4	0,0074	0,0025	7,0	15,4	8,6	17,1	abr	Man-1	0,0091	0,0267	6,2	20,1	11,9	16,4
ago/02	Man-5	0,0030	0,0045	7,1	9,8	6,5	17,8	abr	Man-2	0,0076	0,0377	6,0	12,7	6,5	17,0
ago/02	Man-6	0,0184	0,0044	6,7	23,5	13,9	17,5	abr	Man-3	3,4E ⁻⁰⁵	0,0001	6,6	11,5	6,5	16,3
set/01	Man-1	0,0038	0,0113	7,2	27,6	18,5	18,0	abr	Man-4	0,0137	0,0046	6,1	12,5	6,6	17,0
set/01	Man-2	0,0015	0,0078	6,8	16,3	9,6	17,2	abr	Man-5	0,0034	0,0051	6,0	8,2	5,4	16,1
set/01	Man-3	9,0E ⁻⁰⁵	0,0002	7,1	10,9	6,5	17,9	abr	Man-6	0,0430	0,0103	6,8	16,5	9,8	16,0
set/01	Man-4	0,0065	0,0022	6,6	15,8	9,6	17,5	maio	Man-1	0,0078	0,0227	6,3	27,0	17,3	15,6
set/01	Man-5	0,0017	0,0026	6,1	10,2	5,0	16,9	maio	Man-2	0,0067	0,0330	5,7	13,8	7,5	15,5
set/01	Man-6	0,0101	0,0024	6,8	24,8	10,9	18,1	maio	Man-3	3,4E ⁻⁰⁵	0,0001	6,8	11,7	6,5	15,6
set/02	Man-1	0,0043	0,0126	6,9	27,0	11,9	18,5	maio	Man-4	0,0107	0,0036	5,8	13,5	7,6	17,0
set/02	Man-2	0,0050	0,0249	6,7	9,2	5,4	18,2	maio	Man-5	0,0060	0,0091	5,9	47,5	29,7	17,3
set/02	Man-3	0,0001	0,0003	7,3	10,6	6,4	18,6	maio	Man-6	0,0389	0,0093	6,7	16,8	9,8	16,0
set/02	Man-4	0,0135	0,0046	7,2	10,2	6,4	18,1	jun/01	Man-1	0,0060	0,0176	6,4	24,3	15,2	15,8
set/02	Man-5	0,0059	0,0090	6,9	8,5	5,3	18,0	jun/01	Man-2	0,0048	0,0236	5,8	20,3	6,3	15,2
set/02	Man-6	0,0259	0,0062	6,9	22,1	13,9	19,0	jun/01	Man-3	3,2E ⁻⁰⁵	9,7E ⁻⁰⁵	5,5	13,4	8,4	14,1
out	Man-1	0,0056	0,0164	6,6	25,5	10,9	18,2	jun/01	Man-4	0,0080	0,0027	5,9	15,6	7,3	14,6
out	Man-2	0,0040	0,0199	6,3	9,4	5,4	19,0	jun/01	Man-5	0,0046	0,0069	4,2	7,2	4,5	14,0
out	Man-3	0,0001	0,0003	7,0	10,2	6,4	19,0	jun/01	Man-6	0,0179	0,0043	5,5	42,8	23,3	14,3
out	Man-4	0,0114	0,0038	6,5	10,5	6,4	19,2	jun/02	Man-1	0,0058	0,0170	6,3	25,2	17,3	14,2
out	Man-5	0,0082	0,0124	6,7	7,8	5,3	19,0	jun/02	Man-2	0,0035	0,0172	5,7	23,5	17,3	14,2
out	Man-6	0,0290	0,0069	6,8	20,5	12,8	18,5	jun/02	Man-3	3,7E ⁻⁰⁵	0,0001	6,2	12,5	8,3	14,0
dez	Man-1	0,0206	0,0602	5,6	16,6	9,6	18,8	jun/02	Man-4	0,0064	0,0021	5,8	16,4	8,3	13,8
dez	Man-2	0,0293	0,1442	5,9	7,8	4,3	17,8	jun/02	Man-5	0,0043	0,0065	5,1	8,5	5,2	13,6
dez	Man-3	0,0022	0,0068	7,5	8,7	5,3	16,5	jun/02	Man-6	0,0160	0,0038	6,1	43,8	24,6	13,5

Vazões e parâmetros físico-químicos dos trechos da sub-bacia do rio Calais.

Meses	Pontos	Q (m ³ /s)	Qesp (m ³ /s/km ²)	pH	Cond	STD	T °C	Meses	Pontos	Q (m ³ /s)	Qesp (m ³ /s/km ²)	pH	Cond	STD	T °C
jul/01	Cal-1	0,0112	0,0121	6	60,3	39,4	16,1	nov	Cal-7	0,0054	0,0027	5,4	21,9	15,2	17,8
jul/01	Cal-2	0,0018	0,0009	6,3	19,0	12,3	15,7	dez	Cal-1	0,0147	0,0159	5,6	38,7	16,9	22,6
jul/01	Cal-3	0,0054	0,0110	7	28,2	17,5	17,0	dez	Cal-2	0,0164	0,0084	5,5	13,5	7,5	20,1
jul/01	Cal-4	0,0036	0,0043	6	48,8	31,9	18,6	dez	Cal-3	0,0265	0,0543	6,8	13,5	7,5	21,2
jul/01	Cal-5	0,0013	0,0123	5	3,9	2,6	14,7	dez	Cal-4	0,0087	0,0103	5,4	15,2	9,6	17,3
jul/01	Cal-6	0,0038	0,0156	6	2,63	1,6	15,2	dez	Cal-5	0,0093	0,0883	4,7	7,4	5,3	17,9
jul/01	Cal-7	0,0038	0,0019	5,4	22,1	14,5	16,0	dez	Cal-6	0,0138	0,0561	6,2	17,7	4,4	18,0
jul/02	Cal-1	0,0110	0,0119	6	32,9	21,3	19,2	dez	Cal-7	0,0072	0,0036	5,3	21,0	12,9	18,1
jul/02	Cal-2	0,0006	0,0003	6,3	20	13,1	17,0	fev	Cal-1	0,0181	0,0196	7,3	37,8	16,9	17,3
jul/02	Cal-3	0,0043	0,0088	7	29	18,7	16,9	fev	Cal-2	0,0242	0,0124	7,1	2,1	1,5	17,5
jul/02	Cal-4	0,0030	0,0035	6	49,4	32,3	18,5	fev	Cal-3	0,0081	0,0166	7,4	29,2	12,9	17,0
jul/02	Cal-5	0,0007	0,0072	5	4,5	2,9	15,7	fev	Cal-4	0,0058	0,0068	7	29,8	12,9	20,1
jul/02	Cal-6	0,0028	0,0113	6	2,7	1,7	15,0	fev	Cal-5	0,0034	0,0322	5,6	4,8	3,2	18,2
jul/02	Cal-7	0,0028	0,0014	5,4	24,9	16,5	15,3	fev	Cal-6	0,0078	0,0315	5,9	3,2	1,8	18,6
ago/01	Cal-1	0,0105	0,0114	6	48,8	20,9	17,3	fev	Cal-7	0,0202	0,0101	5,3	22,4	9,9	17,6
ago/01	Cal-2	0,0004	0,0002	6,6	27,2	10,8	17,6	mar	Cal-1	0,0158	0,0170	5,8	38	16,9	17,8
ago/01	Cal-3	0,0042	0,0086	7,2	31	12,8	17,0	mar	Cal-2	0,0219	0,0112	6	12,5	7,5	17,0
ago/01	Cal-4	0,0027	0,0032	6,9	39,8	18,9	17,8	mar	Cal-3	0,0095	0,0195	6,9	25,2	12,9	17,6
ago/01	Cal-5	0,0005	0,0048	5,4	5,8	3,5	17,2	mar	Cal-4	0,0022	0,0026	5,7	36,5	16,8	17,4
ago/01	Cal-6	0,0025	0,0101	5,5	3,1	1,8	17,2	mar	Cal-5	0,0029	0,0274	5,3	4,0	2,5	18,4
ago/01	Cal-7	0,0023	0,0011	5,2	26,2	16,5	16,9	mar	Cal-6	0,0096	0,0390	6	2,6	1,8	18,0
ago/02	Cal-1	0,0105	0,0114	6	52,5	21,9	16,3	mar	Cal-7	0,0186	0,0092	5,3	17,2	9,7	18,0
ago/02	Cal-2	0,0004	0,0002	6,3	27	10,8	17,3	abr	Cal-1	0,0150	0,0162	6	38,2	16,8	17,5
ago/02	Cal-3	0,0034	0,0069	7	34,2	13,7	17,1	abr	Cal-2	0,0197	0,0101	6,6	12,8	7,5	17,0
ago/02	Cal-4	0,0026	0,0031	6	37,5	18,9	17,0	abr	Cal-3	0,0094	0,0193	7,2	24,8	12,7	17,0
ago/02	Cal-5	0,0004	0,0041	5	6,2	4,4	17,9	abr	Cal-4	0,0025	0,003	6,9	40	18,9	17,5
ago/02	Cal-6	0,0024	0,0098	6	3,2	1,9	18,0	abr	Cal-5	0,0027	0,0257	5,4	4,2	2,7	17,4
ago/02	Cal-7	0,0021	0,0010	5,4	28,5	16,4	17,0	abr	Cal-6	0,0054	0,0221	5,5	2,6	1,7	16,1
set/01	Cal-1	0,0104	0,0113	6	53	21,9	20,1	abr	Cal-7	0,0170	0,0084	5,2	17,8	11,7	16,0
set/01	Cal-2	4,9E ⁻⁰⁵	2,5E ⁻⁰⁵	6,6	28,5	11,9	18,5	maio	Cal-1	0,0136	0,0147	5,6	52,1	21,8	16,3
set/01	Cal-3	0,0033	0,0067	7,2	29,8	12,9	18,0	maio	Cal-2	0,0179	0,0092	5,4	15,8	9,6	16,0
set/01	Cal-4	0,0011	0,0014	6,9	54,2	22,9	18,1	maio	Cal-3	0,0091	0,0186	6,9	29,9	19,3	15,3
set/01	Cal-5	0,0004	0,0039	5,4	6,5	3,4	16,8	maio	Cal-4	0,0021	0,0025	5,7	53,5	22,9	17,3
set/01	Cal-6	0,0019	0,0078	5,5	3,2	1,5	17,3	maio	Cal-5	0,0017	0,0162	5,2	4,8	3,2	17,0
set/01	Cal-7	0,0026	0,0012	5,2	25,4	16,6	17,7	maio	Cal-6	0,0085	0,0346	5,0	20,1	13,8	16,6
set/02	Cal-1	0,0104	0,0113	5,2	30,1	12,9	17,0	maio	Cal-7	0,0085	0,0042	5,0	20,1	13,8	16,8
set/02	Cal-2	0,0001	6,6E ⁻⁰⁵	5,1	28,1	11,9	17,9	jun/01	Cal-1	0,0115	0,0124	5,3	39,9	25,3	17,6
set/02	Cal-3	0,0036	0,0074	5,3	32,3	13,8	16,2	jun/01	Cal-2	0,0099	0,0051	5,9	38,1	24,1	17,0
set/02	Cal-4	0,0020	0,0024	5,6	53,8	22,9	19,4	jun/01	Cal-3	0,0081	0,0165	6,1	28,7	18,0	15,4
set/02	Cal-5	0,0008	0,0083	4,9	4,6	2,6	18,0	jun/01	Cal-4	0,0024	0,0028	6,0	51,4	32,2	19,0
set/02	Cal-6	0,0009	0,0039	5,0	3,3	1,8	18,3	jun/01	Cal-5	0,0013	0,0127	5,3	5,2	3,5	15,4
set/02	Cal-7	0,0010	0,0005	4,8	39,7	16,9	18,5	jun/01	Cal-6	0,0033	0,0136	4,8	7,19	4,5	14,6
out	Cal-1	0,0117	0,0126	5,9	48,6	29,8	18,0	jun/01	Cal-7	0,0120	0,0060	5,6	20,5	8,3	14,9
out	Cal-2	0,0027	0,0014	5,8	26,3	19,7	17,8	jun/02	Cal-1	0,0113	0,0122	5,7	42,3	26,4	14,8
out	Cal-3	0,0047	0,0098	7,3	30,1	12,8	17,5	jun/02	Cal-2	0,0071	0,0036	6,2	39,7	26,3	15,2
out	Cal-4	0,0024	0,0029	6,8	53,3	22,7	18,2	jun/02	Cal-3	0,0073	0,0149	6,5	29,9	19,6	14,1
out	Cal-5	0,0023	0,0222	5,1	6,5	4,3	17,3	jun/02	Cal-4	0,0020	0,0023	5,8	52,3	34,7	13,8
out	Cal-6	0,0035	0,0143	5,7	3,6	1,8	17,8	jun/02	Cal-5	0,0013	0,0124	5,6	6,4	3,9	13,9
out	Cal-7	0,0032	0,0016	5,5	32,5	12,8	18,2	jun/02	Cal-6	0,0031	0,0128	5,2	8,73	5,1	13,8
nov	Cal-1	0,0140	0,0152	5,8	47	29,7	17,9	jun/02	Cal-7	0,0087	0,0043	5,7	21,3	9,5	14,0
nov	Cal-2	0,0153	0,0078	5,9	16,4	9,6	18,0								

Ficha de Aprovação

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

TÍTULO: Caracterização hidrológica e hidrogeoquímica do Parque Estadual do Itacolomi- Ouro Preto/MG.

AUTORA: Larice Nogueira de Andrade

ORIENTADOR: Mariangela Garcia Praça Leite

CO-ORIENTADOR: Luís de Almeida Prado Bacellar

Aprovada em: 04/11/2008

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Paulo de Tarso Amorim Castro - DEGEO/UFOP

Profa. Dra. Mariangela Garcia Praça Leite - DEGEO/UFOP

Prof. Dr. Adolf Heinrich Horn - IGC/UFMG

Ouro Preto, 04/11/2008.