UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIENCIAS

ÁREA: GEOLOGIA E RECURSOS NATURAIS

HEBER LUIZ CAPONI ALBERTI

Caracterização fisiográfica e avaliação hidrológica na bacia do Ribeirão das Antas, Planalto de Poços de Caldas, MG.

Dissertação apresentada ao Instituto de Geociências como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Geociências.

Orientadora: Dra. Sueli Yoshinaga Pereira

CAMPINAS – SÃO PAULO

Julho – 2008

© by Heber Luiz Caponi Alberti, 2008

UNIDADE BC
Nº CHAMADA:
T/UNICAMP AL14c
V. EX.
TOMBO BCCL 418979
PROC 16P-129-08
C D X
PREÇO 11,00
DATA 26-10-08
BIB-ID 446684

Catalogação na Publicação elaborada pela Biblioteca do Instituto de Geociências/UNICAMP

Alberti, Heber Luiz Caponi.
AL14c Caracterização fisiográfica e avaliação hidrológica na bacia do Ribeirão das Antas, Planalto de Poços de Caldas, MG / Heber Luiz Caponi Alberti-- Campinas,SP.: [s.n.], 2008.

Orientador: Sueli Yoshinaga Pereira.
Dissertação (mestrado) Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Geociências.

1. Bacia hidrográfica – Poços de Caldas (MG). 2. Recursos hídricos. 3. Desenvolvimento sustentável. I. Pereira, Sueli Yoshinaga. II. Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Geociências. III. Título.

Título em ingles: Physiographic Characterization of the Antas River Hydrographic Basin, Poços de Caldas Plateau, MG
.Keywords: - Hydrographic basin;
- Water resources;
- Sustainable development.;
Área de concentração: Geologia e Recursos Naturais
Titulação: Mestre em Geociências.
Banca examinadora: - Sueli Yoshinaga Pereira;
- Lindon Fonseca Matias;
- José Eloi Guimarães Campos.
Data da defesa 09/06/2008
Programa de Pós-graduação em Geociências.

UNICAMP

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS

ÁREA DE GEOLOGIA E RECURSOS NATURAIS

AUTOR: HEBER LUIZ CAPONI ALBERTI

Caracterização fisiográfica e avaliação hidrológica na bacia do Ribeirão das Antas, Planalto de Poços de Caldas, MG.

ORIENTADORA: Profa. Dra. Sueli Yoshinaga Pereira

Aprovada em 09/06/2008

EXAMINADORES:

Profa. Dra. Sueli Yoshinaga Pereira - Presidente

Prof. Dr. Lindon Fonseca Matias

Prof. Dr. José Elói Guimarães Campos

Campinas, 09 de junho de 2008

200824359

AGRADECIMENTOS

A mãe natureza por tão pelas paisagens e a Deus pela chance de viver e aprender.

A minha família pela motivação e apoio constante.

A professora Sueli, minha orientadora, por ter acreditado em minhas idéias e por ter sido sempre um manancial de informação.

Ao Instituto de Geociências e todos seus mestres e doutores por terem sido sempre uma referência neste trabalho e a CAPES pelo suporte. Aos profissionais da secretaria de Pós-graduação Valdirene e Edinalva por toda atenção.

A querida Ângela pelo permanente apoio.

Aos amigos que sempre apoiaram e ajudaram a fomentar essa dissertação: Fabiana, Marcel e Renata.

Aos profissionais de Poços de Caldas, Rodopiano (Dmae), Adriano (Dme) Mizael (Secretaria de Planejamento) e Leonel (Emater), personagens fundamentais na gestão e conservação municipal.

Aos amigos Marinho e Luqueta pelo abrigo e por muito tempo terem sido minha família em Campinas.

Aos amigos e irmãos de Poços de Caldas que sempre me deram força.

"A experiência mais bela que podemos viver é o mistério; ele é a fonte de toda a verdadeira arte e de toda verdadeira ciência. Quem não conhece esta emoção, quem já não possui o dom de se maravilhar, mais valia que estivesse morto, pois os seus olhos estão fechados."

Albert Einstein

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIENCIAS
ÁREA: GEOLOGIA E RECURSOS NATURAIS

Caracterização fisiográfica e avaliação hidrológica na bacia do Ribeirão das Antas, Planalto de Poços de Caldas, MG.

APRESENTAÇÃO DO TRABALHO

Dissertação de Mestrado

Um novo paradigma emergente no final da década de 1960, cada vez mais orienta os planos de desenvolvimento e atuação mundial: o "Desenvolvimento Sustentável", definido pela Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, também conhecida como Comissão Brundtland, como aquele "que atende as necessidades do presente sem comprometer a possibilidade das gerações futuras de atenderem a suas próprias necessidades" (COMISSÃO, 1991)[1].

De acordo com esse consenso mundial sobre o desenvolvimento sustentável, a idéia central deste trabalho foi desenvolvida sob a concepção de um modelo de desenvolvimento econômico e preservação dos recursos hídricos na bacia do Ribeirão das Antas, situada no Planalto de Poços de Caldas. A região é uma importante província mineral do Sudeste brasileiro, que se destaca pela diversidade e quantidade de bens minerais de valor econômico. O município de Poços de Caldas, inserido na bacia hidrográfica do Ribeirão das Antas, possui IDH de 0,83, sendo considerado o sexto município mais desenvolvido do Estado de Minas Gerais.

O elevado crescimento urbano, a ocupação e o desenvolvimento econômico ocorrido no município de Poços de Caldas se tornaram de certa forma um aspecto preocupante em relação à conservação dos recursos hídricos. Até recentemente, muitas

cidades não possuíam respaldo técnico e legal para se desenvolverem de maneira ambientalmente sustentável, e cresciam modificando de forma inadequada o meio ambiente, orientadas por uma ótica econômica de curto prazo, no qual se negligencia a minimização dos impactos ambientais.

A exploração dos recursos naturais, alicerces do desenvolvimento econômico, traz consigo conseqüências inevitáveis ao meio ambiente. Alguns desses impactos ambientais podem ter influência direta na qualidade dos recursos hídricos. O manejo inadequado dos recursos naturais e o baixo grau de controle das fontes de poluição estão relacionados diretamente com a disponibilidade da quantidade e qualidade da água nos córregos, nascentes e mananciais.

Segundo BRAGA (2003)[2] a gestão dos recursos hídricos pode ser definida como a forma pela qual se busca equacionar e resolver as questões quantitativas e qualitativas da água, função que exige profundo conhecimento da hidrologia regional e as características do meio físico.

Sendo assim a gestão dos recursos hídricos tornou-se uma ferramenta indispensável na busca do desenvolvimento sustentável, considerando a água um elemento fundamental na gestão urbana e regional, tendo em vista sua potencialidade de induzir ou dificultar o desenvolvimento econômico e social. É necessário que os modelos de gestão dos recursos hídricos sejam desenvolvidos e embasados em informações científicas sobre as características do meio físico e sua relação com as atividades econômicas locais.

Para tanto, essa dissertação tem como objetivos:

---

[1]COMISSÃO, 1991. COMISSÃO MUNDIAL SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO **Nosso Futuro Comum**. Rio de Janeiro, Editora da Fundação Getúlio Vargas, 2ª Ed.

[2]BRAGA, R. (organizador, 2003). Recursos hídricos e planejamento urbano e regional. Rio Claro-UNESP.

OBJETIVOS

Principal

O objetivo principal deste trabalho é levantar informações técnicas sobre o meio físico e realizar com base nos conceitos e definições de parâmetros que compõe o ciclo hidrológico da bacia hidrográfica do Ribeirão das Antas, consequentemente avaliar a disponibilidade hídrica superficial e o uso múltiplo deste recurso.

Específicos

1. Elaboração de uma base cartográfica, através de uma revisão bibliográfica e mapas temáticos sobre o meio físico (geologia, fraturamento, hidrografia, declividade, clinográfico e solos) em ambiente SIG.
2. Mapeamento dos usos das terras desenvolvido a partir da interpretação e classificação das imagens geradas pelo satélite Landsat 7 ETM^+, referente ao período de outubro de 2000.
3. Elaboração de um banco de dados georreferenciado com informações hidrológicas (pluviômetros, fluviômetro e qualidade de água).
4. Análise dos componentes hidrológicos na bacia do Ribeirão das Antas.
    - Precipitação
    - Evapotranspiração
    - Deflúvio
5. Análise qualitativa dos recursos hídricos na Bacia do Ribeirão das Antas.
    - Oxigênio dissolvido
    - Demanda Bioquímica de oxigênio
    - Coliformes fecais
    - Temperatura
    - Alumínio
    - Fosfato
    - Nitrato
6. Determinar através de métodos estatísticos as vazões mínimas ($Q_{7,10}$ e Q_{90}) e confrontá-las com as vazões já outorgas (oferta X demanda).
7. Análise crítica e sugestões de medidas que promovam o desenvolvimento sustentável dentro dos aspectos legais.

MÉTODO

O regime hidrológico ou a produção de água de uma região (bacia hidrográfica) é determinado por fatores de natureza climática ou hidrometeorológica (precipitação, evaporação, temperatura, umidade do ar, vento, etc.) e por suas características físicas, geológicas e topográficas. Temperatura, umidade e vento são importantes pela influência que exercem na precipitação e evaporação. A topografia é importante pela sua influência na precipitação, além do que determina a ocorrência de lagos e pântanos e influi (juntamente com o solo e a vegetação) na definição da velocidade do escoamento superficial. As características geológicas, além de influenciarem a topografia, definem o local do armazenamento (superficial ou subterrâneo) da água proveniente da precipitação (BARBOSA, 2002)[1].

Neste sentido, a **Hidrologia Aplicada** aliada ao **Geoprocessamento** serão ferramentas essenciais, fornecendo um maior detalhamento dos problemas e processos que condicionam a dinâmica hidrológica local e conseqüentemente o desenvolvimento e qualidade da vida. Imagens geradas por sensores remotos, mapas temáticos, dados hidrológicos e hidrogeológicos, análise de qualidade da água e cadastro das indústrias serão incorporados em ambiente SIG.

Os Sistemas de Informações Geográficas – SIG representam uma ferramenta útil e valiosa em análises espaciais e de apoio ao processo de tomada de decisão referente ao planejamento regional e gerenciamento de recursos ambientais, permitindo a análise integrada de informações espaciais.

Portanto, neste trabalho será realizada uma investigação nos parâmetros hidrológicos locais. O meio físico representa o cenário onde todo ciclo hidrológico ocorre. Determinas variações nos parâmetros naturais dos componentes hidrológicos local nos fornecer uma evidência de que esteja ocorrendo uma degradação ambiental nos recursos hídricos. O uso e ocupação das terras e demais atividades econômicas funcionam como agentes indutores de possíveis alterações no balanço hídrico e na qualidade das águas. A figura 01 representa o fluxograma metodológico e a descrição dos procedimentos adotados durante essa pesquisa.

[1]BARBOSA JR., A. R. (2002). Hidrologia aplicada. Apostila de curso. Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto.

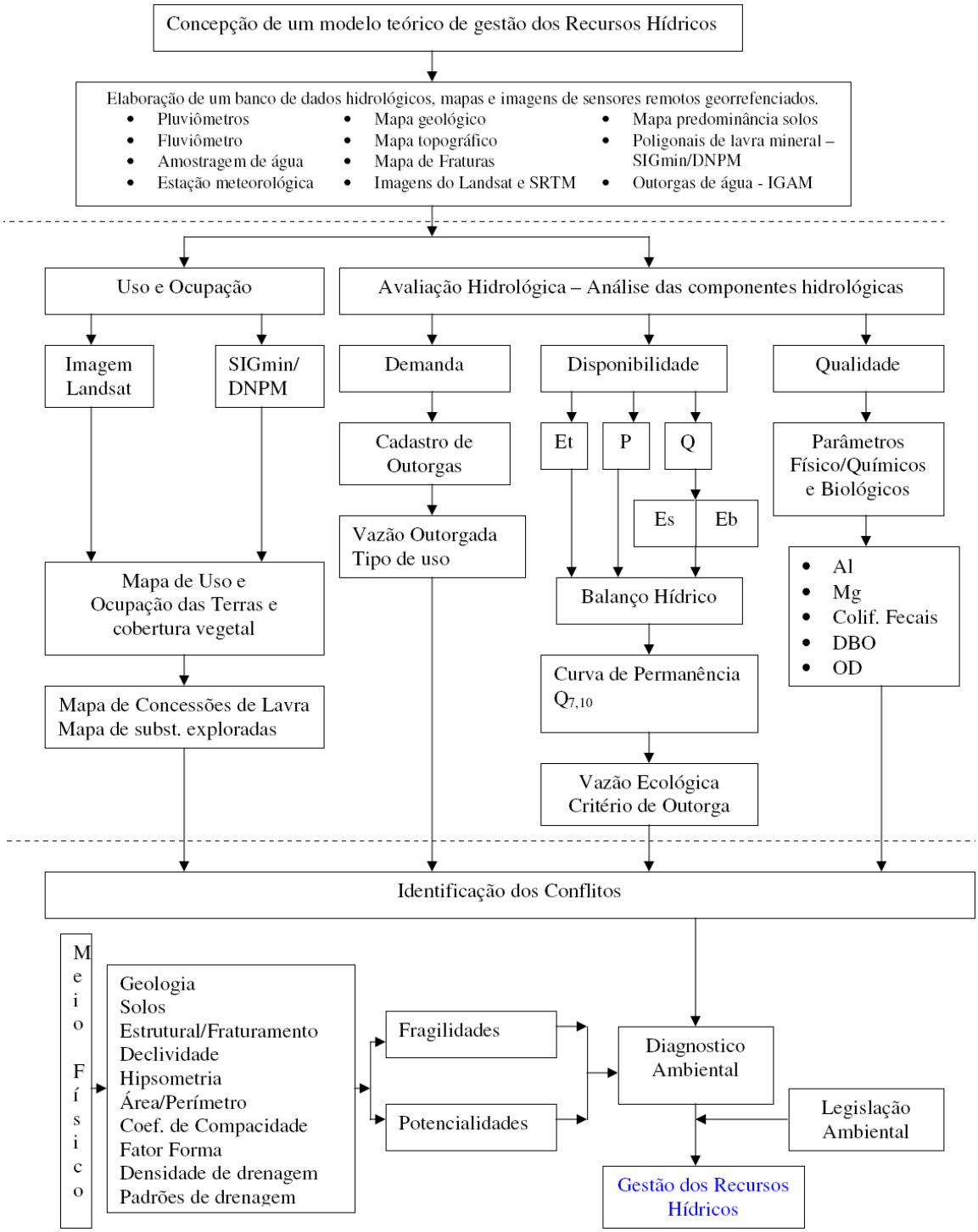


Figura 01: fluxograma metodológico e identificação dos procedimentos gerais adotados na dissertação.

ESTRUTURA GERAL DO TRABALHO

Para atingir os objetivos descritos acima o presente trabalho foi dividido em 3 partes no formato de artigos científicos.

ARTIGO I:

Caracterização fisiográfica da bacia hidrográfica do Ribeirão das Antas, Planalto de Poços de Caldas, MG.

ARTIGO II:

Avaliação hidrológica e elaboração do Balanço Hídrico na Bacia do Ribeirão das Antas, Planalto de Poços de Caldas, MG.

ARTIGO III:

Estimativa do $Q_{7,10}$ e $Q_{90\%}$ como vazões de referência para outorga e identificação dos principais usuários de água superficial (vazão outorgada) na Bacia do Ribeirão das Antas, Planalto de Poços de Caldas, MG.

SUMÁRIO I

ARTIGO I:

Caracterização fisiográfica da bacia hidrográfica do Ribeirão das Antas, Planalto de Poços de Caldas, MG.

Lista de Figuras **xi**

Lista de Tabelas **xii**

Lista de Anexos **xiii**

RESUMO **1**

ABSTRACT **2**

1 – INTRODUÇÃO **3**

2 – MATERIAIS E MÉTODOS **4**

3 – LOCALIZAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRAO DAS ANTAS **8**

4 – RESULTADOS DE DISCUSSÃO **9**

A) Geologia: **9**

A.1) Geomorfologia e características estruturais **10**

A.2) Litologias **12**

A.3) Solos **13**

B) Relevo **15**

B.1) Mapa Hipsométrico **15**

B.2) Mapa Clinográfico **17**

C) Forma da bacia hidrográfica **18**

C.1) Coeficiente de compacidade (Kc) **18**

C.2) Fator de forma (K_f) **19**

D) Sistemas de Drenagem **20**

D.1) Padrões de drenagem **20**

D.2) Ordem dos cursos d' água **21**

D.3) Densidade de drenagem **22**

E) Uso e Ocupação das Terras **22**

5 – CONSIDERAÇÕES FINAIS **27**

6 – BIBLIOGRAFIA CITADA **28**

LISTA DE FIGURAS I

Figura 01: Fluxograma metodológico. **6**

Figura 02: Localização do Planalto de Poços de Caldas e da Bacia hidrográfica do Ribeirão das Antas. **8**

Figura 03: Formação hipotética do Planalto de Poços (LEINZ, 1998). **9**

Figura 04 – Esquema evolutivo do Complexo Alcalino de Poços de Caldas (HOMES *et al.* 1992). **10**

Figura 05: Unidades de relevo na bacia do Ribeirão das Antas. **16**

Figura 06: Percentagem das classes de uso e ocupação das terras e cobertura vegetal nas sub bacias do Ribeirão das Antas. **23**

Figura 07: (a) Conjunto de processos de lavra no DNPM – Departamento Nacional de Produção Mineral. (b) Substâncias exploradas já com a concessão do direito de lavra. **26**

LISTA DE TABELAS I

Tabela 01– Composição das águas de Poços de Caldas (mg/ℓ) (COSTA, *et. al*. (1998)). **12**

Tabela 02: Elevação máxima, média e mínima na bacia do Ribeirão das Antas. **16**

Tabela 03: Correlação entre classes de declividade e relevo (DE BIASE, 1993). **17**

Tabela 04: Declividade média na bacia do Ribeirão das Antas. **17**

Tabela 05: Declividade do álveo dos principais cursos d'água no Ribeirão das Antas. **18**

Tabela 06: Fator forma e coeficiente de compacidade das principais bacias do Ribeirão das Antas. **19**

Tabela 07: Ordem dos principais cursos d'água na bacia do Ribeirão das Antas. **21**

Tabela 08: Densidade de drenagem das sub bacias do Ribeirão das Antas. **22**

Tabela 09: Uso e ocupação das terras e cobertura vegetal nas sub bacias do Ribeirão das Antas. **23**

LISTA DE ANEXOS I

Anexo I: Modelo Digital de Terreno – MDT e características morfológicas e estruturais do Planalto. **31**

Anexo II: Mapa litológico (fonte: Nuclebrás – 1972). **32**

Anexo III – Mapa de solos (MORAES, 2008). **33**

Anexo III: Mapa Hipsométrico. **34**

Anexo IV: Mapa de Declividade. **35**

Anexo V: Mapa de Drenagem. **36**

Anexo VI: Imagem Landsat 7 ETM^{+} (outubro/2000), falsa cor – 453/RGB. **37**

Anexo VII: Mapa de uso e ocupação das terras e cobertura vegetal. **38**

SUMÁRIO II

ARTIGO II:

Avaliação hidrológica e elaboração do Balanço Hídrico na Bacia do Ribeirão das Antas, Planalto de Poços de Caldas, MG.

Lista de Figuras **xv**

Lista de Tabelas **xvi**

Lista de Anexos **xvii**

RESUMO **39**

ABSTRACT **40**

1 – INTRODUÇÃO **41**

2 – LOCALIZAÇÃO DA BACIA HIDRGRÁFICA DO RIBEIRÃO DAS ANTAS **42**

3 – MATERIAIS E MÉTODOS **43**

4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO **47**

4.1 – Precipitação **47**

4.1.1 - Mapa de Isoietas **48**

4.1.2 - Estação Representativa **50**

4.2 – Evapotranspiração Potencial **52**

4.3 – Deflúvio **55**

4.3.1 – Análise do Hidrograma **55**

4.3.2 – Escoamento de base e o Escoamento direto **57**

4.4 - O Balanço Hídrico **59**

4.5 – Qualidade das águas superficiais **62**

5 - CONSIDERAÇÕES FINAIS **64**

6 – BIBLIOGRAFIA CITADA **65**

LISTA DE FIGURAS II

Figura 01: Localização geográfica do Planalto de Poços de Caldas e da Bacia do Ribeirão das Antas. **43**

Figura 02: Rede de monitoramento hidrológico. **44**

Figura 03: Mapa de Isoietas (Média anual entre 1986 a 1994). **49**

Figura 04: Análise de Dupla Massa. **51**

Figura 05: Características pluviométricas anuais (a) e mensais (b). **52**

Figura 06: Características da Evapotranspiração anual (a) e mensal (b). **54**

Figura 07: Característica do deflúvio anual (a) e mensal (b). **56**

Figura 08: Hidrograma das vazões médias mensais no exutório da bacia hidrográfica do Ribeirão das Antas. **58**

Figura 09: Balanço hídrico anual na bacia do Ribeirão das Antas. **60**

Figura 10: Balanço hídrico mensal na bacia do Ribeirão das Antas. **61**

Figura 11: Parâmetros físico-químicos e bacteriológicos do Ribeirão das Antas (fonte: *Projeto Águas de Minas Gerais-2006*). **62**

Figura 12: Contaminação por chumbo total no Ribeirão das Antas. (fonte: *Projeto Águas de Minas-2006*). **64**

LISTA DE TABELAS II

Tabela 1: Estações meteorológicas disponíveis para a avaliação hidrológicas. **44**

Tabela 02: Precipitação anual nas estações pluviométricas em milímetros. **48**

Tabela 03: Total precipitado anual acumulado por estação pluviométrica. **50**

Tabela 04: Características mensais e anuais na estação da CBA entre 1986 a 1994. **51**

Tabela 05: Temperatura média mensal na estação da Epamig. **53**

Tabela 06: Evapotranspiração Potencial obtida pelo nomograma. **54**

Tabela 07: Características mensais e anuais do deflúvio no Ribeirão das Antas. **55**

Tabela 08: Separação do escoamento direto e de base conforme o hidrograma do Ribeirão das Antas. **58**

Tabela 09: Valores médios do escoamento de base e direto. **59**

Tabela 10: Balanço hídrico anual na bacia do Ribeirão das Antas. **60**

Tabela 11: Balanço hídrico mensal na bacia do Ribeirão das Antas. **61**

LISTA DE ANEXOS II

Anexo I: Precipitação média mensal nas diversas estações pluviométricas. **66**

Anexo II: Nomograma para o cálculo da evapotranspiração potencial mensal. **67**

Anexo III: Deflúvio médio diário no exutório da bacia hidrográfica do Ribeirão das antas. **68**

SUMÁRIO III

ARTIGO III:

Estimativa das vazões mínimas e de referência ($Q_{7,10}$ e $Q_{90\%}$) como critérios para outorga de água superficial e identificação dos principais usuários (vazão outorgada) na Bacia do Ribeirão das Antas, Planalto de Poços de Caldas, MG.

Lista de Figuras	**xix**
Lista de Tabelas	**xx**
Lista de Anexos	**xxi**
RESUMO	**70**
ABSTRACT	**71**
1 – INTROCUÇÃO	**72**
2 – MATERIAIS E MÉTODOS	**74**
3 – LOCALIZACÃO DA ÁREA EM ESTUDO	**76**
4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO	**79**
4 .1 – Estimativa das Vazões mínimas/disponibilidade hídrica	**79**
4.1.1 – Mínina de 7 dias e 10 anos de recorrência ($Q_{7,10}$)	**79**
4.1.2 – Curva de permanência (Q_{90})	**83**
4.2 - Demanda Hídrica e uso múltiplo dos Recursos Hídricos (outorgas)	**86**
5 – CONCLUSÕES	**88**
6 – BIBLIOGRAFIA CITADA	**90**

LISTA DE FIGURAS III

Figura 01: Fluxograma metodológico. **74**

Figura 02: Localização geográfica do Planalto de Poços de Caldas e da Bacia do Ribeirão das Antas. **76**

Figura 03: Bacia hidrográfica do Ribeirão das Antas e espacialização das outorgas e estação fluviométrica. **77**

Figura 04: Variação das vazões mínimas de 7 dias por ano no Ribeirão das Antas. **78**

Figura 05: Distribuição de freqüência das vazões mínimas de sete dias. **81**

Figura 06: Curva de Permanência de vazões **84**

Figura 07: Outorgas de água na bacia do Ribeirão das Antas. **86**

LISTA DE TABELAS III

Tabela 01: Distribuição de Weibull e determinação da variável y (logaritmo das vazões mínimas). **79**

Tabela 02: distribuição de chow e determinação do tempo de recorrência. **80**

Tabela 03: Vazões médias mensais (m^3/s) da estação fluviométrica da CESP. **82**

Tabela 04: Tabela de distribuição de freqüência das vazões médias mensais. **84**

Tabela 05: Balanço geral entre as vazões outorgáveis e vazões outorgadas. **87**

LISTA DE ANEXOS III

Anexo I: Tabela de outorgas de água concedida pelo IGAM entre o ano de 1998 a 2004. **91**

Caracterização fisiográfica da bacia hidrográfica do Ribeirão das Antas, Planalto de Poços de Caldas, MG.

Resumo

O presente trabalho tem por objetivo determinar alguns parâmetros fisiográficos referentes à bacia do Ribeirão das Antas, apresentando um conjunto de informações técnicas essenciais à gestão dos recursos hídricos. As informações sobre a **geologia, relevo, drenagem e forma** da bacia foram manipulados em ambiente SIG (Sistema de Informação Geográfica). Dessa análise conclui-se que a natureza vulcânica da região e as rochas alcalinas deram ao Planalto características geológicas e hidrogeológicas bem particulares que caracterizaram feições marcantes no relevo. A espacialização do conjunto do fraturamento é de extrema importância no controle da recarga da água subterrânea. A recarga dos aqüíferos do Planalto de Poços de Caldas se dá por infiltração direta nas fraturas que controlam a rede de drenagem superficial. Os parâmetros fisiográficos (**relevo, forma e sistema de drenagem**) permitiram realizar uma avaliação e correlação entre as sub bacias quanto à velocidade do escoamento superficial e identificação de áreas mais susceptíveis a inundações.

Palavra chave: geologia, fisiográfica, bacia hidrográfica.

Physiographic Characterization of the Antas River Hydrographic Basin, Poços de Caldas Plateau, MG

ABSTRACT

The objective of this paper is to determine some physiographical parameters regarding the Antas River Basin, Poços de Caldas Plateau, presenting one set technical information essential to the water resources management. Hydrographic basin dimensional values are quantitative parameters that allow the elimination of certain subjectivity from basin characterization. Due to their speed and greater accuracy, geological, topographic and fracturing maps, images generated by the SRTM sensor, as well as some morphological features were incorporated and handled within a GIS environment (Geographic Information System). From this analysis of the physical characteristics it was possible to conclude that the volcanic nature of the region and alkaline rocks conferred the Plateau with particular geological and hydro geological characteristics, which characterize specific terrain features. Physiographical parameters such as: **inclination level** (Hypsometry and declivity), **shape** (massiveness coefficient - K_c and shape factor - K_f), as well as **drainage system** (density and standards) were enough to characterize the Antas River Basin, besides correlating the sub-basins as to their susceptibility to surface runoff and identification of areas more prone to flooding events.

Key Words: geology, physiographical, hydrographic basin.

1 – INTRODUÇÃO

O presente trabalho tem por objetivo determinar alguns parâmetros fisiográficos referentes à bacia hidrográfica do Ribeirão das Antas, apresentando um conjunto de informações técnicas essenciais à gestão dos recursos hídricos.

A bacia hidrográfica é definida como uma área de captação natural da água da precipitação que faz convergir os escoamentos para um único ponto de saída, seu exutório. É composta basicamente de um conjunto de superfícies vertentes e de uma rede de drenagem formada por cursos d'água que confluem até resultar um leito único no exutório (SILVEIRA, 2001).

Consideram-se dados fisiográficos de uma bacia hidrográfica todos aqueles dados que podem ser extraídos de mapas, fotografias aéreas e imagens de satélite. Basicamente são áreas, comprimentos, declividades e coberturas do solo, medidos diretamente ou expresso por índices (TUCCI, 2002).

Pode-se dizer que o conhecimento das características físicas de uma bacia hidrográfica constitui uma possibilidade bastante conveniente de se conhecer a variação no espaço dos elementos do regime hidrológico na região. Na prática, a caracterização física de uma bacia hidrográfica possibilita o estabelecimento de relações e comparações entre as características físicas e dados hidrológicos conhecidos (BARBOSA, 2002). Os valores dimensionais de bacias hidrográficas são parâmetros quantitativos que permitem eliminar a subjetividade na sua caracterização (OLIVEIRA & FERREIRA, 2001).

Neste sentido, o estudo das características físicas de uma bacia hidrográfica reveste-se de especial importância pela estreita correspondência entre estas e a dinâmica hidrológica na bacia hidrográfica. Essas características possibilitam identificar potencialidades e fragilidades no meio físico, embasando de informações técnicas para que haja um planejamento adequado no uso e ocupação das terras e na utilização adequada dos recursos hídricos.

2 – MATERIAIS E MÉTODOS

Na determinação dos parâmetros físicos de uma bacia hidrográfica é fundamental a utilização de mapas em escala adequada com a área da bacia hidrográfica. Por motivos de agilidades e maior precisão esses mapas foram incorporados e manipulados em ambiente SIG (Sistema de Informação Geográfica). A aquisição de informações necessárias para a caracterização fisiográfica da bacia hidrográfica foi norteada segundo os conceitos descritos na geologia e na hidrologia aplicada. Desta forma, adotou-se a seguinte seqüência metodológica e etapas para este trabalho (Figura 01).

Inicialmente as imagens obtidas pelo sensor SRTM (Shuttle Radar Topographic Mission) auxiliaram na delimitação de algumas feições estruturais, descritas na literatura e marcantes no relevo, além de facilitar na delimitação da bacia hidrográfica do Ribeirão das Antas e uma posterior divisão em sub bacias para maior detalhamento da área. As imagens do SRTM foram adquiridas no site http://glcf.umiacs.umd.edu/data/srtm. A Missão Topográfica Radar Shuttle, SRTM, tem como produto imagens capazes de gerar uma base de cartas topográficas digitais terrestre entre os fusos 56 °S e 60 °N.

Os mapas utilizados foram: **geológico,** elaborado pela extinta Nuclebrás (1975); **fraturas,** elaborado pela CETEC (Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais) (CRUZ, 1987); **solos,** tese escrita por MORAES (2008); **cartas topográficas** elaboradas pelo IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), referente as folhas de Poços de Caldas (SF-23-V-B-I-1), Caldas (SF-23-V-D-IV-3), Pinhal (SF-23-Y-A-III-2), Santa Rita de Caldas (SF-23-Y-B-I-1). Esses mapas foram copiadas em scanner e as imagens gravadas no formato TIFF. Posteriormente essas imagens foram importadas e georreferenciada em ambiente SIG. As coordenadas geográficas foram introduzidas com auxílio do *mouse*, localizando pontos de coordenadas já conhecidas na própria folha, determinadas pela grade de coordenadas geográficas.

Para determinação do mapa de uso e ocupação das terras utilizou-se técnicas de processamento digital de imagens objetivando a observação e análise do espaço territorial. As imagens são adquiridas a partir de sensores remotos em plataformas espaciais, a reflectância dos alvos é o meio de aquisição da informação e o sensoriamento remoto é a disciplina científica ligada ao estudo dessas informações. De acordo com esse

conceito neste trabalho foi utilizado uma imagem do Satélite Landsat, adquiridas pelo site https://zulu.ssc.nasa.gov/mrsid/mrsid.pl referentes ao período de outubro de 2000 para o mapeamento do uso e ocupação das terras. O processamento desta imagem foi efetuado no software ENVI (*Enviromental Visualization Image*).

As informações cartográficas relevantes neste estudo foram determinadas e separadas da seguinte maneira: **limite da bacia**, **fraturas, litologia, solos, rede de drenagem, classes de uso das terras e curvas de nível.** Cada informação passou a representar um tema, vetorizadas e individualizadas por camadas, denominadas *shapefiles.*

Essas *shapefiles* foram utilizadas nas operações contidas no SIG como: cálculo de área, perímetro e extensão dos cursos d'água. Para tanto, utilizou-se as funções "*calculating, fields in attribute tables*". Os mapas Hipsométrico e Clinográfico da bacia hidrográfica foram confeccionados a partir MDT (Modelo digital de Terreno) gerado pela *shapefile* **curvas de nível.** As **curvas de nível** foram geradas pela função *generate contours* contida no software Global Mapper 7. Posteriormente, as curvas foram exportadas em formato shapefile e tratadas no software Arcgis, onde as funções, "*Face elevation with graduated color ramp*" e "*Face slope with graduated color ramp*", confeccionaram os mapas Hipsométrico e Clinográfico, respectivamente. A declividade média, as altitudes máxima, média e mínima foram obtidas através da ferramenta *"Classification Statistic"*.

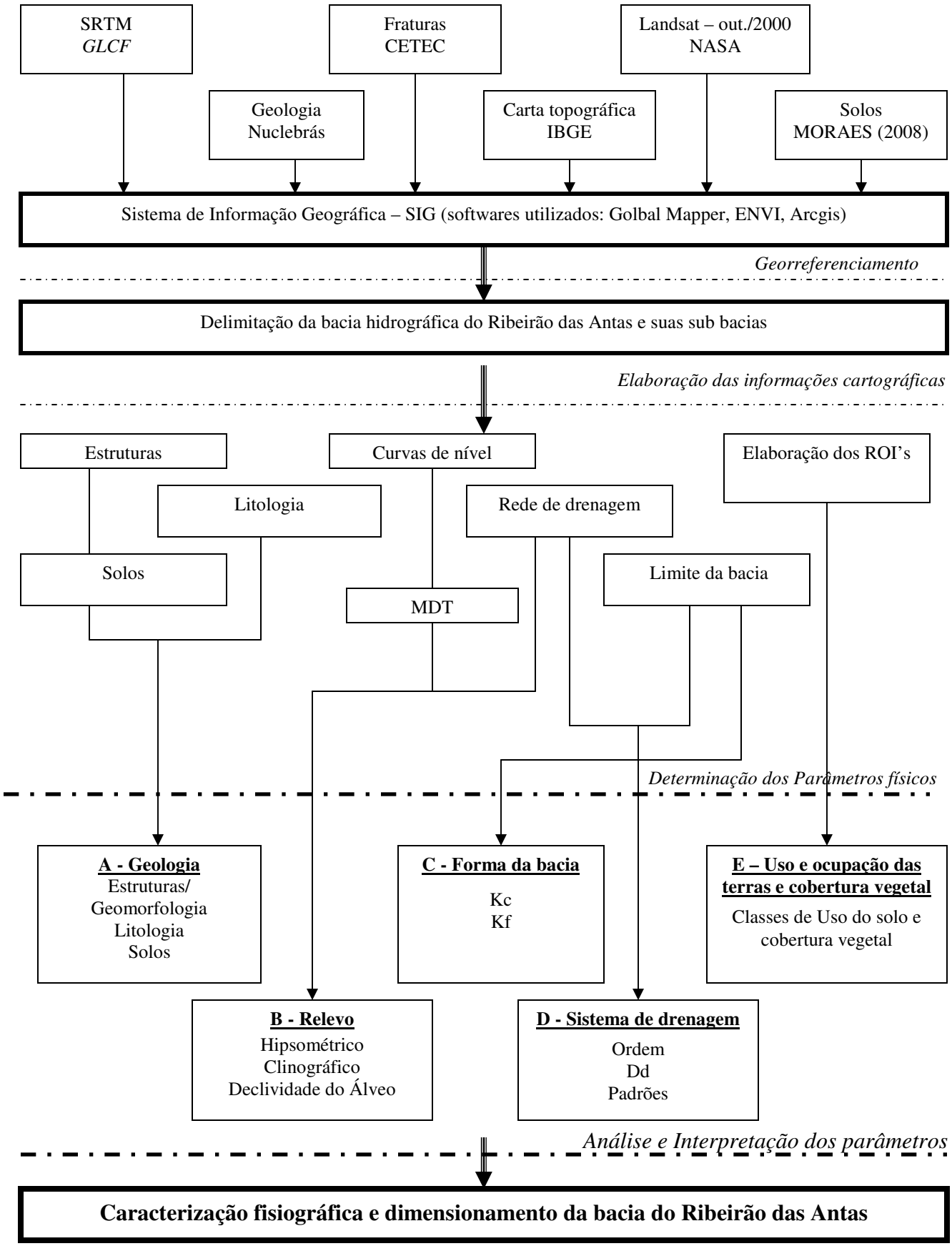


Figura 01: Fluxograma metodológico.

Resumindo, os parâmetros fisiográficos analisados neste trabalho, utilizando as ferramentas contidas no SIG foram:

A) Geologia

A caracterização geológica foi elaborada por meio de uma revisão bibliográfica, objetivando informações quanto à litologia, ao aspecto estrutural e geomorfológico. Utilizou-se também um mapa geológico, elaborado pela extinta Nuclebrás 1975, um mapa de fraturas elaborado pela CRUZ (1987), além das imagens do sensor SRTM. O mapeamento dos tipos de solos predominantes foi realizado por MORAES (2008) e adaptado pelo autor.

B) Relevo

O relevo foi analisado utilizando os mapas Hipsométricos e Declividade produzidos pelos softwares SIG utilizando as curvas de nível como base. A Declividade do Álveo também forneceu mais uma característica do relevo e foi calculado segundo metodologia descrita por BARBOSA (2002).

C) Forma da bacia

A forma da bacia foi definida pelo coeficiente de compacidade - **Kc** e pelo fator de forma – **Kf** citadas por BARBOSA (2002) e VILLELA & MATTOS (1975).

D) Sistema de Drenagem

O Sistema de Drenagem foi apurado segundo os padrões radial, dendrítico e paralela, pela densidade de drenagem e pela determinação na ordem dos principais cursos d'água. A metodologia adotada para a determinação da hierarquização das drenagens, que identifica a ordem dos cursos d'água, foi baseada no sistema desenvolvido por STRAHER (1952) e citado por VILLELA & MATTOS (1975).

E) Uso e ocupação das terras e cobertura vegetal

O mapeamento dos usos das terras foi desenvolvido a partir da interpretação e classificação das imagens geradas pelo satélite Landsat 7 ETM^{+}, referente ao período de outubro de 2000.

3 – LOCALIZAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DAS ANTAS

O Planalto de Poços de Caldas possui duas bacias hidrográficas: a bacia do Ribeirão da Antas e a bacia do Rio Verde, ambas afluentes do Rio Pardo, inseridas na Bacia do Rio Grande, afluente do Rio Paraná. A bacia hidrográfica do Ribeirão das Antas, objeto do estudo, ocupa aproximadamente 70% da área total do Planalto de Poços de Caldas, possui uma área de cerca 455 km^2, nasce na borda sul a 1.640m de altitude e num percurso de 62 km, transpõe na borda norte, na cachoeira das Antas, a 1.180m de altitude. Está situada a 460 km de Belo Horizonte e 330 km de São Paulo, sua localização geográfica é determinada pelas coordenadas centrais: 21º47'00'' S e 46º33'00'' W.

Na figura 02, pode-se observar caldeira vulcânica e o limite da bacia do Ribeirão das Antas e sua localização no estado de Minas Gerais. O anel quase completo delimitando as bordas do Planalto possui expressão topográfica bem saliente constituindo os limites da bacia do Ribeirão das Antas. A porção norte é constituída pelas Serras de Poços de Caldas (1), do Cristo Redentor (2) e de São Domingos (3), na porção centro ocidental pelo Morro do Serrote (4), na porção centro oriental encontra-se o Morro do Ferro (5) e completando o anel, delimitando a borda sul, a Serra do Caracol (6).

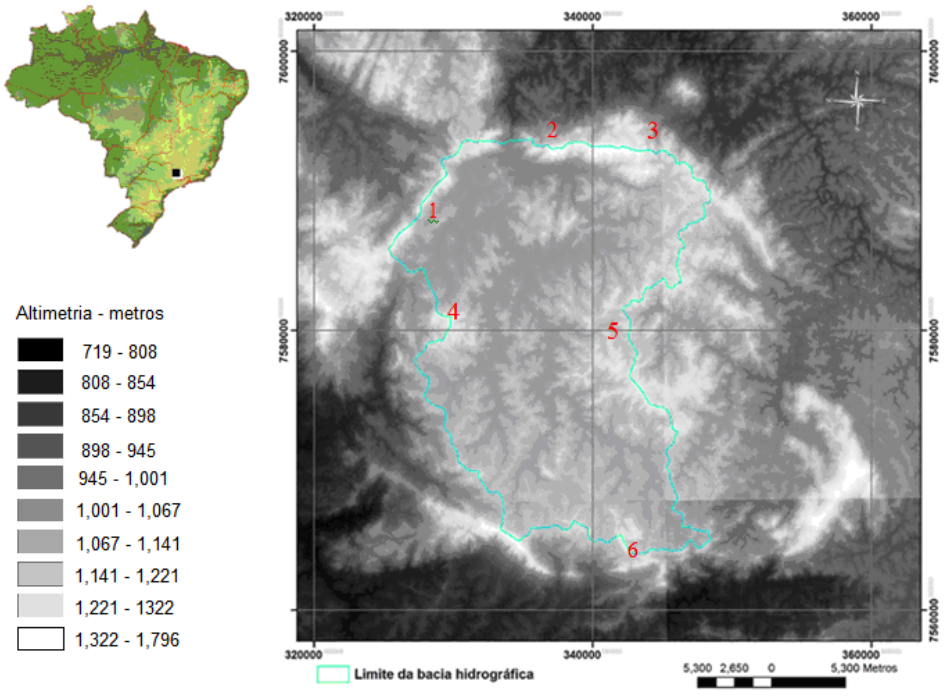


Figura 02: Localização do Planalto de Poços de Caldas e da Bacia hidrográfica do Ribeirão das Antas.

4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

A) Geologia

O Planalto de Poços de Caldas trata-se de uma estrutura de formato dômico, individualizada por cristas e escarpas abruptas, de forma externa circular, delimitada por escarpas de falhas que afetaram o embasamento cristalino e facilitaram a intrusão da chaminé em uma zona de fraqueza do embasamento. Está alojado na porção meridional do Escudo Atlântico, próximo a atual borda nordeste da Bacia do Paraná, no âmbito do chamado Maciço Mediano de Guaxupé. Esse complexo é constituído por uma associação sienítica sub-saturada, fortemente alcalina, e caracterizado como Província Agpaítica de Poços de Caldas. As rochas encaixantes são gnaisses e granitóides proterozóicos. Na fase da intrusão admite-se que houve colapso da parte central da estrutura, com a formação de fendas radiais e anelares, pelas quais o magma ascendeu e extravasou ocasionando o vulcanismo.

A evolução hipotética do Planalto de Poços de Caldas foi descrita por LEINZ (1998) como sendo um vulcanismo de idade mesozóica, nas rochas encaixantes, gnaisses e granitóides do proterozóico, onde ocorreu colapso da parte central determinando a formação da imensa caldeira com cerca de 30 km de diâmetro (figura 03).

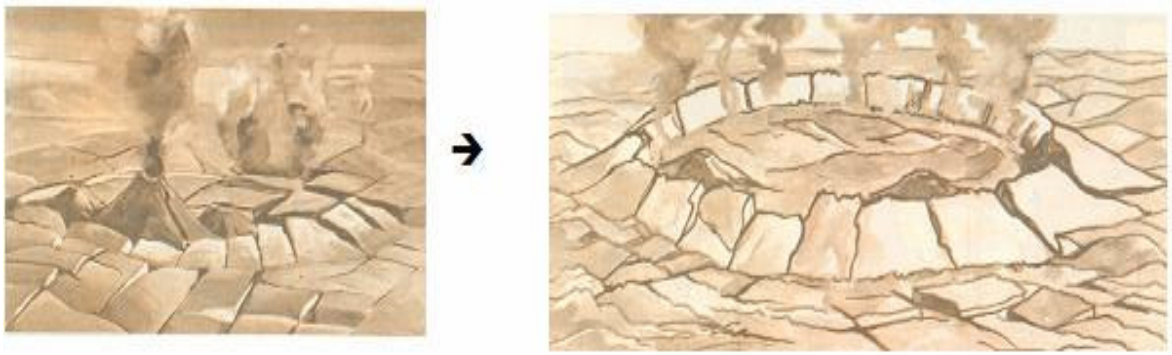
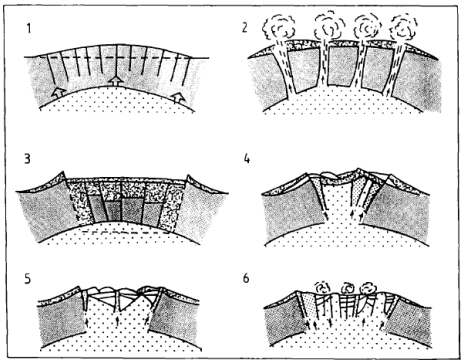


Figura 03: Formação hipotética do Planalto de Poços (LEINZ, 1998).

Uma evolução mais detalhada da caldeira de Poços, foi proposto por HOLMES *et al.* (1992), onde o complexo alcalino teve as primeiras manifestações no Cretáceo Superior (87m.a.) e evoluiu através de fases sucessivas até 60 m.a. (Figura 04).



1. Falhamentos, resultantes do soerguimento do embasamento cristalino e dos sedimentos da bacia do Paraná
2. Período de intensa atividade vulcânica
3. Subsidência central (caldeira de colapso) devido ao esvaziamento da câmara magmática
4. Soerguimento, acompanhado de intrusões nas fraturas radiais e circulares
5. Nova fase de vulcanismo, em que se formaram diques anelares que circundam o complexo
6. Atividades hidrotermais, responsáveis pela formação dos principais depósitos minerais do complexo

Figura 04 – Esquema evolutivo do Complexo Alcalino de Poços de Caldas (HOMES *et al.* 1992).

A.1) Geomorfologia e características estruturais (Anexo I)

O Modelo Digital de Terreno gerado no software Global Mapper a partir das imagens geradas pelo sensor SRTM auxiliaram a interpretação das características fisiográficas da bacia hidrográfica do Ribeirão das Antas.

A bacia do Ribeirão das Antas pertence ao domínio morfoestrutural do Planalto de Poços de Caldas, definido por CHISTOFOLETTI (1970), como um "modelado estrutural dômico com diques anelares". O relevo do tipo dômico corresponde a uma estrutura circular resultante de atividade intrusiva. Esses diques, que formam um anel quase completo delimitando as bordas do Planalto, têm expressão topográfica bem saliente e constituem os limites da bacia do Antas.

Segundo ELLERT (1958), as serras Selado, São Domingos e de Poços de Caldas, constituem feições fisiográficas marcantes e são sustentadas por **fonolitos** marginais, que formam a expressão estrutural de um dique anelar.

ALMEIDA FILHO (1995) identificaram existência de 7 **estruturas circulares** no interior da caldeira de Poços de Caldas, possivelmente associadas à presença de cones vulcânicos.

O Planalto de Poços de Caldas apresenta dois grandes sistemas de falhamentos, com direções predominantes N40E e N60W, estando o primeiro relacionado com o processo formador da caldeira e o segundo com a tectônica regional (FRAENKEL *et al.,* 1985).

Falhas de direção transversal à estrutura anelar parecem ter afetado todo o maciço alcalino. O estudo realizado por CRUZ (1987) mostra que a orientação das grandes estruturas que limitam o interior do Caldeira está relacionada às direções entre a direção N30º e 45ºE. E quanto às direções N60º a 55ºW podem afetar também o embasamento cristalino.

As águas subterrâneas estão diretamente relacionadas com a circulação e armazenamento destas num sistema aqüífero principal, de natureza fraturada, constituído pelos esforços durante a instalação da estrutura vulcânica, em suas próprias rochas e nas encaixantes. Esse aqüífero principal está parcialmente sob um sistema granular, formado no manto de alteração das rochas vulcânicas e alcalinas (FRANGIPANI, 1991).

A origem das **fontes termais** está relacionada à intersecção de três extensos e profundos fraturamentos na região norte do Planalto de Poços, **região mais deprimida do complexo vulcânico**, essas descontinuidades foram mapeadas por CRUZ (1987) e assumem as direções preferenciais N14ºE, N50ºE e E-W. As duas primeiras direções cortam o aparelho vulcânico estendendo-se ao embasamento cristalino, desde a serra de São Domingos, ao norte, até o vale do ribeirão das Vargens, ao sul. A fratura N14ºE controla o traçado do leito do córrego Vai-e-Volta, devendo constituir-se em uma zona importante de recarga do aqüífero fraturado. O sistema de fraturamento EW controla o baixo curso do ribeirão dos Poços, prolongando-se pelo vale do ribeirão da Serra e se interconecta com outras fraturas secundárias, direcionadas para a serra de São Domingos, que se constitui em outra zona de recarga das fontes termais. Porém, o sistema N14ºE, se constitui numa zona preferencial de recarga que se estende até o vale do ribeirão das Vargens.

No estudo realizado por COSTA, *et. al*. (1998), denominado projeto hidrogeoambiental das estâncias hidrominerais da companhia mineradora de Minas Gerais, com bases oriundas de amostragens não sistemáticas, realizadas em diferentes épocas, descreveu algumas características químicas das águas superficiais (**A**) das fontes

dos aqüíferos da zona superior (**B**), águas subterrâneas da zona intermediária (**C**) e das águas termais, zona profunda (**D**) (Tabela 01).

Tabela 01– Composição das águas de Poços de Caldas (COSTA, *et. al*. (1998)).

Propriedades	Média			
	A	B	C	D
Temperatura (ºC)	19,5	21,5	22,7	**37,5**
pH	6,6	6,0	7,50	9,80
Condutividade μ mho/cm	25,7	49,8	110,40	800,79
Resíduo seco (105º)	15,0	56,60	127,10	519,26
Dureza total em mg/$CaCO_3$	9,4	13,33	18,50	4,0
Ca^{2+}(mg/ℓ)	2,14	6,23	6,07	1,13
Mg^{2+}(mg/ℓ)	0,88	0,60	0,98	0,23
Na^{+}(mg/ℓ)	0,64	4,30	32,30	**189,0**
K^{+}(mg/ℓ)	1,53	4,15	2,95	6,2
HCO^{-3}(mg/ℓ)	11,48	14,47	62,66	**154,91**
Co^{3-}(mg/ℓ)	-	-	12,00	**133,4**
$C1^{-}$(mg/ℓ)	1,65	2,6	1,7	4,7
$SO^{2}_{4}{}^{-}$(mg/ℓ)	-	0,93	13,67	**51,90**
Fe total(mg/ℓ)	0,81	-	1,02	0,08
F^{-}(mg/ℓ)	0,44	0,18	5,84	**20,79**
SiO_2(mg/ℓ)	-	14,0	16,00	29,08

Verificam-se maiores concentrações de HCO^{3-}, Na^{+}, $SO_4{}^{2-}$, Co^{3-} e sílica nas águas termais, acompanhadas de altas mineralização de fluoreto.

A.2) Litologia (Anexo II)

As litologias são predominantemente plutônicas (**foiaitos**) e sub-vulcânicas (**tinguaítos**), com representantes extrusivos (**fonolitos**, leucititos, lavas ankaratríticas, tufos, aglomerados e brechas vulcânicos) subordinados, porém com expressiva distribuição por toda a área do Complexo. As composições químicas dos foiaitos, tinguaítos e fonolitos são praticamente idênticas. As suas mineralogias apresentam como predominantes o anortoclásio, a nefelina, a aegirita e a sanidina; e como acessórios mais freqüentes analcita, titanita, magnetita, cancrinita, fluorita e zircão (COSTA *et. al.*, 1998).

Entretanto, os **foiaítos**, por serem rochas plutônicas, apresentam granulação mais grosseira, formando os macrocristais de textura pegmatóide, já os **tinguaítos**

correspondem à fase de transição entre os grãos, enquanto os **fonolitos** possuem uma granulação extremamente fina.

Litotipos de transição e/ou contaminação/alteração metassomática ocorrem, onde os gnaisses encaixantes, a despeito dos processos de fenitização a que foram submetidos, tiveram preservadas, em maior (lujauritos) ou menor (chibinitos) extensão, as suas estruturas bandadas (COSTA *et. al.*, 1998).

Outro produto de metassomatismo encontrado dentro do complexo vulcânico é informalmente conhecido como "**Rocha Potássica**", denominação dada no mapeamento realizado pela Nuclebrás, e consiste basicamente num **foiaito enriquecido em potássio**. O foiaito inalterado contém entre 7 e 8% de K_2O enquanto que a "**Rocha Potássica**" contém cerca de 10 a 14% de K_2O e no máximo 1% de Na_2O.

A.3) Solos (Anexo III)

Apesar das litologias possuírem a mesma composição mineralógica, se diferenciando unicamente pelo modo de ocorrência, as rochas vulcânicas e plutônicas/intrusiva do planalto, apresentam um perfil de alteração distinto e possuem comportamentos geotécnicos diferenciados, segundo LIPORACI (1994), os fonolitos se alteram dando um solo residual mais argiloso, os nefelinas sienitos apresentam um perfil de alteração típico, constituídos por concreções lateríticas e um solo com textura argilo-siltosa.

MORAES (2008) realizou um levantamento **pedoestratigráfico** a partir de pesquisa bibliográfica, geoprocessamento e fotointerpretação de imagens de satélite aliadas a pesquisas de campo e assim determinou a predominância dos tipos de solos encontrados na região:

1 - NEOSSOLO REGOLÍTICO - Cascalhento/concrecionário gravitacional associado à sienitos. Esta zona caracteriza-se por apresentar seqüências pedoestratigráficas com os neossolos regolíticos cascalhentos/concrecionários na sua parte superficial. Encontra-se na parte central do maciço de Poços de Caldas, associada à paleoplanície de inundação do Ribeirão das Antas. As principais características são: a)

presença de solos argilosos profundos recobertos por material cascalhento, b) os solos profundos apresentam freqüentemente volumes orgânicos ou gleicos associados, decorrentes da ação do hidromorfismo, c) terrenos com fraca dissecação, d) terreno plano ou com declividade suave, e) ocorrência de lagoas marginais temporárias, f) solo coberto por vegetação herbácea predominantemente. O embasamento sienítico e a dissecação leve a moderada definem resistência aos processos erosivos, sendo que o uso e a ocupação destes terrenos para obras de engenharia é pouco restritivo. Com exceção de alguns trechos que são inundáveis e de locais com volumes orgânicos enterrados, que conferem ao solo baixa resistência à carga.

2 - NEOSSOLO REGOLÍTICO Cascalhento/concrecionário gravitacional associado a taludes em áreas de contato litológico. Áreas associadas aos taludes mistos que englobam parte dos planaltos muito altos existentes na área de estudo. Altas declividades impõem restrições à ocupação humana. Região com presença de fragmentos florestais pouco alterados nestas áreas e desenvolvimento de silvicultura. Estas áreas apresentam solo com concreções e cascalhos formados por fragmentos de rochas alcalinas, sedimentares e cristalinas, uma vez que se situam em áreas de contato litológico. Os volumes subsuperficiais são predominantemente argilúvicos. Os Argissolos são acompanhados por Nitossolos em áreas próximas a falhamentos. O estágio relativamente avançado de evolução pedogênica necessário para a formação dos Argissolos pode ser possível, pois a parte basal destes perfis de solo corresponde aos trechos que foram soerguidos quando da intrusão alcalina.

3 - CAMBISSOLOS HÁPLICOS regolíticos, associados ao embasamento de sienitos. São áreas formadas por planaltos alto e muito alto e seus taludes apresentam dissecação moderada a forte, o que define potencial erosivo principalmente nas áreas de taludes com maiores declividades. Representam áreas importantes do ponto de vista de recarga dos aqüíferos por situarem-se em alto estrutural alto topográfico. Os Cambissolos háplicos possuem concreções e cascalhos de lateritas e rochas alcalinas com tamanho centimétrico a decimétrico, o que pode representar restrições ao uso agrícola da terra. A matriz que compõe estes cambissolos é predominantemente argilosa, estando em grande parte dos casos associada com matéria orgânica o que define a cor brunada. Os volumes subsuperficiais são argissólicos/argilúvicos em sua maioria, sendo que espessos volumes

orgânicos podem ser encontrados. O acúmulo de matéria orgânica confere condições de instabilidade por liquidificar o solo, ou seja, vibrações podem induzir ao escorregamento. Ocorrem também lateritas bauxíticas com argiluviação recente. Estas lateritas são muito porosas e friáveis e quebram-se na forma de pastilhas. Esta área está associada aos fonolitos que sofreram a ação do hidrotermalismo.

4 - CAMBISSOLOS - regolíticos cascalhentos, associados às áreas de contatos litológicos. As principais características são: a) presença de Cambissolos regolíticos cascalhentos e concrecionários alternando-se com Neossolos também cascalhento, b) os materiais subsuperficiais são Cambissolos e Neossolos regolíticos, sendo que na ocorrem também materiais argissólicos com elevada plasticidade na região da serra de Águas da Prata, c) as concreções e as cascalheiras são formadas por fragmentos de quartzo angulares recobertos por películas de argila, d) terreno é íngreme ou muito íngreme, associado a taludes retilíneos ou mistos predominantemente, e) solo coberto por vegetação arbórea. Áreas com restrições ao uso e ocupação devido à declividade.

B) Relevo

B.1) Mapa Hipsométrico (Anexo IV)

O mapa Hipsométrico é a representação do relevo de uma bacia, representa o estudo da variação da elevação do terreno em relação ao nível médio do mar. Para a análise no relevo da bacia do Ribeirão das Antas, determinou-se intervalos específicos como unidades de relevo.

Essas unidades de relevo variam desde as áreas com níveis altimétricos mais baixos em azul (áreas propícias a formação de várzeas) até os níveis altimétricos mais elevados em amarelo (Montanhas e escarpas) e uma faixa intermediária em tons avermelhados (meia encosta) (figura 05).

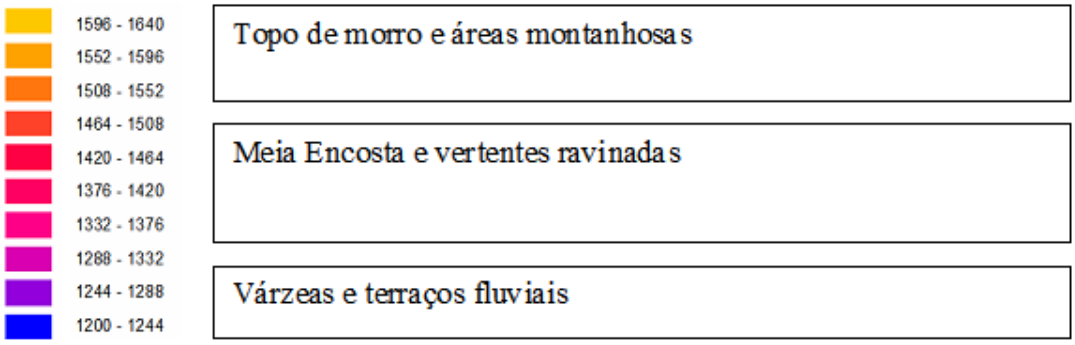


Figura 05: Unidades de relevo na bacia do Ribeirão das Antas.

O mapa Hipsométrico fatiou o relevo conforme as características locais definindo as faixas entre 1180 a 1250 metros, onde prevaleceram planícies aluvionares, entre 1250 a 1500 metros ocorrem meias encostas e vertentes ravinadas. E de 1500 a 1640 metros encontram-se regiões montanhosas e topo de morros com relevo mais acidentado.

As menores taxas de infiltração são atribuídas ao relevo mais montanhoso, enquanto que, as áreas de várzeas, correspondem a regiões do relevo onde a baixa velocidade das águas favorece as chances de infiltração no terreno. A tabela 02 representa a elevação máxima, média e mínima do terreno na bacia do Ribeirão das Antas.

Tabela 02: Elevação máxima, média e mínima na bacia do Ribeirão das Antas.

Características Físicas	Sub bacias					Bacia Antas
	Alto Antas	Cipó	Vargens	Baixo Antas	Poços	
Altitude máxima (m)	1640	1491	1480	1570	1630	1640
Altitude mínima (m)	1250	1250	1250	1180	1180	1180
Altitude média (m)	1369	1339	1318	1334	1310	1324

As altas elevações na região oriental do Planalto, onde se localizam o Morro do Serrote e o Morro do Ferro, são regiões coincidentes com as estruturas circulares, indicadas como evidências de antigos cones vulcânicos. Nas áreas adjacentes as essas estruturas circulares ocorre uma depressão, ocupando as áreas de menores altitudes no Planalto, região por onde o Ribeirão das Antas forma seu leito, apresentando características meandrantes e formando várzeas bem desenvolvidas.

B.2) Mapa clinográfico (Anexo V)

O mapa Clinográfico é um importante fator para se determinar variações no relevo. A tabela 02, elaborada por DE BIASE (1993) discrimina o relevo conforme sua declividade, expressa em %.

Tabela 03: Correlação entre classes de declividade e relevo (DE BIASE, 1993).

Classes de declividade (%)	Relevo
0-3	Várzea
3-6	Plano a suave ondulado
6-12	Suave ondulado a ondulado
12-20	Ondulado a forte ondulado
20-40	Forte ondulado a montanhoso
>40	Montanhoso

Trata-se de um importante fator para determinar a velocidade do escoamento superficial, o que influencia no tempo de concentração da bacia e determina os picos de enchente, é um indicativo de áreas onde o potencial de erosividade da água torna-se mais acentuado, devido a esse maior velocidade do escoamento. O conhecimento das classes de declividade da bacia hidrográfica é importante porque visa atender à legislação específica para o ordenamento do uso da terra (ROSTAGNO, 1999).

O mapa Clinográfico demonstrou a variação do relevo na bacia do ribeirão das Antas, apontando regiões onde o relevo apresenta-se predominantemente plano, formando área de várzeas e regiões onde o relevo apresenta-se forte ondulado como nas Serras de Poços de Caldas e na Serra de São Domingos (borda norte do Planalto). As estruturas circulares no interior do Planalto marcam feições em forma de meia laranja e topografia intensamente movimentada, com vertentes íngremes. A tabela 04 representa a declividade média do terreno por sub bacia e na Bacia do Ribeirão das Antas em sua totalidade.

Tabela 04: Declividade média na bacia do Ribeirão das Antas.

Características Físicas	Sub bacias					Bacia Antas
	Alto Antas	Cipó	Vargens	Baixo Antas	Poços	
Declividade média (%)	6.1	7.7	8.3	7.9	10.9	7.6

Em regiões homogêneas, onde o solo e o uso e ocupação das terras são semelhantes, quanto maior o declive, menor a oportunidade de infiltração da água o que consequentemente acarreta num maior escoamento superficial.

A declividade do Álveo pode ser obtida pela *declividade entre extremos*, dividindo-se a diferença entre a cota máxima (cabeceira) e mínima (foz) do rio pelo seu comprimento. As unidades de medida da declividade de um rio são, normalmente, m/m ou m/km. A Declividade do álveo, ou seja, a declividade dos canais fluviais, defini a velocidade de escoamento de um rio. Assim, quanto maior a declividade, maior será a velocidade de escoamento e bem mais pronunciado e estreito serão os hidrogramas de enchentes nas áreas mais baixas. A tabela 05 define a declividade do álveo dos principais cursos d'água na bacia do Ribeirão das Antas.

Tabela 05: Declividade do álveo dos principais cursos d'água no Ribeirão das Antas.

Características Físicas	Sub bacias					Bacia Antas
	Poços	Alto Antas	Vargens	Cipó	Baixo Antas	
Comp. do curso d'água (m)	21.041	39.613	13.479	18.867	21.118	61.855
Cabeceira – Foz (m)	230	192	175	101	64	460
Declividade do álveo (m/km)	10.9	4.8	13.0	5.4	3.0	7.4

C) Forma da bacia hidrográfica

De acordo com VILLELA E MATTOS (1975) O fator de forma, combinado com o coeficiente de compacidade sugere que a forma da bacia a torna pouco ou muito propensa a inundações. **O coeficiente de compacidade** (**Kc**) de uma bacia hidrográfica é um índice que informa sobre a susceptibilidade da ocorrência de inundações nas partes baixas da bacia. O **Kc** é definido pela relação entre o perímetro da bacia e o perímetro do círculo de igual área. Quanto mais irregular for a bacia, maior será o coeficiente. Sendo **A** a área da bacia e **Per** o seu perímetro, e sendo **r** o raio do círculo, ter-se-á:

$$A = \pi\ r^2 \Rightarrow r = \sqrt{\frac{A}{\pi}}. \qquad \text{Equação (1)}$$

E, da definição de coeficiente de compacidade:

$$k_c = \frac{Per}{2\pi r} \Rightarrow k_c = \frac{Per}{2\pi\sqrt{A/\pi}},$$

Equação (2)

Quanto mais circular mais susceptível a enchentes. Bacias que apresentam este coeficiente próximo de 1 são mais compactas, tendem a concentrar o escoamento e são mais susceptíveis a inundações.

O **fator forma** - **Kf** é obtido pela relação entre a *largura média da bacia* e o seu *comprimento axial*. O comprimento axial da bacia hidrográfica, L, é igual ao comprimento do curso d'água principal mais a distância da sua nascente ao divisor topográfico. A largura média da bacia, ℓ, é obtida dividindo-se a área da bacia pelo seu comprimento axial:

$$\ell = \frac{A}{L}.$$

Equação (3)

Assim, o fator de forma resulta:

$$k_f = \ell/L = A/L^2.$$

Equação (4)

Dentre as bacias de mesma área, aquelas arredondadas são mais susceptíveis a inundações que as alongadas. Bacias alongadas apresentam pequenos valores do fator de forma (**Kf**) e são menos susceptíveis às inundações, uma vez que se torna menos provável que uma chuva intensa cubra toda a sua extensão da bacia.

A tabela 06 determina o fator forma e o coeficiente de compacidade das principais sub bacias do Ribeirão das Antas na sua totalidade.

Tabela 06: Fator forma e coeficiente de compacidade das principais bacias do Ribeirão das Antas.

Características Físicas	Sub bacias					Bacia Antas
	Poços	Alto Antas	Vargens	Cipó	Baixo Antas	
Área de Drenagem (Km^2)	82.67	181.99	41.72	76.47	72.15	455
Perímetro (Km)	48.73	73.74	28.15	44.76	42.06	114.7
Raio do círculo (r)	5.13	7.61	3.61	4.93	4.79	12.03
Comprimento axial (L)	21.03	39.6	13.65	10.15	21.12	55.85
Coef. de compacidade (**Kc**)	1.51	1.54	1.24	1.44	1.39	1.51
Fator forma (**Kf**)	0.18	0.11	0.22	0.2	0.16	0.14

Desta forma, a sub bacia do Ribeirão das Vargens apresenta uma maior susceptibilidade a inundações enquanto que a sub bacia do Alto Antas é a menos provável a sofrer uma inundação.

D) Sistemas de Drenagem (Anexo V)

O sistema de drenagem de uma bacia hidrográfica é constituído pelo curso d'água principal mais os tributários. O sistema inclui todos os cursos d'água, sejam eles perenes, intermitentes ou efêmeros. A drenagem de uma área é fortemente controlada por fatores lito-estrutural originando padrões de drenagem distintos na forma e na densidade.

Na bacia do Ribeirão das Antas pode-se encontrar padrões **radiais** (interior das estruturas circulares), **dendríticos** e alguns **vales retilíneos** isolados. O padrão de drenagem paralela (vales retilíneos) ocorre em regiões de vertentes com acentuada declividade, ou onde existam controles estruturais que favoreçam a formação de correntes fluviais paralelas. O padrão radial está condicionado às estruturas circulares. Excetuando a drenagem paralela e radial o restante da bacia apresenta o padrão dendrítico, que lembra a configuração de uma árvore, é típica de regiões onde predomina rocha de resistência uniforme.

Quando os rios nascem próximos a um ponto comum e se irradiam para todas as direções, a drenagem é classificada como radial centrífuga (domos, cones vulcânicos, morros isolados) (GUERRA & CUNHA, 1998).

Vales retilíneos isolados podem retratar estruturas de fraturas e de falhas onde as rochas são fraturadas e muitas vezes moídas facilitando a penetração e percolação da água da chuva. A rede de drenagem mostra caimento preferencial NW, assim como a resultante das direções do fraturamento nas rochas.

Como critério de **ordenamento dos canais**, destaca-se o método proposto por STRAHLER (1952) e citado por VILLELA & MATTOS (1975), onde os menores canais, que iniciam a rede de drenagem, são considerados de primeira ordem. Quando dois canais de primeira ordem se unem, formam um de segunda ordem, que poderá receber um de primeira. A união de dois canais de segunda ordem forma um de terceira e

assim sucessivamente. A tabela 07 representa a ordem dos principais cursos d'água na bacia do Ribeirão das Antas.

Tabela 07: Ordem dos principais cursos d'água na bacia do Ribeirão das Antas.

Características Físicas	Sub bacias					Bacia Antas
	Poços	Alto Antas	Vargens	Cipó	Baixo Antas	
Ordem Cursos D'água (O)	4	5	3	4	5	5

O Ribeirão das Antas apresenta ordem 5 e seus afluentes o Ribeirão do Cipó e Ribeirão de Poços apresentam ordem 4, enquanto que o Ribeirão das Vargens possui ordem 3. A ordem dos rios é uma classificação que reflete o grau de ramificação dentro da bacia, quanto maior a ordem do rio principal, maior a extensão da ramificação da bacia. Bacias hidrográficas mais desenvolvidas tendem a ser mais bem drenadas, desta forma, numa mesma escala e num mesmo tipo de ambiente, uma drenagem de 1ª ordem terá sempre menor volume que uma de 2ª, menor número de tributários, menor descarga recebida e assim por diante.

Uma indicação razoável do grau de desenvolvimento de um sistema de drenagem é fornecida pelo índice chamado **densidade de drenagem**. HORTON (1932) definiu densidade de drenagem como sendo a razão entre o comprimento total dos canais e a área da bacia hidrográfica. Seu estudo indica a maior ou menor/maior velocidade com que a água deixa a bacia hidrográfica. Bacias bem drenadas apresentam alto escoamento superficial.

$$\mathbf{Dd = \sum L/A} \qquad \text{equação (5)}$$

Onde: L é o comprimento dos cursos d'água (km) e A é a área da bacia (km^2).

O índice indica o grau de desenvolvimento do sistema de drenagem, ou seja, fornece uma indicação da eficiência da drenagem da bacia. Os valores deste índice para as bacias naturais encontram-se, geralmente, compreendidos na faixa de 0,5 km^{-1} a 3,5 km^{-1}, sendo que o limite inferior caracteriza as bacias com drenagem pobre e o limite superior aplica-se a bacias excepcionalmente bem drenadas. A tabela 08 determina a densidade de drenagem das sub bacia do Ribeirão das Antas.

Tabela 08: Densidade de drenagem das sub bacias do Ribeirão das Antas.

Características Físicas	Sub bacias					Bacia Antas
	Poços	Alto Antas	Vargens	Cipó	Baixo Antas	
Número de cursos d'água	123	240	54	93	82	592
Comprimento total dos cursos d'água (Km)	147.02	354.37	68.4	124.04	134.84	870.02
Densidade de drenagem (Km/Km^2)	1.77	1.95	1.63	1.62	1.86	1.91

As áreas de **baixa densidade de drenagem** são constituídas por relevo plano e suave ondulado, cuja condição de alta permeabilidade permite rapidez de infiltração de água e conseqüente formação de aqüíferos. As áreas de **alta densidade de drenagem** são mais características em terrenos onde o relevo possui maior movimentação topográfica.

E) Uso e ocupação das terras e cobertura vegetal (Anexos VI e VII)

O mapeamento dos usos das terras foi desenvolvido a partir da interpretação e classificação de uma imagem gerada pelo satélite Landsat 7 ETM^+, referente a outubro de 2000. A composição de bandas RGB que melhor evidencia as características desejadas foi a composição 453 – RGB. A banda 3 corresponde a faixa do Vermelho; A banda 4 é a do Infra-Vermelho; A banda 5 é a faixa do Infra-vermelho próximo. Na seqüência foi feito um recorte desta cena, utilizando o vetor "limite da bacia do Ribeirão das Antas" como molde para a aplicação da máscara (Anexo VI). A partir da recortada foi feita a coleta de amostras, e construção dos **arquivos amostrais - ROI's,** para os seguintes alvos: *Água, agricultura, campos, solo exposto, área urbana, vegetação e eucalipto*. Os ROi's foram gerados agrupando para cada classe de alvo desejado, a maior diversidade possível de variações de cores que a represente na imagem e que possuam as mesmas características de DN´s (níveis de cinza).

Com estes arquivo ROi's, já amostrados, utilizou-se o recurso de classificação supervisionada aplicando o método *Mahalanobis Distance,* gerando assim, uma imagem classificada (Anexo VII). Finalmente pode-se fazer o refinamento da imagem classificada empregando a função *Sieve classes*. O produto final deste processamento foi exportado

como *shapefile*, possibilitando assim calcular a área referente a cada classe de uso (Tabela 09). A figura 06 expressa o uso e ocupação das terras e a cobertura vegetal em percentagem ocupada por sub bacia.

Tabela 09: Uso e ocupação das terras das e cobertura vegetal sub bacias do Ribeirão das Antas.

Classe de uso	Sub bacias - m^2					Bacia do Antas
	Poços	Vargens	Alto	Cipó	Baixo	
Agricultura	10.142.656	7.351.658	22.275.826	12.681.506	12.555.294	**65.006.941**
Mata	29.173.043	12.667.349	37.040.105	13.242.115	19.501.202	**111.623.814**
Eucalipto	1.713.628	1.592.202	8.236.403	4.969.968	2.707.466	**19.219.667**
Campo	24.160.083	14.457.467	103.394.066	38.407.574	29.940.870	**210.360.060**
Água	751.977	707.373	3.304.861	4.889.038	3.476.742	**13.129.990**
Urbano	16.171.875	4.522.032	3.618.273	1.394.643	3.571.538	**29.278.361**
Solo exp.	562.541	424.719	4.079.097	893.256	393.328	**6.352.942**
Somatório	**82.675.803**	**41.722.800**	**181.948.631**	**76.478.101**	**72.146.440**	**454.971.776**

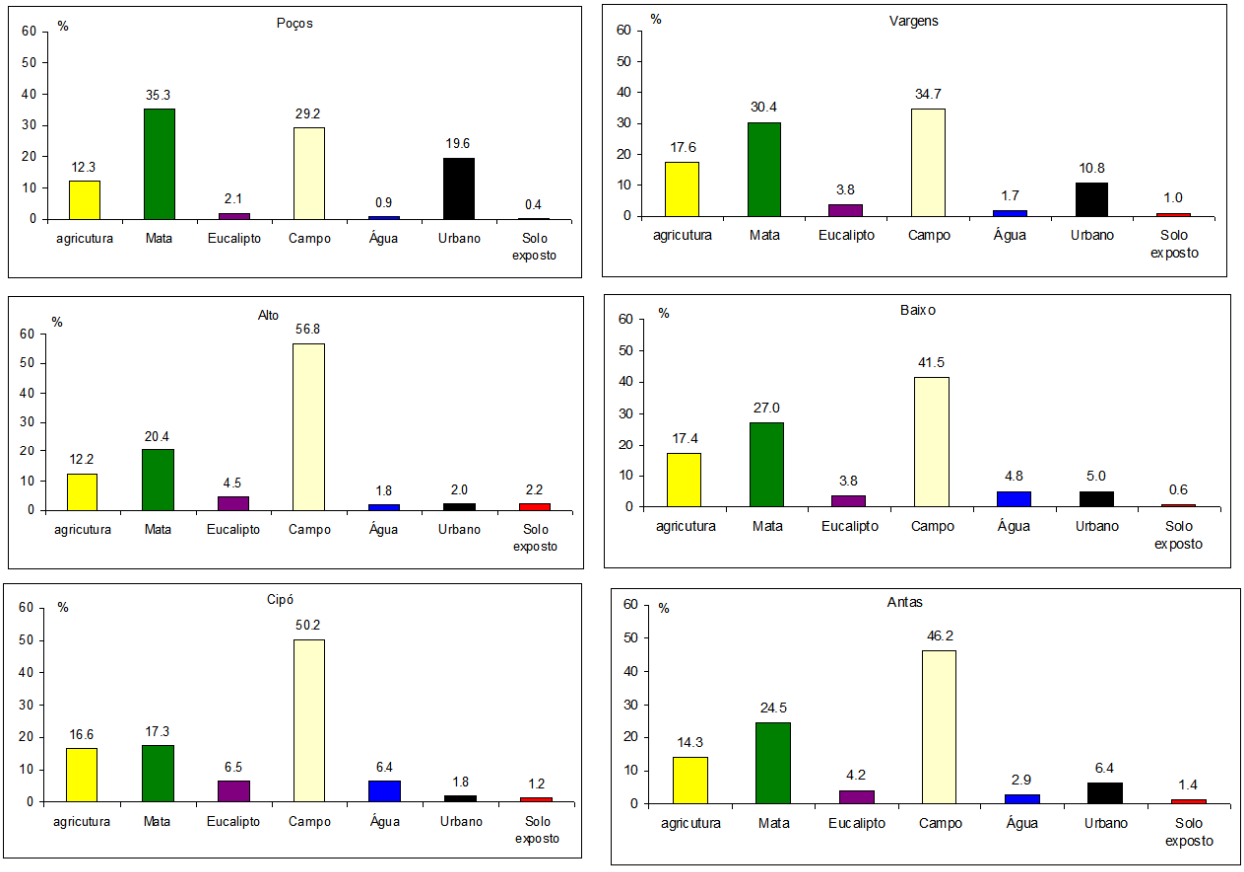


Figura 06: Percentagem das classes de uso e ocupação das terras e cobertura vegetal nas sub bacias do Ribeirão das Antas.

A bacia hidrográfica caracteriza-se por uma diversificada e heterogênea cobertura vegetal. Basicamente a vegetação natural apresenta-se dois tipos: campo e floresta tropical, denominado neste trabalho como mata. Essa denominação mata se deve ao fato de que as formações florestais da região apresentam-se sob a forma de mosaicos de diferentes estágios sucessionais e tipologias, dificultando sua delimitação precisa.

Observa-se contatos transicionais da floresta estacional semidecidual à floresta ombrófila mista. Há ocorrência de pinheiros (araucária) formando pequenos agrupamentos ou, isoladamente, no meio da mata. Existem ainda áreas de reflorestamento com espécies de eucaliptos e pinheiros. Essas área podem ser observadas entre a mata nas porções norte e na porção central da bacia hidrográfica do Ribeirão das Antas. Trata-se de uma prática que deve ser bem controlada de modo que seu manejo não interfira no ecossistema local.

Contudo observa-se a predominância de campo. Os Campos são constituídos por gramíneas rústicas, predominando a "barba de bode" e arbustos baixos, de caule retorcido e de casca grossa. Esse tipo de vegetação se distribui tanto no topo dos morros quanto nas vertentes de colinas, em zona urbana ou rural.

A área urbana vem se expandindo rapidamente em áreas importantes para a recarga de aqüíferos, principalmente na sub bacia de Poços, que apesar de ser uma sub bacia extremamente urbanizada apresenta grande parte de sua área ocupada por mata.

Existem 4 represamento de água no curso do Ribeirão das Antas. O reservatório próximo a cabeceira do Ribeirão das Antas pertence à INB (Indústrias Nucleares do Brasil), o reservatório na sub bacia do Baixo Antas (Bortolan), denominação local, é um importante ponto turístico da região. O reservatório na sub bacia do Cipó atualmente é destinado a regularização de vazão no Antas e ao abastecimento público. E por fim, o pequeno reservatório (Saturnino de Brito) na sub bacia de Poços, é o mais antigo deles, construído na década de 30 com objetivo de controlar enchentes nas partes mais baixas desta sub bacia. Nota-se que a represa Saturnino de Brito, localizada na sub bacia de Poços aparece classificada como solo exposto, isto devido ao assoreamento existente nessa barragem. Tal fato influencia diretamente no processo de classificação da imagem, o qual reconhece a pequena barragem com propriedades de solo exposto.

Dentre as culturas agrícolas se destaca a cultura da batata, que apresenta os impactos como erosão, poluição por fertilizantes e agrotóxicos, consumo elevado de água, dependo das características de manejo.

O solo exposto aparece com maior freqüência na sub bacia do Alto Antas. Provavelmente associado à prática de agricultura e a vegetação pouco densa, com predominância de campos nessa sub bacia.

A região é dotada de grandes reservas minerais. A exploração mineral de maior significância no planalto é a bauxita e argila.

- Bauxita
- Argilas refratárias
- Zircônio
- Urânio
- Tório
- Pedras ornamentais
- Elementos terras raras (ETR)
- Molibdênio
- Vanádio
- Potássio
- Ferro
- Águas sulfurosas

Em relação a sua gênese, as jazidas supracitadas podem ser divididas em dois grandes grupos:

I. As de origem primária, relacionadas às atividades hidrotermais sobre as rochas do Complexo Alcalino; *bauxita e as de argilas refratárias*
II. As de formação determinada pelo intemperismo sobre as rochas do Complexo e das encaixantes; *Demais bens minerais*

Essas minerações provocam a contaminação e interferência na quantidade das águas subterrâneas locais. A lavra de substâncias argilosas é sempre problemática para as águas subterrâneas. A extração é feita em áreas extensas, com grandes interferências em zonas de recarga e impondo modificações nas linhas preferenciais de fluxos superficiais. Podem, por isso, comprometer os aqüíferos qualitativa e quantitativamente. Portanto, devem ser administrada de forma sistêmica e integrada com as demais atividades que também dependem da manutenção do meio ambiente, respeitando as limitações da região.

A figura 07 demonstra o potencial mineral da região, praticamente toda bacia hidrográfica do Ribeirão da Antas se encontra ocupada por poligonais referente aos processo para exploração de lavra e grande parte dessas poligonais já possuem licença para exploração. Observa-se inúmeras concessões de lavra para exploração de bauxita na porção norte da bacia, região de alta declividade e ocupada pelos maiores fragmentos de mata da bacia hidrográfica.

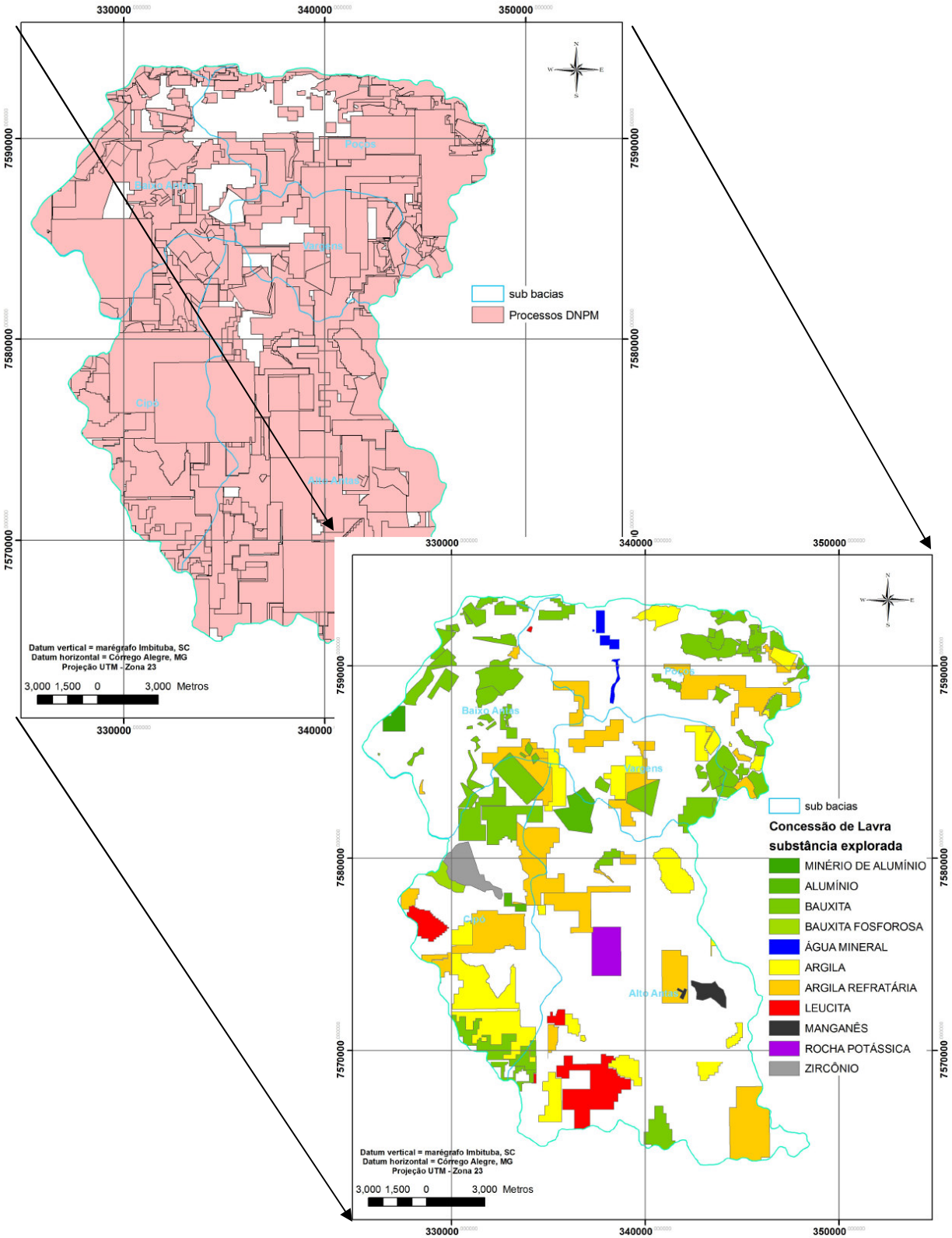


Figura 07: (acima) Conjunto de processos de lavra no DNPM – Departamento Nacional de Produção Mineral. (abaixo) Substâncias exploradas já com a concessão do direito de lavra.

5 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho permitiu identificar e espacializar informações sobre o meio físico e fornecer informações úteis ao planejamento, utilização e preservação dos recursos naturais/hídricos, além de servir como uma base cartográfica para futuros estudos e elaboração de cartas temáticas que venham subsidiar o ordenamento do uso e ocupação das terras.

A espacialização do conjunto de fraturamento é de extrema importância para recarga de água subterrânea. Grande parte do sistema de drenagem obedece às direções principais de diáclases.

Os diversos litotipos, de composição química semelhante e textura diferenciada, representam uma base para futuros estudos pedológicos por apresentarem um perfil de alteração diferenciado.

A natureza vulcânica da região e as rochas alcalinas deram ao Planalto características geológicas e hidrogeológicas bem particulares que caracterizaram feições marcantes no relevo. As estruturas circulares condicionaram a geomorfologia local, formando áreas com relevo mais acidentado e níveis altimétricos acima de 1500 metros, constituindo em seu interior drenagens radiais. As estruturas circulares coincidem com os maiores níveis altimétricos e solos mais rasos (cambissolos háplicos) e representam áreas de elevado potencial para recarga do aqüífero fraturado.

Nas áreas adjacentes as essas estruturas circulares ocorre uma depressão, ocupando as áreas de menores altitudes no Planalto, região por onde o Ribeirão das Antas forma seu leito, apresentando características meandrantes e formando várzeas bem desenvolvidas e solos mais argilosos (neossolos regolíticos).

Os parâmetros fisiográficos (relevo, forma e sistema de drenagem) permitiram realizar uma avaliação e correlação entre as sub bacias quanto à velocidade do escoamento superficial e identificação de áreas mais susceptíveis a inundações.

A recarga dos aqüíferos do Planalto de Poços de Caldas se dá por infiltração direta nas fraturas que controlam a rede de drenagem superficial, desta forma, as **possibilidades de infiltração** são mais efetivas naquelas zonas em que há o condicionamento da drenagem pelo fraturamento. Uma vez infiltradas, o escoamento das

águas dependerá do grau de abertura das fendas, de seu comprimento, profundidade efetiva e do grau de interconexão entre os diferentes sistemas que controlam os planos de descontinuidade.

Fica evidente a necessidade de uma gestão apropriada às fragilidades do meio físico, de modo que a exploração dos recursos naturais na bacia hidrográfica não comprometa o meio ambiente.

6 – BIBLIOGRAFIA CITADA

ALMEIDA FILHO, R. (1995). Integração, manipulação e análise espacial de dados na pesquisa mineral através de modelos empíricos de prospecção: Um exemplo no planalto de Poços de Caldas. Revista Brasileira de Geofísica, v. 13, n.2, p.127-142.

BARBOSA JR., A. R. (2002). Hidrologia aplicada. Apostila de curso. Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto.

CAVALCANTE, J. C.; CUNHA H.C. da S.; CHIAREGATI, L. A. (1979) Projeto Sapucaí, Estados de São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais. Relatório final de Geologia. Brasília: DNPM/São Paulo: CPRM, (Série Geologia, 4; Seção Geológica, 2): 229p.

COSTA, P. C. G. *et. al*. (1998) Projeto hidrogeoambiental das estâncias hidrominerais da companhia mineradora de Minas Gerais – COMIG. 69p.

CHRISTOFOLETTI, A (1970) Análise morfométrica das bacias hidrológicas do Planalto de Poços de Caldas – MG. Tese (Livre Docência) – Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras (Rio Claro - SP, 215p).

CRUZ, W.B. (Coordenador, 1987) Avaliação Hidrogeológica e Hidrogeoquímica dos Arredores de Poços de Caldas. CETEC. Belo Horizonte/MG.

DE BIASE, M. (1993). A carta clinográfica: os métodos de representação e sua confecção. Revista de Geografia, São Paulo, v. 6, p. 45-60.

ELLERT, R. (1958). Contribuição à geologia do maciço alcalino de Poços de Caldas, Tese (Doutorado), IGC – Instituto de Geociências, USP, São Paulo.

FRAENKEL, M. O.; SANTOS, R. C., LOURENÇO, F. E. V. L.; MUNIZ, W. S. (1985). Jazida de urânio no planalto de Poços de Caldas, Minas Gerais. In: DNPM. Principais depósitos minerais do Brasil, vol.1, cap.5, p. 89-103.

FRANGIPANI, A. (1991). Avaliação do Potencial Hidrogeotérmico de Poços de Caldas, São Paulo, IPT/FINEP.

GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S.B. (1998). Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos. Editora Bertrand Brasil. Rio de Janeiro.

HOLMES D. C., Pitty A.E., Noy D.J. Geomorphological and hydrogeological features of the Poços de Caldas caldera analogue study sites. Journal of Geochemical Exploration, 45 (1992) 215-247. Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam.

HORTON, R.E., 1932. Drainage Basin Characteristics. Trans. American Geophysical Union, 13: 350-361.

LEINZ, V. (1998). Geologia Geral. Editora nacional. São Paulo.

LIPORACI, S. R. (1994). Procedimentos e Metodologias de Mapeamento Geotécnico: Aplicado na Cidade e Parte do Município de Poços de Caldas, Minas Gerais – escala 1: 25.000 – Visando o Planejamento do Uso e Ocupação do Meio Físico. Dissertação de Mestrado Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo – USP.

MORAES, F. T.; JIMÉNEZ-RUEDA, J. R. (2005). Caracterização morfoestrutural do município de Poços de Caldas, MG, visando o estabelecimento de zonas geoambientais. Instituto de Geociências e Ciências Exatas – Unesp, Rio Claro.

MORAES, F. T. (2008) Zoneamento geoambiental do planalto de Poços de Caldas, MG/SP a partir de análise fisiográfica e pedoestratigráfica. Tese (Livre Docência) Universidade Estadual Paulista - Instituto de Geociências e Ciências Exatas. (Rio Claro/SP, 173 p.)

MORISAWA, M., 1968. Streams: their Dynamics and Morphology. McGraw-Hill Book Co., New York, 174 p.

OLIVEIRA, A. de; FERREIRA, E. Caracterização de sub-bacias hidrográficas. Lavras: Ufla/Faepe, 2001. 64 p. (Textos Acadêmicos. Curso de pós-graduação “Lato Sensu” (especialização) a Distância. Gestão e manejo ambiental em sistemas agrícolas.

ROSTAGNO, L. S. C. da. Caracterização de uma paisagem na área de influência do Reservatório da Usina Hidrelétrica do Funil, Ijaci-MG. 1999. 66 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

SILVEIRA, A.L.L. Ciclo hidrológico e bacia hidrográfica. In: TUCCI, C.E.M. (Org.). Hidrologia: ciência e aplicação. São Paulo: EDUSP, 2001. p 35-51.

TUCCI, C. E. M. (2002). Hidrologia: ciência e aplicação. 3ª ed. Editora UFRGS/ABRH, Porto Alegre, RS, 943p.

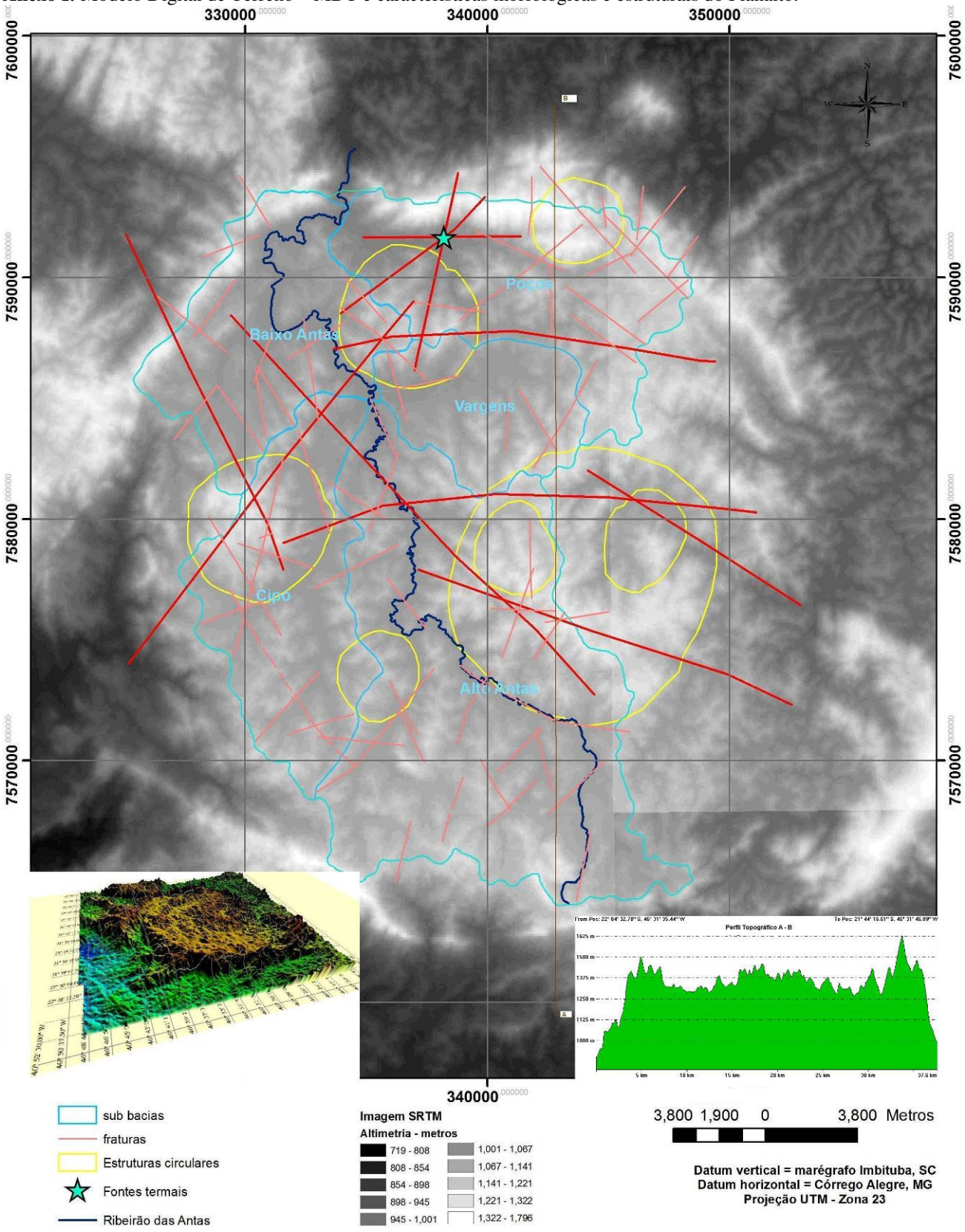
VILLELA, S.M.; MATTOS, A. (1975) Hidrologia Aplicada. São Paulo, McGraw-Hill do Brasil, 245p.

Sites Visitados:

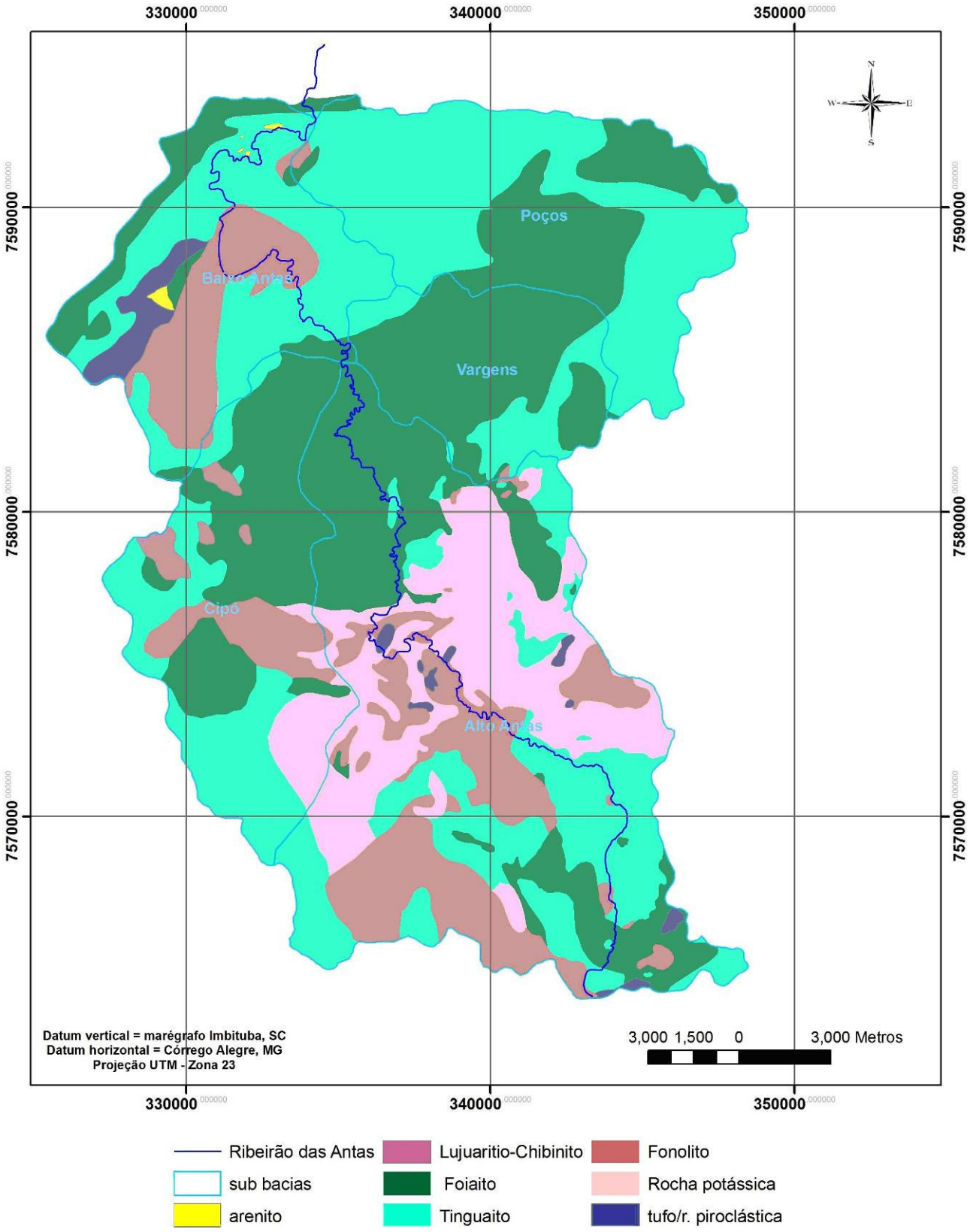
http://glcf.umiacs.umd.edu/data/srtm/ acessado: 14/10/2006

https://zulu.ssc.nasa.gov/mrsid/mrsid.pl/ acessado: 14/10/2006

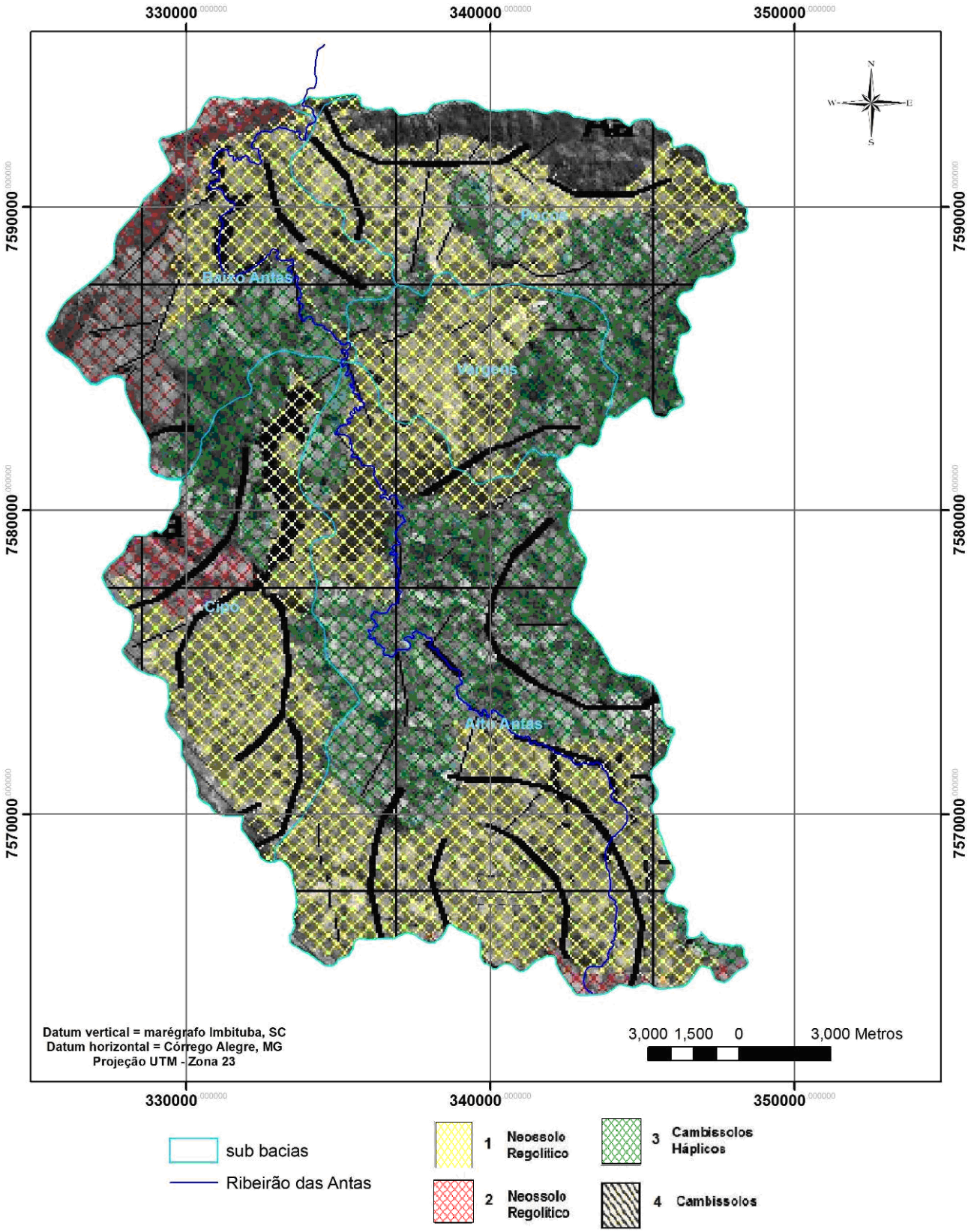
Anexo I: Modelo Digital de Terreno – MDT e características morfológicas e estruturais do Planalto.



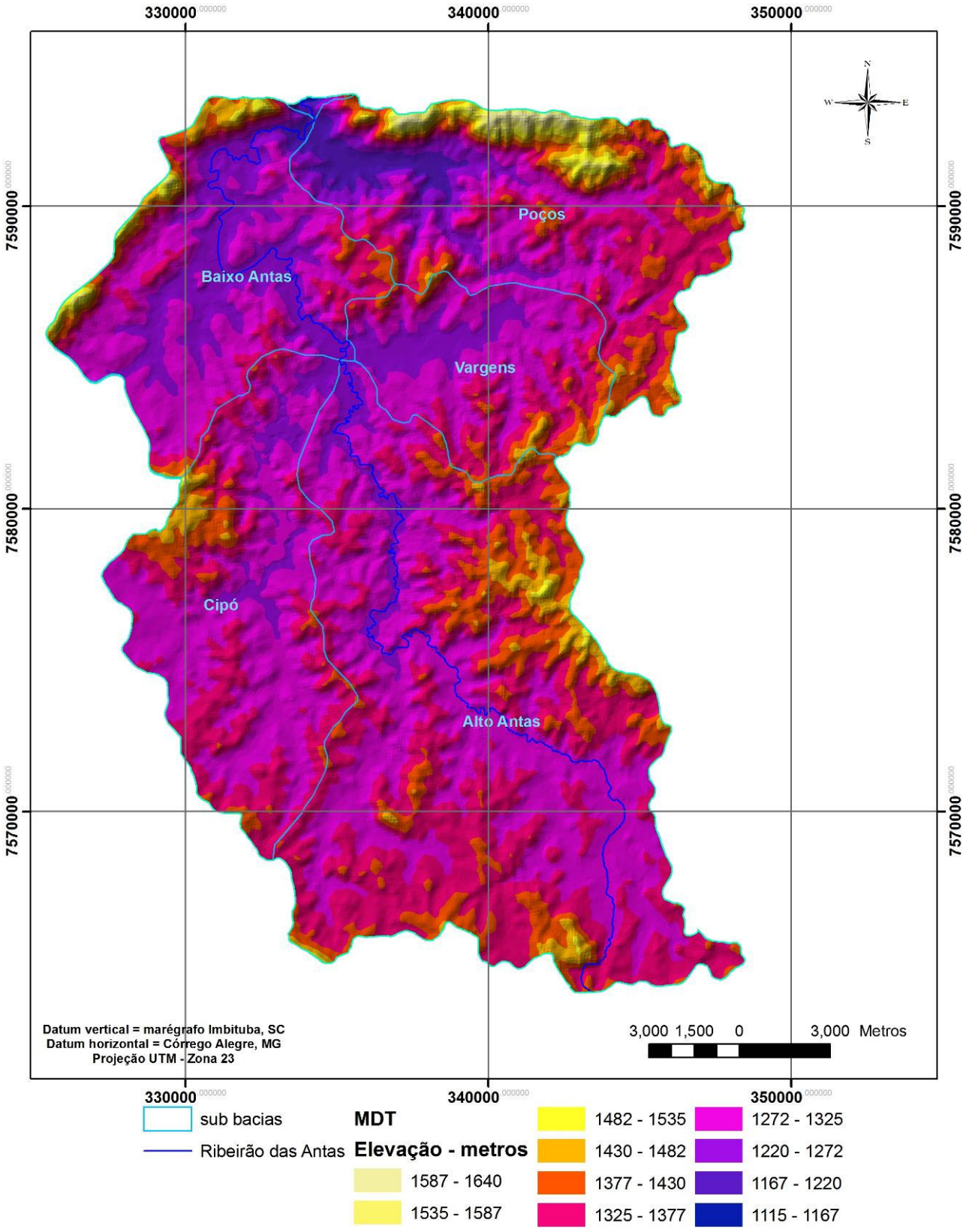
Anexo II: Mapa litológico (fonte: Nuclebrás – 1972).



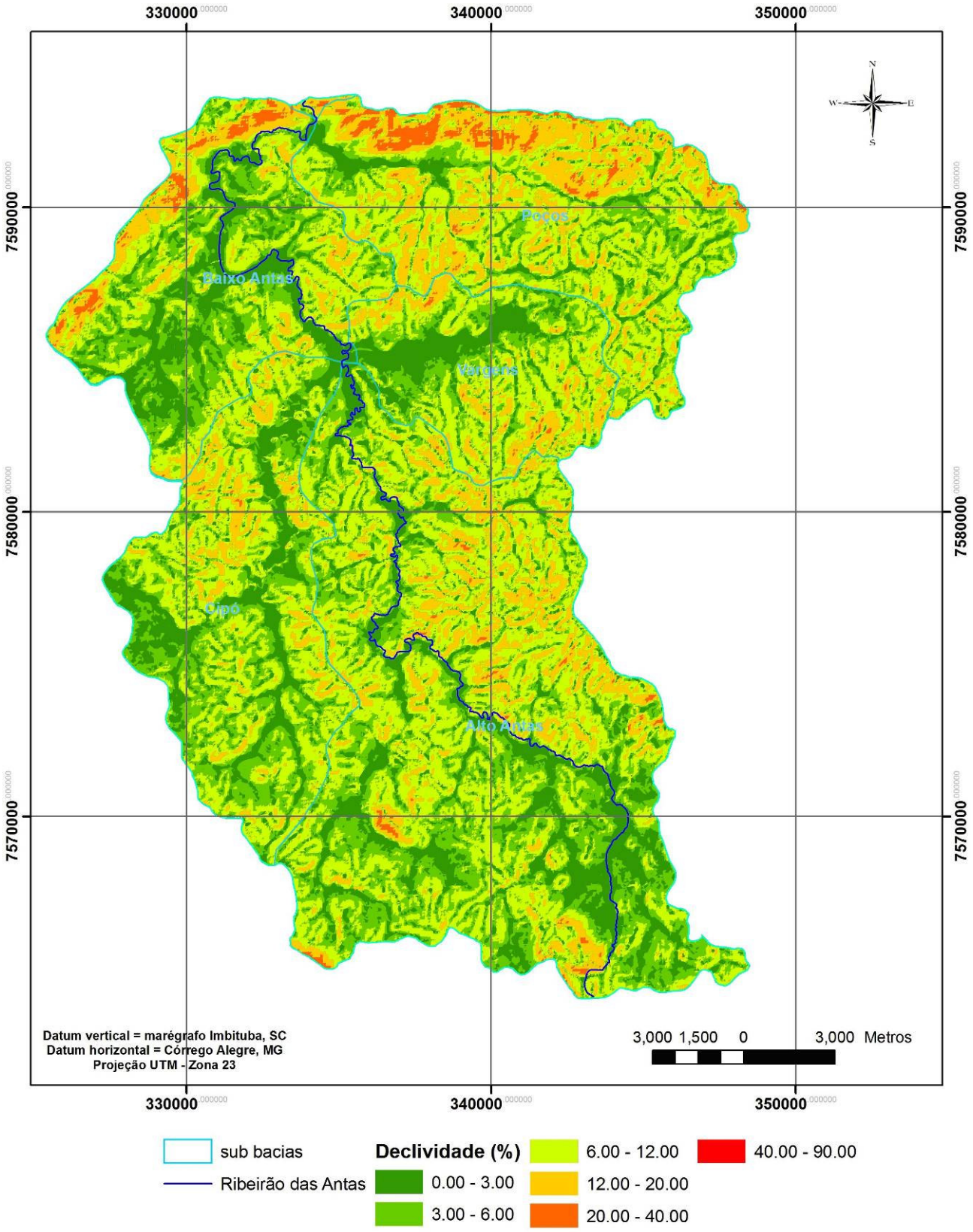
Anexo III – Mapa de solos (MORAES, 2008).



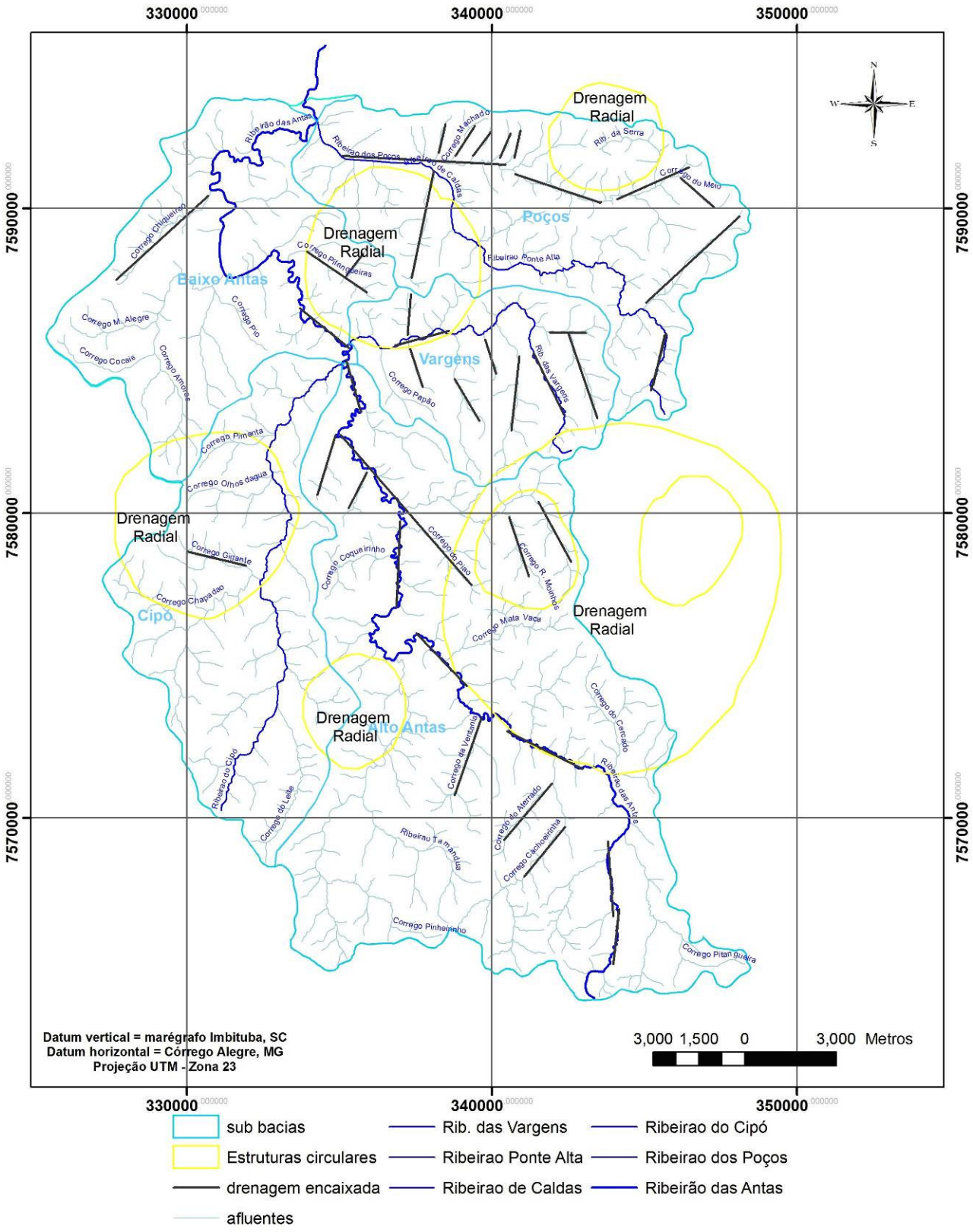
Anexo III: Mapa Hipsométrico.



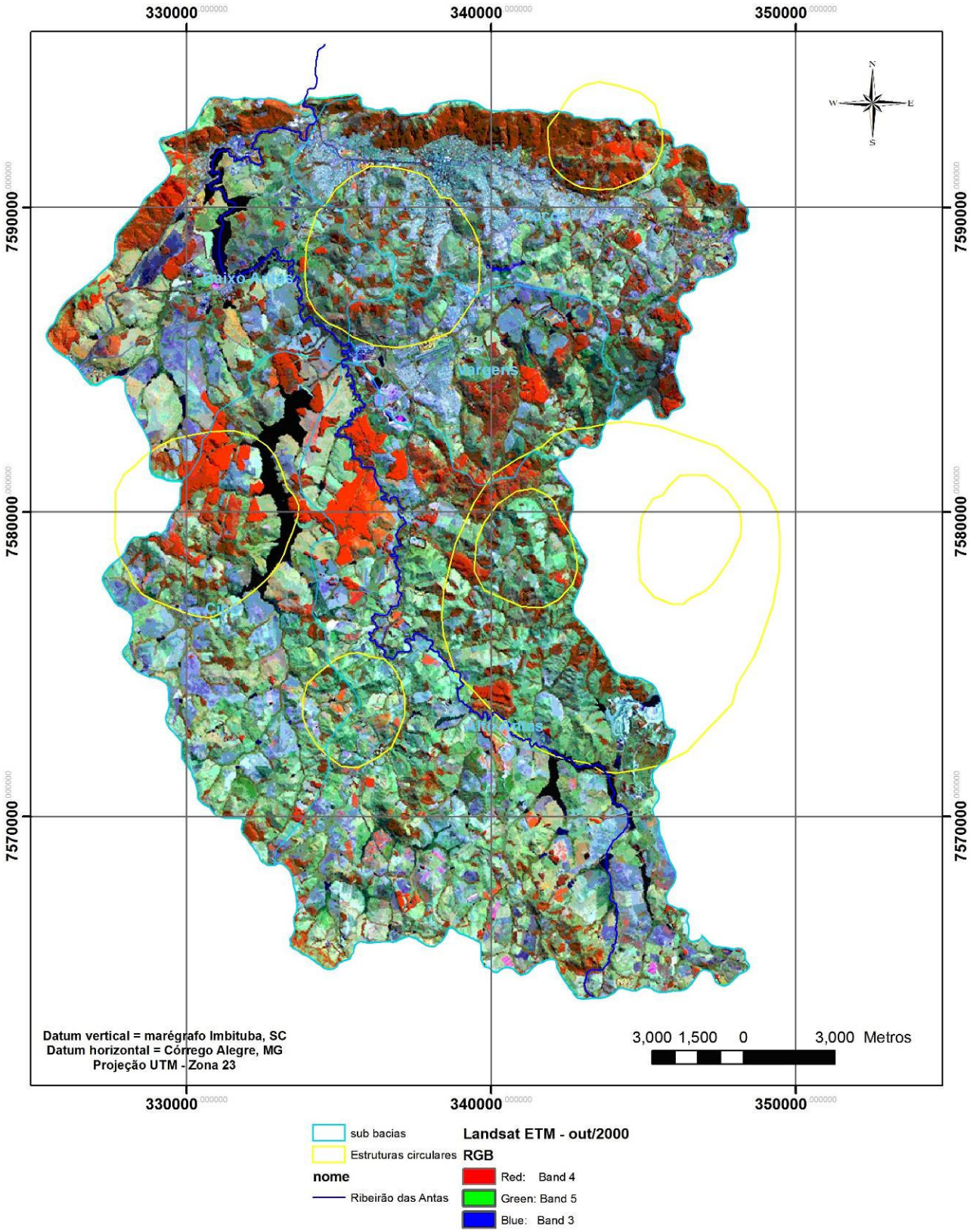
Anexo IV: Mapa de Declividade.



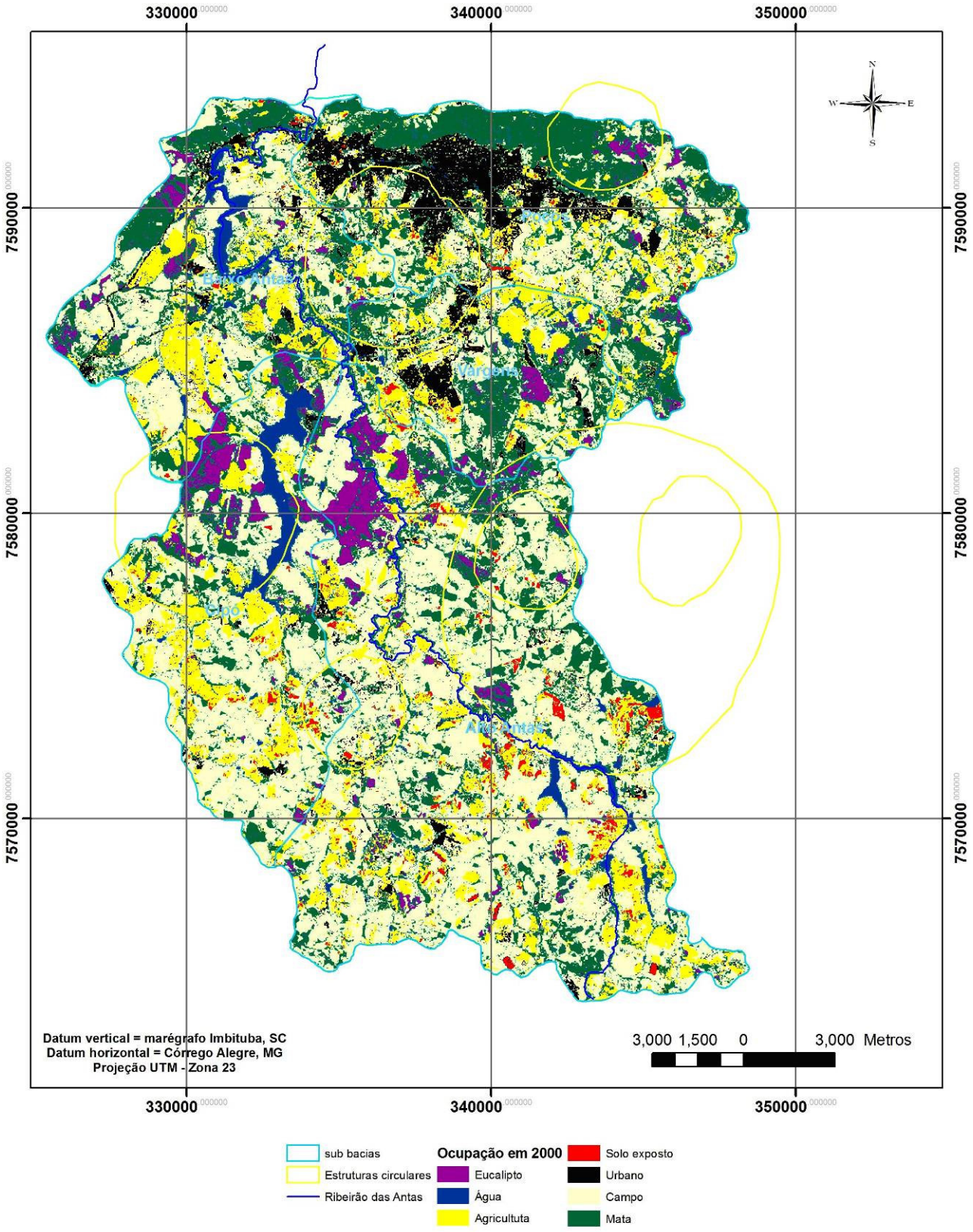
Anexo V: Mapa de Drenagem.



Anexo VI: Imagem Landsat 7 ETM^{+} (outubro/2000), falsa cor – 453/RGB.



Anexo VII: Mapa de uso e ocupação das terras e cobertura vegetal.



Avaliação hidrológica e elaboração do Balanço Hídrico na Bacia do Ribeirão das Antas, Planalto de Poços de Caldas, MG

RESUMO

Neste trabalho foi realizada uma investigação nos componentes hidrológicos locais, quantificando e avaliando suas variações sazonais. Observou-se que os componentes hidrológicos apresentam um padrão típico de países tropicais, possuem uma sazonalidade ajustada às estações climáticas. Pode-se concluir pelo Balanço Hídrico que de toda precipitação média anual ocorrida na bacia do Ribeirão das Antas entre os anos de 1986 a 1994 a evapotranspiração representou cerca de 47,6%, o deflúvio 48,8% e que 3,6% ficou armazenada no interior da bacia hidrográfica. Dos 48,8% correspondente ao deflúvio cerca de 20,8 % representam o escoamento subterrâneo e o restante 28,0% representa o fluxo direto. O Balanço hídrico permitiu também calcular os períodos de recarga e descarga do lençol freático no Ribeirão das Antas.

Palavras chave: hidrologia, balanço hídrico, recarga

Hydrological Evaluation and Elaboration of a Hydro-Balance in the Antas River Basin, Poços de Caldas Plateau, MG

ABSTRACT

This work performed an investigation of the local hydrological components, quantifying and evaluating seasonal variations. Hydrological components in this study presented a typical standard from tropical countries, having a seasonality adjusted to weather seasons. It can be concluded, through the hydro-balance, that from all annual average water precipitation that occurred in the Antas Reservoir between 1986 and 1994, approximately 47,6 % was evaporated, defluviation represented 48,8 % of the precipitate, and 3,6 % were stored in the hydrographic basin interior. Among the 48,8 percentage corresponding to the defluviation value, approximately 20,8 % represented direct flow. Through the annual and monthly hydro-balance it was also possible to determine recharge and discharge periods for groundwater bed in the Antas Reservoir.

Key words: Hydrology, hydro-balance, recharge

1 – INTRODUÇÃO

Neste trabalho será realizada uma investigação nos componentes hidrológicos locais, quantificando e avaliando suas variações sazonais. A hidrologia é a ciência que trata da água da Terra, sua ocorrência, circulação e distribuição, suas propriedades físicas e químicas, e suas reações com o meio ambiente, incluindo suas relações com a vida (PAIVA & CAUDURO, 2003). Essa ciência tem influência direta em projetos de abastecimento de água, construção de obras hidráulicas, drenagem, irrigação, controle de poluição e erosão, navegação, geração de energia, recreação e meio ambiente (vida aquática).

Considera-se a hidrologia como uma ferramenta, um instrumento a ser utilizado na gestão dos recursos hídricos. Sua aplicação está voltada justamente para diferentes problemas que envolvem a utilização dos recursos hídricos, preservação do meio ambiente e ocupação de bacias. Na natureza, a água se encontra em permanente movimento entre a atmosfera, a hidrosfera, a litosfera e a biosfera. A dinâmica das transformações e a circulação nas referidas unidades formam um complexo ciclo hidrológico.

RUTKOWSKI (1999) afirma que "a capacidade de cada localidade de sustentar as atividades antrópicas que são dependentes hídricas, é determinada pelo comportamento local do ciclo hidrológico". Na hidrologia, presume-se por recursos hídricos, toda forma de ocorrência de água, seja ela superficial ou subterrânea, em condições economicamente e potabilidade adequada para atender as necessidades do Homem e suas demais atividades. Sabe-se então, que o gerenciamento dos recursos hídricos consiste essencialmente na quantificação dos componentes do ciclo hidrológico.

Ao se realizar um estudo hidrológico é de suma importância a delimitação da região em estudo, denominada bacia hidrográfica ou bacias de drenagem. Uma bacia hidrográfica pode ser definida como uma área limitada por um divisor de águas e de contribuição para determinados cursos d'água, nela ocorre a captação da água de precipitação e esta é descarregada através de uma única saída denominada ponto de exutório (TUCCI, 2002).

Contudo, pretende-se neste trabalho descrever o comportamento natural da água quanto as suas ocorrências e transformações na bacia do Ribeirão das Antas, Planalto de Poços de Caldas, MG.

2 – LOCALIZAÇÃO DA BACIA DO RIBEIRÃO DAS ANTAS

O Planalto de Poços de Caldas possui duas bacias hidrográficas: a bacia do Ribeirão da Antas e a bacia do Rio Verde, ambas afluentes do Rio Pardo, inseridas na Bacia do Rio Grande, afluente do Rio Paraná. A bacia hidrográfica do Ribeirão das Antas, objeto do estudo, ocupa aproximadamente 70% da área total do Planalto de Poços de Caldas, possui uma área de cerca 455 km^2, nasce na borda sul a 1.640m de altitude e num percurso de 62 km, transpõe na borda norte, na cachoeira das Antas, a 1.180m de altitude. Está situada a 460 km de Belo Horizonte e 330 km de São Paulo, sua localização geográfica é determinada pelas coordenadas centrais: 21º47'00'' S e 46º33'00'' W.

Na figura 01, pode-se observar caldeira vulcânica e o limite da bacia do Ribeirão das Antas e sua localização no estado de Minas Gerais. O anel quase completo delimitando as bordas do Planalto possui expressão topográfica bem saliente constituindo os limites da bacia do Ribeirão das Antas. A porção norte é constituída pelas Serras de Poços de Caldas (1), do Cristo Redentor (2) e de São Domingos (3), na porção centro ocidental pelo Morro do Serrote (4), na porção centro oriental encontra-se o Morro do Ferro (5) e completando o anel, delimitando a borda sul, a Serra do Caracol (6).

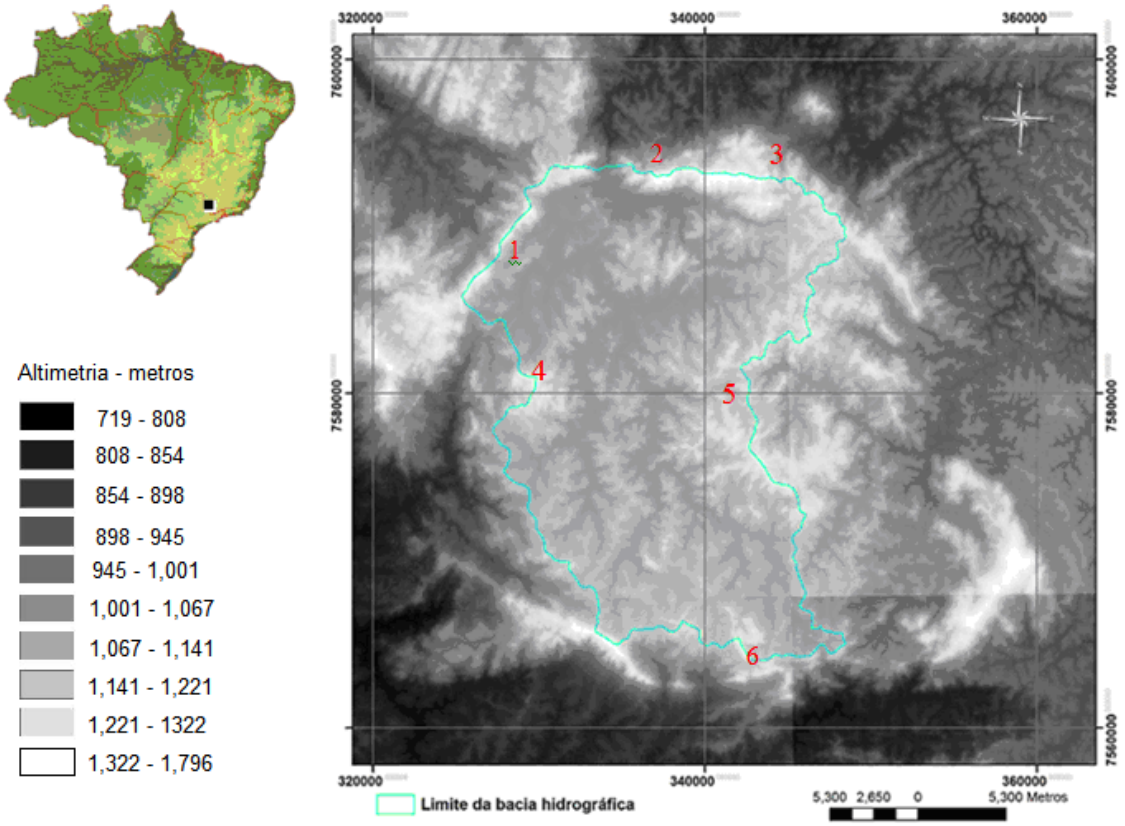


Figura 01: Localização geográfica do Planalto de Poços de Caldas e da Bacia do Ribeirão das Antas.

3 – MATERIAIS E MÉTODOS

A avaliação hidrológica, realizada neste trabalho, referente à bacia hidrográfica do Ribeirão das Antas, consistiu basicamente em quantificar os principais componentes hidrológicos envolvidos na dinâmica local, a **Precipitação**, a **Evapotranspiração**, **Deflúvio**. Após a quantificação dos componentes hidrológicos, pode-se efetuar o balanço hídrico, possibilitando assim identificar variações no armazenamento interno de água, bem como períodos de recarga e descarga no aqüífero.

Para tanto, torna-se necessário, um conjunto de dados hidrológicos com qualidade adequada ao estudo (Tabela 1) e espacializados de maneira mais homogênea possível por toda extensão da bacia (Figura 02).

Tabela 1: Estações meteorológicas disponíveis para a avaliação hidrológicas.

Estação	Informação	Responsável	Série Histórica
CBA	Pluviométrica	Companhia Brasileira de Alumínio	1986 a 2005
Cachoeira do Carmo	Pluviométrica	Agencia Nacional de Águas	1967 a 2004
Cooperativa de Cafeicultores	Pluviométrica	Centro meteorológico	1981 a 2006
INB	Pluviométrica	Laboratório de Controle Ambiental	1977 a 2004
Epamig	Pluviométrica/Temperatura	Empresa Pesquisa Agropecuária - MG	1986 a 2004
C3 011	Pluviométrica	FEHIDRO – SP	1952 a 2003
C3 043	Pluviométrica	FEHIDRO – SP	1973 a 1999
C3 031	Pluviométrica	FEHIDRO – SP	1944 a 1995
D3 006	Pluviométrica	FEHIDRO – SP	1971 a 2000
Abaixo Cascata das Antas	Fluviométrica	Companhia Energética de São Paulo	1969 a 1994
BG063	Qualidade	IGAM	1997 a 2006

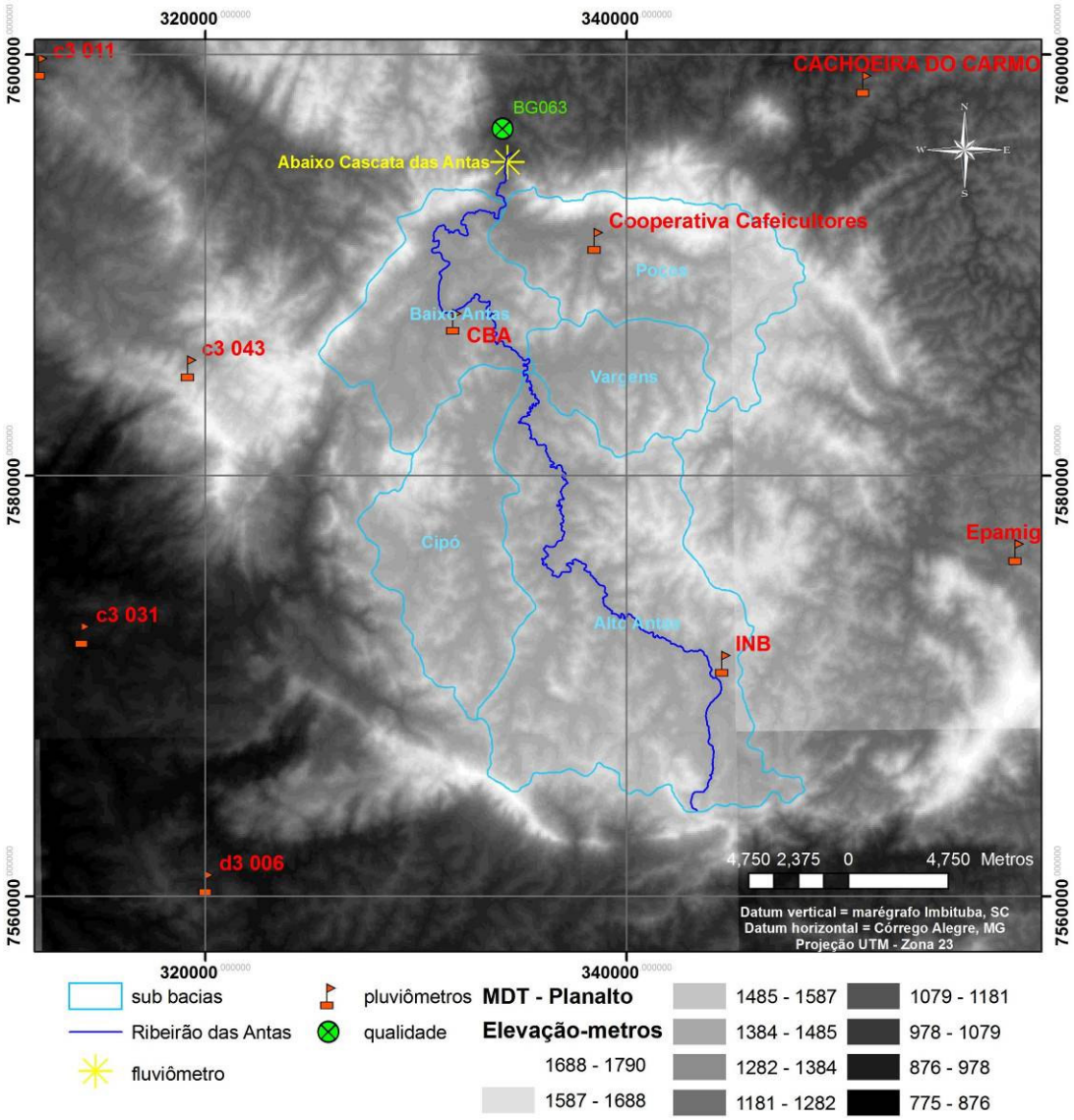


Figura 02: Rede de monitoramento hidrológico.

Os dados referentes às estações hidrológicas disponíveis foram organizados em tabelas no software Excel e eliminados os erros grosseiros, como por exemplo, erros de transcrição ou anotações. No preenchimento das falhas pluviométricas utilizou-se o ***método de ponderação regional*** (TUCCI, 2002), relativamente simples para estimar o valor a ser utilizado na correção da falha. Para as falhas nos dados de vazões médias diárias, utilizou-se a média entre os dias anteriores e posteriores a falha.

As informações necessárias para o tratamento estatístico foram então extraídas das planilhas. Ressalva-se aqui, que nas análises realizadas a seguir, procurou-se extrair o máximo de informação possível, isto devido à inexistência de uma rede de informações integrada, com séries históricas consistentes. Ou seja, a aplicação de um modelo estatístico adequado, só pode ser executada em função dos dados disponíveis.

Pois bem, aplicou-se para cada componente hidrológico, métodos e análises estatísticas cabíveis objetivando a obtenção de informações mensais e anuais referentes aos seguintes componentes hidrológicos:

- **Precipitação**
    - Mapa de Isoietas
    - Estação representativa (Análise de Dupla Massa)
- **Evapotranspiração**
    - Método de Thornthwaite
- **Deflúvio**
    - Análise da Hidrógrafa
    - Determinação do Escoamento de base e Escoamento Direto
    - Coeficiente de Escoamento Superficial
    - Precipitação Efetiva

Em seguida, esses componentes hidrológicos foram utilizados na confecção do balanço hídrico. Em termos quantitativos, o balanço hídrico, é efetuado seguindo os princípios da conservação da massa, ou seja, consiste na determinação da quantidade de água que entra no sistema em relação à quantidade de água que sai do sistema (OLIVEIRA, 1988). Em geral, o balanço hídrico é aplicado em um determinado intervalo de tempo e para uma área definida. Neste caso, os anos entre 1986 a 1994 e a bacia

hidrográfica do Ribeirão das Antas representam o intervalo de tempo e a área para a elaboração do balanço hídrico.

O balanço hídrico relaciona a quantidade de cada componente no ciclo hidrológico, podendo ser efetuado em diversos níveis, de acordo com o volume de controle. A bacia hidrográfica do Ribeirão das Antas é o sistema físico onde pode-se quantificar o ciclo da água, conforme descrito na equação (01), expressa aqui em milímetros (mm):

$$\mathbf{(P) - (E) - (Q/A) \pm (\Delta V/\Delta t) = 0} \qquad \text{Equação (01)}$$

Onde:

- **P** = Precipitação
- **Q** = Deflúvio: Qs (Escoamento superficial + Escoamento sub superficial) **+** Qb (Escoamento de base)
- **E** = Evapotranspiração Potencial
- **A** = Área
- **t** = Tempo a ser efetuado o balanço hídrico
- **V** = Volume Armazenado ou utilizado num determinado tempo

A componente hidrológica **P** corresponde ao volume de água precipitado sobre a bacia (única entrada da água no sistema), **E** representa o volume que voltou a atmosfera por evaporação e transpiração, e **Q** ao volume total de água escoado pela bacia, durante um intervalo de tempo definido. Este escoamento total Q representa a "produção" de água pela bacia, medida no exutório. O termo **ΔV** refere-se a variações positivas e negativas devido ao armazenamento interno da bacia.

Na variação no armazenamento interno (**ΔV**), os **valores negativos** ocorrem quando o escoamento total da bacia é alimentado pela água subterrânea (períodos de estiagem), enquanto os **valores positivos** refletem períodos de recarga (épocas de chuva), é quando parte da precipitação infiltra, realimentando a água subterrânea e ficando armazenada, em vez de escoar diretamente da bacia. Este armazenamento ocorre na forma de água retida nas formações geológicas do subsolo, cujo fluxo é muito mais lento que o escoamento superficial direto. Considerando-se períodos de monitoramento mais longos (ciclos anuais), as diferenças positivas e negativas de armazenamento tendem a se anular. (TEIXEIRA, 2000).

A análise periódica da qualidade das águas superficiais é realizada pelo Instituto Mineiro das Águas (IGAM) através do projeto "Águas de Minas". A amostragem, no exutório da bacia do Ribeirão das Antas começou a ser feita em 1997 e desde então são realizadas coletas trimestrais, totalizando 4 campanhas anuais. A Fundação Centro Tecnológicas de Minas Gerais (CETEC) é responsável pela coleta e análises físico-químicas, bacteriológicas e ecotoxicológicas.

4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 - Precipitação

O objetivo de um posto pluviométrico é produzir uma série ininterrupta de dados de precipitações ao longo dos anos que permita seu estudo ao longo do tempo. A maior dificuldade encontrada nesta etapa é devido aos diferentes períodos de registros entre as estações e diversas falhas distribuídas aleatoriamente. Outro fato relevante, é que muitas vezes, para se determinar o regime de chuvas numa bacia hidrográfica é fundamental se conhecer a precipitação que cobre uma área, e não exatamente os valores pontuais.

Numa análise preliminar pode-se observar claramente um padrão hidrológico em todos os pluviômetros analisados, com duas estações climáticas bem definidas, uma chuvosa que se inicia em outubro e se estende até março, com os maiores índices pluviométricos registrados em dezembro e janeiro. Os índices pluviométricos mais baixos, referentes à estação mais seca, compreende os meses de junho, julho e agosto, apresentando índices pluviométricos entre 0 e 40 mm mensais. (Anexo I).

Para tanto, torna-se necessário a utilização de uma rede de postos pluviométricos bem distribuídos e com dados bem consistidos num mesmo intervalo de tempo. Pela análise das séries históricas de cada estação pluviométrica pode-se separar um período de 9 anos com dados bem consistidos e sintetizados na Tabela 02. A média aritmética entre as estações foi de **1634 mm**.

Tabela 02: Precipitação anual nas estações pluviométricas em milímetros.

	Total Precipitado anual - mm								
Ano	coop	c3 043	CBA	c3 011	d3 006	INB	c3 031	Cach. Carmo	Epamig
1986	2.213	2.227	2.054	1.740	1.547	1.979	1.693	1.718	1.635
1987	1.933	1.824	1.741	1.585	1.415	1.539	1.497	1.499	1.399
1988	1.794	1.888	1.678	1.422	1.666	1.496	1.407	1.315	1.257
1989	2.036	1.710	1.754	1.594	1.800	1.667	1.842	1.668	1.537
1990	1.497	1.658	1.496	1.501	1.397	1.408	1.395	1.337	1.377
1991	2.076	1.999	1.830	1.943	1.729	1.370	1.736	1.960	1.563
1992	2.072	1.837	1.656	1.633	2.062	1.555	1.556	1.553	1.540
1993	1.815	2.065	1.579	1.630	1.368	1.417	1.279	1.445	1.317
1994	1.578	1.480	1.395	1.410	1.283	1.418	1.372	1.242	1.382
Média	**1.887**	**1.879**	**1.687**	**1.614**	**1.589**	**1.560**	**1.557**	**1.539**	**1.406**
Média (Estações)	**1.634 mm**								

4.1.1 – Mapa de Isoietas

O Mapa de Isoietas é uma forma de se determinar um valor médio precipitado sobre a bacia hidrográfica e ao mesmo tempo visualizar a espacialização das chuvas na bacia. Neste método utilizam-se curvas de mesma precipitação (isoietas). O traçado dessas curvas é semelhante ao traçado de curvas de nível, onde a altura de chuva substitui a cota do terreno. Para tanto, utilizou-se a média do total precipitado em cada estação entre os anos de 1986 a 1994.

No mapa de isoietas (Figura 03) observa-se um acúmulo de chuva nas estações c3 043 e na estação pluviométrica monitorada pela Cooperativa de Cafeicultores, região norte do planalto, provavelmente **precipitações orográficas** provocado pelas Serras de Poços de Caldas, do Cristo Redentor e de São Domingos. Os maiores índices pluviométricos registrados nessa região podem chegar a 2200 mm anuais. A média entre os anos de 1986 a 1994 foi de 1756 mm anuais na borda norte do Planalto, enquanto que a borda sul do planalto, a precipitação média anual foi de 1493 mm.

A precipitação média sobre toda a área da bacia pode ser calculada segundo a equação 02, multiplicando-se a precipitação média entre isoietas sucessivas (normalmente fazendo a média dos valores entre duas isoietas) pela área entre as mesmas isoietas, totalizando-se esse produto e dividindo-se pela área total, ou seja:

$$\overline{P} = \frac{1}{A}\sum\left[\frac{1}{2}(P_i + P_{i+1})\cdot A_{i,i+1}\right]$$

Equação (02)

Sendo:

Pi = valor da precipitação correspondente à isoieta de ordem i;

Pi+1 = valor da precipitação para a isoieta de ordem i+1;

Ai,i+1 = área entre as isoietas de ordem i e ordem i+1;

A = ∑Ai,i+1 = área de drenagem da bacia hidrográfica.

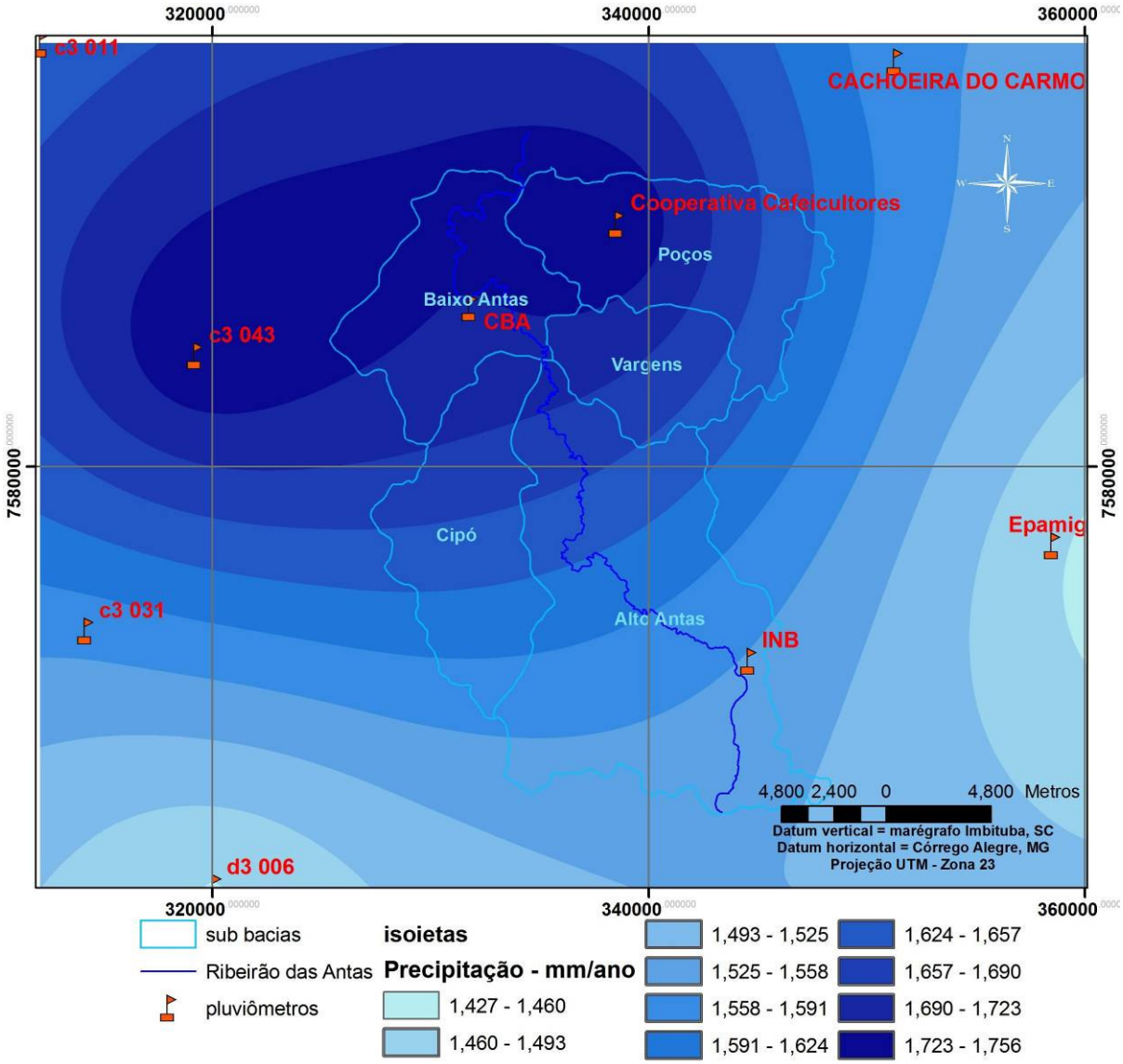


Figura 03: Mapa de Isoietas (Média anual entre 1986 a 1994).

A partir da equação 02 chega-se a um valor de precipitação média anual sobre a bacia do Ribeirão das Antas de **1652 mm**, no período de 1986 a 1994.

4.1.2 – Estação Representativa

De modo a se obter uma estação pluviométrica representativa para toda bacia do Ribeirão das Antas optou-se inicialmente pela estação pluviométrica da CBA. O principal motivo desta escolha se deve a sua localização geográfica.

Antes que a estação seja utilizada nos futuros cálculos, é necessário comprovar o grau de homogeneidade dos dados entre a estação pluviométrica da CBA e os postos vizinhos. Para este fim, é prática comum no Brasil utilizar-se do método de análise de **dupla massa** (desenvolvido pelo U. S. Geological Survey) e citado por (BARBOSA, 2002), método este válido para as séries mensais e anuais.

Este método consiste em construir em um gráfico cartesiano, uma curva duplo acumulativa, relacionando os totais anuais (ou mensais) acumulados do posto a consistir (nas ordenadas) e a média acumulada dos totais anuais (ou mensais) de todos os postos da região (nas abscissas), hipoteticamente considerada homogênea do ponto de vista hidrológico (Tabela 03).

Tabela 03: Total precipitado anual acumulado por estação pluviométrica.

	Total anual acumulado por Estação - mm								X	Y
Ano	coop	c3043	Ch. Carm	c3011	d3 006	INB	c3 031	Epamig	Média	CBA
1986	2213	2227	1718	1547	1979	1693	1740	1635	**1886**	**2054**
1987	4146	4051	3216	2962	3518	3190	3325	3034	**3502**	**3794**
1988	5940	5938	4531	4628	5014	4597	4747	4291	**5078**	**5472**
1989	7976	7648	6199	6429	6681	6439	6341	5828	**6821**	**7226**
1990	9473	9306	7536	7826	8089	7833	7842	7205	**8287**	**8722**
1991	11549	11305	9496	9555	9459	9569	9784	8769	**10068**	**10552**
1992	13621	13142	11049	11617	11014	11125	11418	10309	**11807**	**12208**
1993	15436	15207	12494	12985	12431	12404	13047	11626	**13365**	**13787**
1994	17014	16687	13736	14268	13849	13776	14457	13008	**14780**	**15182**

Se os valores do posto a consistir são proporcionais aos observados na base de comparação, os pontos devem se alinhar segundo uma única reta. A declividade da reta determina o fator de proporcionalidade entre ambas às séries (Figura 03).

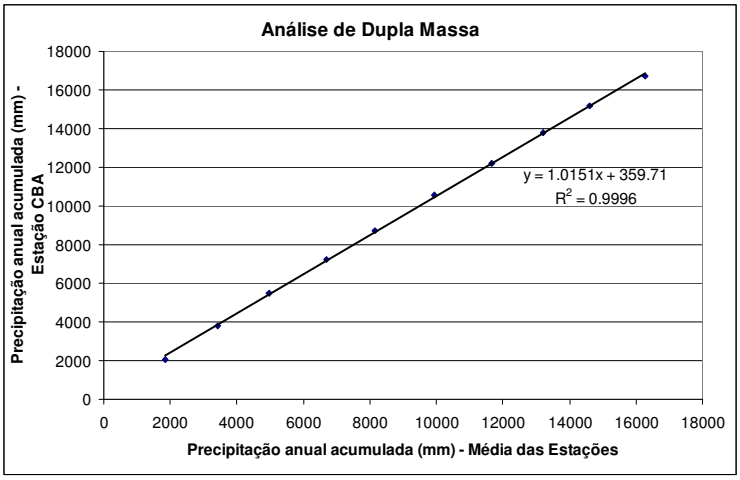


Figura 04: Análise de Dupla Massa.

Como pode ser observado na figura acima, os pontos do gráfico se ajustaram a uma única reta de tendência, o que foi evidenciado pelo fato do coeficiente de correlação ser muito próximo de um (R^2 = 0,9996). Isto indica que os dados de chuva obtidos na estação da **CBA** são consistentes, pois não apresentam anormalidades e nem erros sistemáticos de operação nos aparelhos durante o período de observação.

Sendo assim, os dados da estação da **CBA** foram organizados na tabela 04, mostrando características anuais e mensais de precipitação entre os anos de 1.986 a 1994. Várias informações foram resumidas nessa planilha, permitindo uma condensação dos dados que estavam dispersos em diversas planilhas com valores diários de precipitação.

Tabela 04: Características mensais e anuais na estação da CBA entre 1986 a 1994.

Precipitação - CBA (mm)													Características Anuais		
Ano	**Jan**	**Fev**	**Mar**	**Abr**	**Mai**	**Jun**	**Jul**	**Ago**	**Set**	**Out**	**Nov**	**Dez**	**Total**	**Máx**	**Mín**
1986	237	289	244	111	108	0	58	95	33	95	185	600	2.054	600	0
1987	319	162	159	133	160	26	17	13	154	85	236	279	1.741	319	13
1988	312	199	196	141	110	52	0	0	20	193	144	313	1.678	313	0
1989	306	254	217	70	39	19	67	24	63	64	270	365	1.754	365	19
1990	200	184	221	58	89	6	21	63	65	175	178	239	1.496	239	6
1991	365	285	398	89	28	0	16	0	89	219	83	259	1.830	398	0
1992	338	201	208	72	66	0	48	19	178	242	178	107	1.656	338	0
1993	237	296	135	99	81	49	7	33	138	77	166	261	1.579	296	7
1994	307	127	269	38	102	25	30	0	6	108	185	198	1.395	307	0
	Características mensais														
Méd	291	222	227	90	87	20	29	27	83	140	180	291	**1.687**		
Máx	365	296	398	141	160	52	67	95	178	242	270	600		**600**	
Mín	200	127	135	38	28	0	0	0	6	64	83	107			**0**

A precipitação média anual nesse período foi de 1687 mm, os meses mais chuvosos são dezembro e janeiro podendo ocorrer precipitações de até 600 mm mensais. As mínimas são registradas nos meses de junho, julho e agosto. Nesses meses pode não ocorrer precipitação (figura 04).

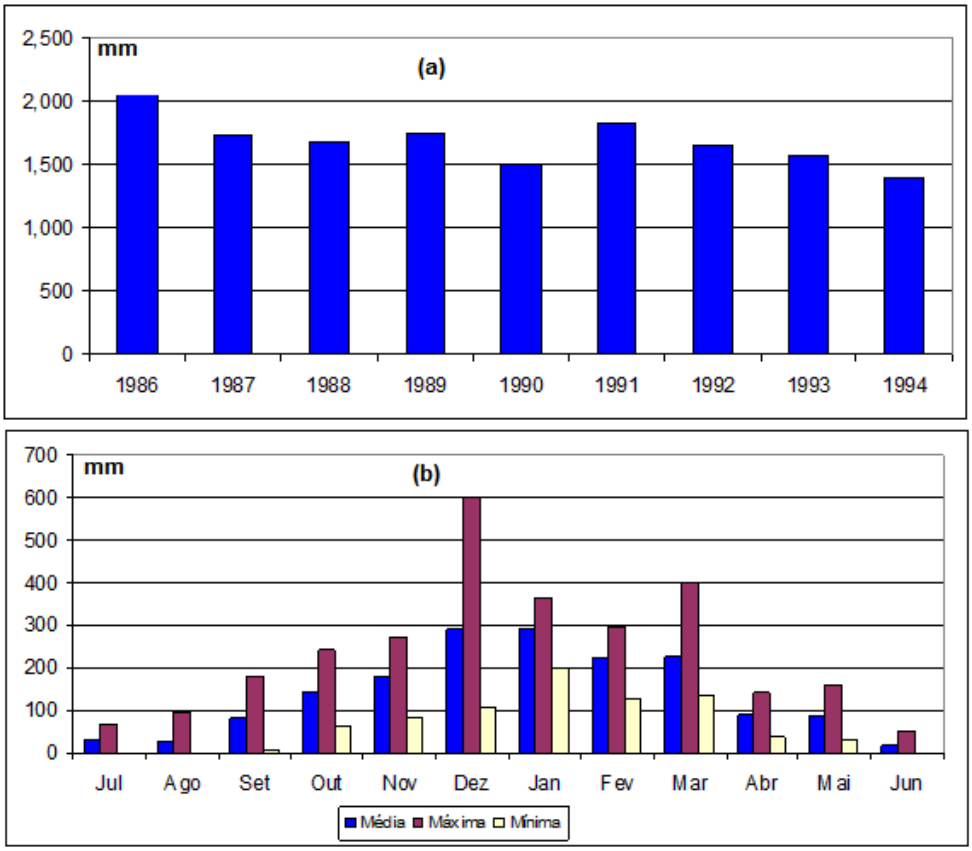


Figura 05: Características pluviométricas anuais (a) e mensais (b).

4.2 – Evapotranspiração Potencial

A evaporatranspiração representa o conjunto dos processos evaporação e transpiração e é uma das componentes do ciclo hidrológico mais difícil de ser quantificada, devido às inúmeras variáveis envolvidas.

A equação de Warren Thornthwaite (1948) é uma das mais antigas expressões de estimativa da evapotranspiração potencial. A equação é bastante complexa para o uso prático, mas pode ser facilmente aplicada com o auxílio do nomograma elaborado por

Palmer e Havens e adaptado por Camargo (VILLELA, 1975). Para o uso do nomograma, unisse com uma reta o valor da temperatura média anual ao ponto de Convergência e usando a escala de temperatura média mensal no eixo das ordenadas, determina-se a evapotranspiração potencial para cada mês no eixo das abscissas (ANEXO II).

Para a utilização do nomograma utilizou-se os dados referente as temperaturas médias mensais obtidas na estação climatológica da Epamig (Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais), localizada no município de Caldas, os dados são referente às médias mensais entre os anos de 1986 a 1994 (Tabela 05).

Tabela 05: Temperatura média mensal na estação da Epamig.

Temperatura média mensal - ºC													Características Anuais		
Ano	**Jan**	**Fev**	**Mar**	**Abr**	**Mai**	**Jun**	**Jul**	**Ago**	**Set**	**Out**	**Nov**	**Dez**	**Média**	**Máx**	**Mín**
1986	21,7	21,4	20,6	19,4	16,5	14,1	13,7	15,1	17,9	19,2	20,6	21,2	18,5	21,7	13,7
1987	21,7	21,4	20,6	19,4	16,5	14,1	13,7	15,1	17,9	19,2	20,6	21,2	18,5	21,7	13,7
1988	22,7	22,0	20,7	20,2	16,9	13,1	11,2	13,8	19,0	19,2	20,1	20,7	18,3	22,7	11,2
1989	21,1	21,3	20,6	19,2	15,2	13,9	13,4	15,4	17,5	18,5	19,5	22,0	18,1	22,0	13,4
1990	22,3	22,0	21,3	20,1	16,0	14,0	14,5	15,2	16,9	19,2	22,1	21,3	18,7	22,3	14,0
1991	21,7	21,4	20,3	19,2	17,1	15,2	13,9	16,1	17,0	18,5	20,4	21,7	18,5	21,7	13,9
1992	22,4	20,0	20,0	19,2	17,6	14,7	14,2	15,1	17,3	19,4	19,9	20,1	18,3	22,4	14,2
1993	21,2	20,6	20,7	19,1	15,2	14,0	14,9	15,2	19,0	18,5	21,3	20,9	18,4	21,3	14,0
1994	20,4	22,4	20,4	18,9	17,2	13,5	13,6	15,1	18,9	21,2	21,2	21,6	18,7	22,4	13,5
	Características mensais														
Méd	21,7	21,4	20,6	19,4	16,5	14,1	13,7	15,1	17,9	19,2	20,6	21,2	**18,4**		
Máx	22,7	22,4	21,3	20,2	17,6	15,2	14,9	16,1	19,0	21,2	22,1	22,0		**22,7**	
Mín	20,4	20,0	20,0	18,9	15,2	13,1	11,2	13,8	16,9	18,5	19,5	20,1			**11,2**

Os períodos mais frios apresentam temperatura média mensal em torno de 11.7 ºC enquanto que os meses mais quentes apresentam temperaturas médias em torno de 22,7 ºC. A temperatura média anual ficou em torno de 18.4 ºC, entre o período de 1986 a 1994.

Os valores de Evapotranspiração Potencial obtidos no nomograma foram organizados na tabela 06. Essa tabela mostra valores máximos, médios e mínimos mensais entre os anos de 1.986 a 1994.

Tabela 06: Evapotranspiração Potencial obtida pelo nomograma.

Evapotranspiração Potencial – mm													Características Anuais		
Ano	**Jan**	**Fev**	**Mar**	**Abr**	**Mai**	**Jun**	**Jul**	**Ago**	**Set**	**Out**	**Nov**	**Dez**	**Soma**	**Máx**	**Mín**
1986	90	88	82	76	52	45	41	45	59	72	86	86	822	90	41
1987	89	86	81	71	51	41	37	44	62	71	82	86	801	89	37
1988	95	92	82	58	52	35	25	38	71	72	79	82	781	95	25
1989	85	86	82	72	45	36	34	43	58	68	75	92	776	92	34
1990	93	92	84	79	51	49	42	45	56	72	91	87	841	93	42
1991	92	87	86	81	72	58	39	51	58	68	82	91	865	92	39
1992	92	76	76	70	40	37	42	43	56	70	74	76	752	92	37
1993	85	80	81	69	42	36	41	43	68	64	86	82	777	86	36
1994	80	92	79	69	56	35	36	44	68	86	86	89	820	92	35
	Características mensais														
Méd	89	87	81	72	51	41	37	44	62	71	82	86	**804**		
Máx	95	92	86	81	72	58	42	51	71	86	91	92		**95**	
Mín	80	76	76	58	40	35	25	38	56	64	74	76			**25**

A média da Evapotranspiração Potencial nesse período foi de 804 mm, as maiores taxas são registradas em dezembro e janeiro (95 mm), e as menores taxas ocorrem em junho e junho (25 mm). A Figura 06 demonstra as variações anuais e mensais.

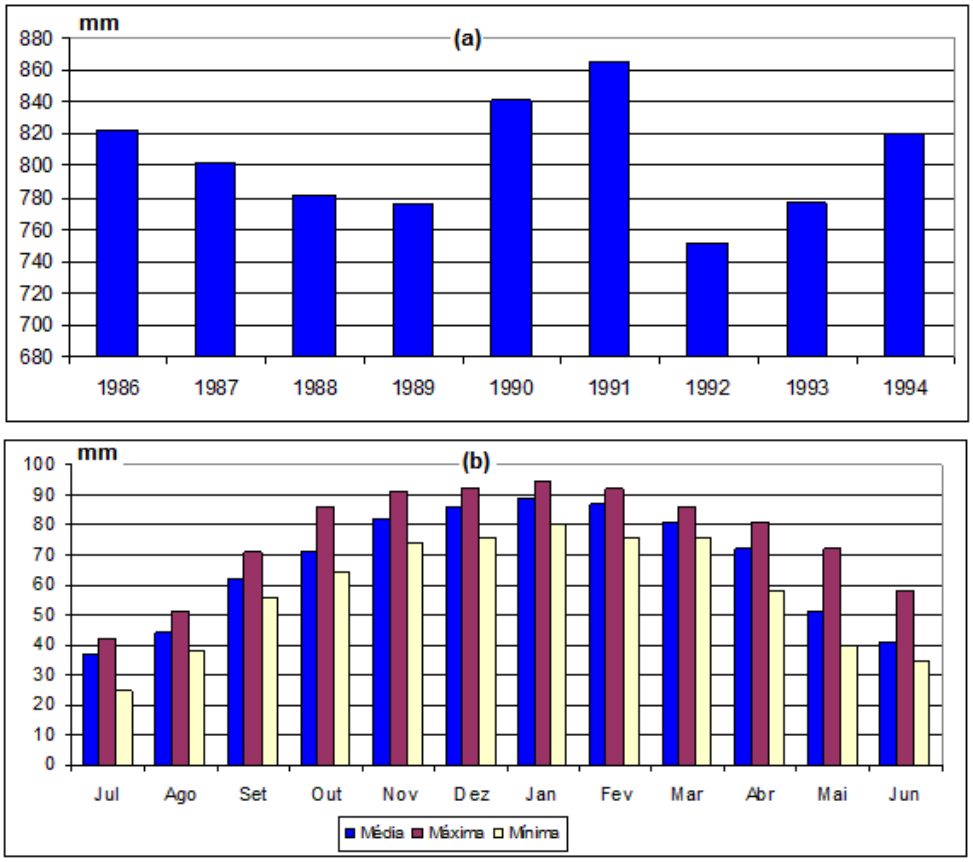


Figura 06: Características da Evapotranspiração anual (a) e mensal (b).

4.3 – Deflúvio

4.3.1 – Análise do Hidrograma

A vazão ou deflúvio é o volume de água escoado numa unidade de tempo, é a principal grandeza que caracteriza um escoamento, normalmente é dada em m^3/s. Denomina-se hidrógrafa, ou hidrograma, a representação gráfica da vazão em relação tempo, observada numa seção de um curso d'água. A maneira pela qual se dão as variações de vazão em uma seção em relação à chuva é denominada resposta de uma bacia. Neste caso, pode-se observar o comportamento da bacia analisando o hidrograma, ou seja, o gráfico da vazão em função do tempo.

O hidrograma do Riberião das Antas apresenta alta amplitude nas vazões médias diárias (Anexo III), sofrendo reflexos de apenas um evento isolado de chuva que pode elevar o deflúvio a **110 m^3/s.** Por outro lado, nota-se que em épocas de estiagem (abril a setembro), pode-se traçar o hidrograma de uma bacia mesmo sem nenhuma precipitação, isto devido à perenidade do rio, chegando a mínimas de **1 m^3/s**. Esta perenidade é causada pelo abastecimento de água feito a partir do escoamento subterrâneo (deflúvio básico), quando o nível do rio está abaixo da superfície freática.

Os dados de vazão média foram então organizados na tabela 07. Essa tabela mostra valores máximos, médios e mínimos mensais entre os anos de 1.986 a 1994.

Tabela 07: Características mensais e anuais do deflúvio no Ribeirão das Antas.

Fluviometria – m^3/S													Caracter. Anuais		
Ano	**Jan**	**Fev**	**Mar**	**Abr**	**Mai**	**Jun**	**Jul**	**Ago**	**Set**	**Out**	**Nov**	**Dez**	**Med**	**Máx**	**Mín**
1986	15,8	29,0	24,9	17,0	9,8	5,3	4,3	5,5	5,0	3,4	5,3	37,6	13,6	37,6	3.4
1987	31,1	22,5	17,4	16,7	11,5	7,3	5,0	3,3	5,3	5,2	8,3	19,0	12,7	31,1	3.3
1988	19,6	23,9	24,1	11,6	8,6	8,8	4,4	3,0	2,3	6,1	8,5	12,5	11,1	24,1	2.3
1989	34,0	23,1	24,5	13,1	6,3	4,7	3,3	5,6	5,0	2,8	7,1	15,4	12,1	34,0	2.8
1990	26,9	10,0	20,3	10,5	7,9	4,2	3,5	4,2	4,7	4,6	6,2	14,1	9,7	26,9	3.5
1991	23,1	38,2	30,0	29,0	12,3	5,8	4,3	3,7	2,8	7,9	5,9	9,1	14,4	38,2	2.8
1992	21,3	29,0	19,5	12,8	9,9	5,0	4,8	3,3	6,5	13,3	23,8	18,5	14,0	29,0	3.3
1993	16,1	22,1	17,0	13,0	8,0	8,0	4,9	4,3	5,9	7,4	6,5	10,7	10,3	22,1	4.3
1994	21,1	14,6	29,9	12,1	10,1	6,2	5,2	4,4	2,9	2,0	4,9	12,8	10,5	29,9	2.0
	Características Mensais														
Med	23,2	23,6	23,1	15,1	9,4	6,2	4,4	4,1	4,5	5,9	8,5	16,6	**12,0**		
Max	34,0	38,2	30,0	29,0	12,3	8,8	5,2	5,6	6,5	13,3	23,8	37,6		**38,2**	
Min	15,8	10,0	17,0	10,5	6,3	4,2	3,3	3,0	2,3	2,0	4,9	9,1			**2.0**

A vazão média anual nesse período foi de **12 m^3/s**, os meses de maior deflúvio são janeiro, fevereiro e março podendo atingir vazões médias mensais de 38 **m^3/s**, já as menores vazões médias mensais foram registradas nos meses de junho, julho e agosto, chegando o Ribeirão das Antas a descarregar **2 m^3/s.** A Figura 07 demonstra a variação anual e mensal, em m^3/s.

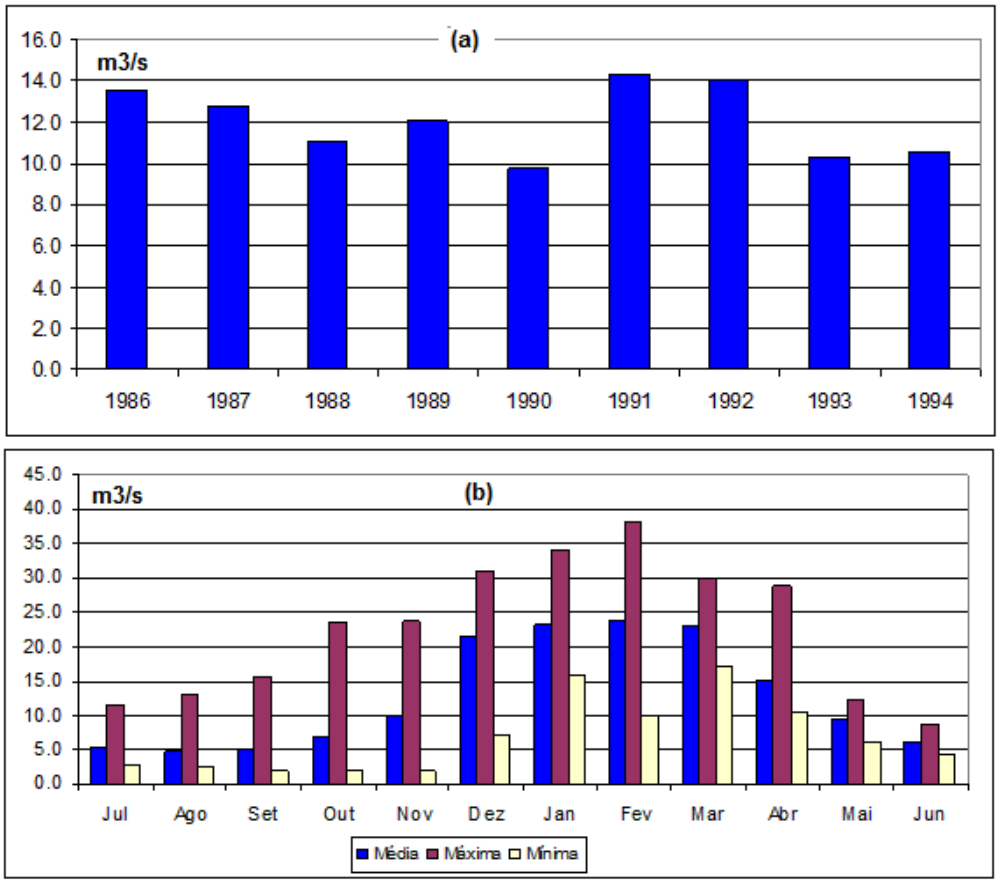


Figura 07: Característica do deflúvio anual (a) e mensal (b).

4.3.2 – Escoamento de base e o Escoamento direto

O hidrograma é a base para estudos hidrológicos de bacia visando, por exemplo, o abastecimento de água ou seu aproveitamento hidrelétrico. Permite analisar o comportamento da bacia, identificando períodos de baixa e alta, auxiliando na previsão de enchentes e estiagens, assim como períodos e volumes de recarga de água subterrânea. Através do escoamento direto e fluxo basal, é possível avaliar a contribuição de água subterrânea na produção da bacia (TEIXEIRA, 2000).

É óbvio que nem toda a precipitação escoa imediatamente para fora de uma dada bacia. Parte da água escoa muito rapidamente, parte é armazenada temporariamente e outra fração nunca escoa para fora sendo evaporada para a atmosfera ou percolada para aqüíferos subterrâneos profundos.

Pode-se afirmar que não existe nenhuma forma segura de diferenciar as parcelas da água de chuva que escoaram superficial e subterraneamente, após elas terem se misturado para compor o fluxo em um curso d'água natural. Devido a essa incerteza, as técnicas de análise das hidrógrafas são, de certo modo, um tanto arbitrárias. Contudo, para o estudo das características hidrológicas da bacia e para alguns métodos de previsão de enchentes, a separação do hidrograma em *escoamento superficial direto* e *escoamento básico* é muito importante (BARBOSA, 2002).

Contudo, o escoamento superficial na bacia do Ribeirão das Antas, em termos médios mensais, tem como principais componentes o escoamento de base (escoamento subterrâneo = Qb) e o escoamento direto (escoamento superficial + escoamento subsuperficial = Qs) conforme demonstrado na figura 08. A separação do Qb e do Qs aqui aplicado consiste no método mais simples de separação dessas componentes, bastando apenas em ligar os pontos A e I por um segmento de reta.

A determinação do ponto A e do ponto I foi feita a partir da inspeção visual no hidrograma. O ponto A representa o início da contribuição do escoamento superficial devido ao começo das chuvas. O ponto I representa o período em que vazão do Ribeirão das Antas é praticamente mantida pela descarga subterrânea de água.

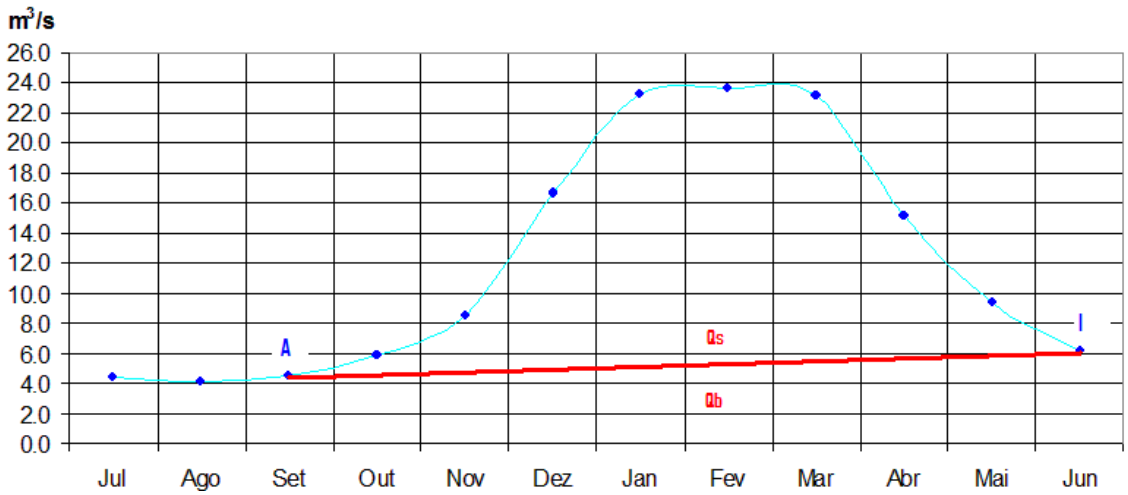


Figura 08: Hidrograma das vazões médias mensais no exutório da bacia hidrográfica do Ribeirão das Antas.

Considerando Δt = constante = 1 mês, o cálculo do volume médio escoado superficialmente (Vols), foi feito utilizando apenas o recurso visual e desta forma elaborou-se a Tabela 08:

Tabela 08: Separação do escoamento direto e de base conforme o hidrograma do Ribeirão das Antas.

Mês	dias	Q	Volume	Qb	Volume	Qs	Vol_s
Jul	31	4,4	11.784.960	4,4	11.784.960	0	0
Ago	31	4,1	10.981.440	4,1	10.981.440	0	0
Set	30	4,5	11.664.000	4,5	11.664.000	0	0
Out	31	5,9	15.802.560	4,3	11.517.120	1,6	4.285.440
Nov	30	8,5	22.032.000	4,7	12.182.400	3,8	9.849.600
Dez	31	16,6	44.461.440	5	13.392.000	11,6	31.069.440
Jan	31	23,2	62.138.880	5,2	13.927.680	18	48.211.200
Fev	28	23,6	57.093.120	5,5	13.305.600	18,1	43.787.520
Mar	31	23,1	61.871.040	5,7	15.266.880	17,4	46.604.160
Abr	30	15,1	39.139.200	5,9	15.292.800	9,2	23.846.400
Mai	31	9,4	25.176.960	6	16.070.400	3,4	9.106.560
Jun	30	6,2	160.70.400	6,2	16.070.400	0	0
Somatória	**365**	**12**	**378.216.000**	**5,1**	**161.455.680**	**6,9**	**216.760.320**

A análise de um hidrograma médio anual mostrou que o volume médio anual escoado é de 378.216.000 m^3 ou 831 mm, deste, cerca de 161.455.680 m^3 de água corresponderam ao escoamento subterrâneo, ou 354 mm, e o escoamento direto 216.760.320 m^3, representou cerca de 476 mm de todo deflúvio, resumidos na tabela 09:

Tabela 09: Valores médios do escoamento de base e direto.

Valores médios (1986 a 1994)	Escoamento Total (Deflúvio) Q	Escoamento de base Qb	Escoamento Direto Qs
m^3/ano	378.216.000	161.455.680	216.760.320
m^3/s	12.0	5.1	6.9
mm	831	354	476
%	100%	43%	57%

O coeficiente de escoamento ou deflúvio superficial, ou coeficiente de *run off*, é definido pela razão do volume de água escoado superficialmente, Vol_S, pelo volume de água precipitada, Vol_T. Considerando o volume precipitado como sendo a precipitação média vezes a área da bacia, temos:

$$Volume\ precipitado = 1652\ mm * 455\ Km^2 = 751.660.000\ m^3$$

$$Coeficiente\ de\ run\ off = C = Vs/Vt$$

$$\boldsymbol{Coeficiente\ de\ run\ off = C = 0.29}$$

A precipitação efetiva, Pef, (ou precipitação excedente) é a medida da altura, da parcela da chuva caída que provoca o escoamento superficial. A precipitação efetiva pode ser calculada em termos de uma altura, definida pela razão do volume de água escoado superficialmente, Vol_S, pela área da projeção horizontal da superfície coletora, A:

$$Precipitação\ efetiva = Pef = Vol_S/A$$

$$\boldsymbol{Pef = 476\ mm}$$

Portanto, de toda precipitação média anual na bacia, espera-se que 29% seja transformado em escoamento superficial direto, o que representa um total de 476 mm da precipitação média anula (1652 mm). Estima-se então a equação Pef = C×P para diferentes precipitações (P).

4.4 - O Balanço Hídrico

O balanço hídrico relaciona a quantidade de cada componente no ciclo hidrológico na bacia hidrográfica do Ribeirão das Antas. O componente hidrológico referente à precipitação corresponde ao volume de água precipitado sobre a bacia (única

entrada da água no sistema), **E** representa o volume que voltou a atmosfera por evaporação e transpiração, e **Q** ao volume total de água escoado pela bacia. O termo **ΔV** refere-se a variações positivas e negativas devido ao armazenamento interno da bacia. Assim, confeccionou-se o balanço hídrico conforme descrito na equação (1), em milímetros (mm):

$$[(P) - (E) - (Q/A) \pm (\Delta V)] / \Delta T = 0$$

Os valores anuais obtidos nas análises das componentes hidrológicas foram resumidos na tabela 10. A figura 10 representa a variação temporal dessas componentes.

Tabela 10: Balanço hídrico anual na bacia do Ribeirão das Antas.

	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	Média
P	2054	1741	1678	1754	1496	1830	1656	1579	1395	1687
E	822	802	781	776	841	865	752	777	820	804
Q	928	870	760	826	666	981	956	706	719	823
ΔV/Δt	**304**	**69**	**137**	**153**	**-11**	**-16**	**-52**	**96**	**-144**	**59**

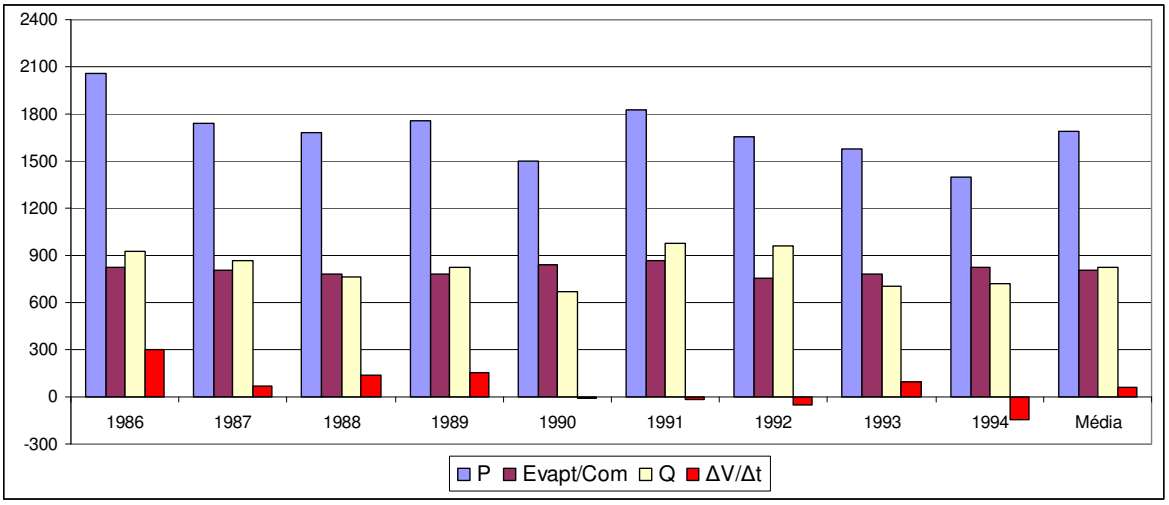


Figura 09: Balanço hídrico anual na bacia do Ribeirão das Antas.

No balanço hídrico anual o armazenamento interno apresenta variações entre 304 mm (recarga) a -144 mm (descarga). Após apresentar um período seguido de recarga entre 1986 a 1989, os anos seguintes apresentaram uma diminuição nessa recarga. Em 1994 foi registrada a maior descarga do aqüífero (-144). No geral a bacia hidrográfica do Ribeirão das Antas apresentou um armazenamento médio anual de 59 mm. As características mensais dos componentes hidrológicos entre 1986 a 1994 foram organizados na tabela 11 e suas variações expressas na figura 11.

Tabela 11: Balanço hídrico mensal na bacia do Ribeirão das Antas.

	Jan	fev	mar	abr	Mai	Jun	jul	ago	set	out	nov	dez	Média
P	291	222	227	90	87	20	29	27	83	140	180	291	**141**
E	89	86	81	71	51	41	37	44	62	71	82	86	**67**
Q	132	134	131	86	53	35	25	24	26	33	48	95	**69**
ΔV/Δt	**70**	**1**	**15**	**-67**	**-17**	**-56**	**-33**	**-41**	**-5**	**35**	**50**	**111**	**5**

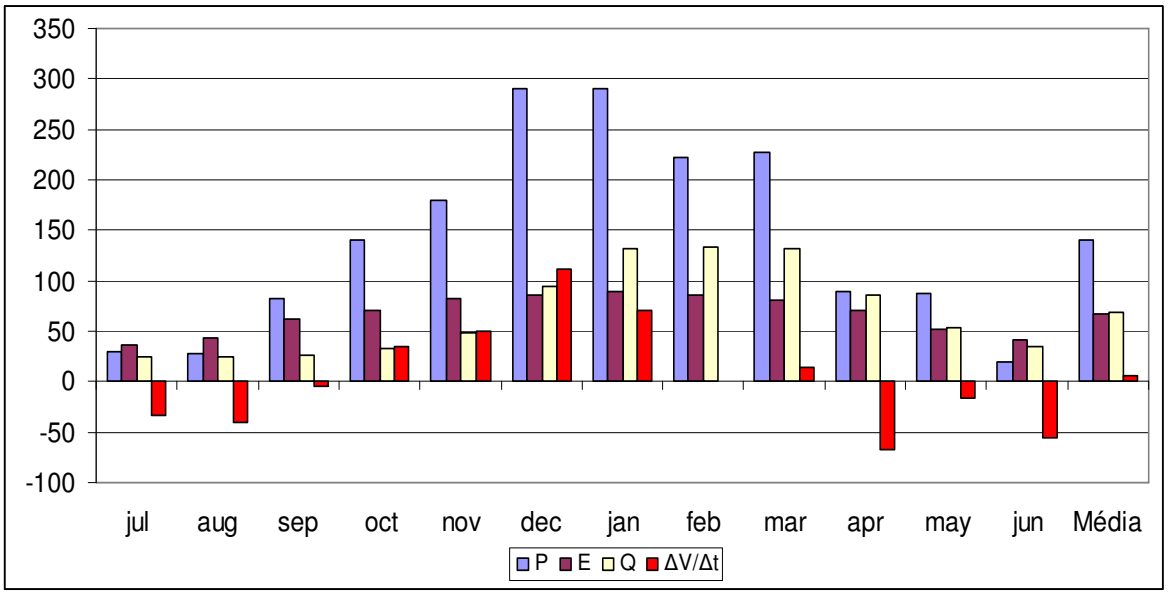


Figura 10: Balanço hídrico mensal na bacia do Ribeirão das Antas.

Os componentes hidrológicos mensais são condicionados pelas estações climáticas ao longo do ano, um período chuvoso e um período seco, resultando num período de recarga e descarga no aqüífero.

Observa-se um atraso/retardamento entre os meses de maior recarga para os meses de maior descarga. Os meses mais chuvosos são dezembro e janeiro e as maiores vazões médias são registradas em janeiro, fevereiro e março. Este fato se deve ao armazenamento interno na bacia e ao fluxo subsuperficial que é mais lento.

O mês em que ocorre a maior recarga no aqüífero é dezembro, seguido de janeiro. O mês de maior déficit ocorre em abril devido à queda brusca nas precipitações e descarrego do acumulado nos meses de recarga. Este atraso do acumulado é causado pelo fluxo subsuperficial. Abril marca o período de descarga do aqüífero e que se estende até setembro. Em outubro começa novamente o ciclo das águas e a mais um período de recarga.

4.5 – Qualidade das águas superficiais

A Fundação Centro Tecnológicas de Minas Gerais - CETEC é responsável pela coleta e análises físico-químicas, bacteriológicas e ecotoxicológicas, contidas no projeto ÁGUAS DE MINAS (2006). Na análise gráfica foi possível relacionar as concentrações amostradas com o limite estipulado na legislação. **Em vermelho** estão representados os valores que não atendem a norma e aos padrões de qualidade de água destinada a **classe 2**, segundo Deliberação Normativa nº. 010/86 - COPAM.

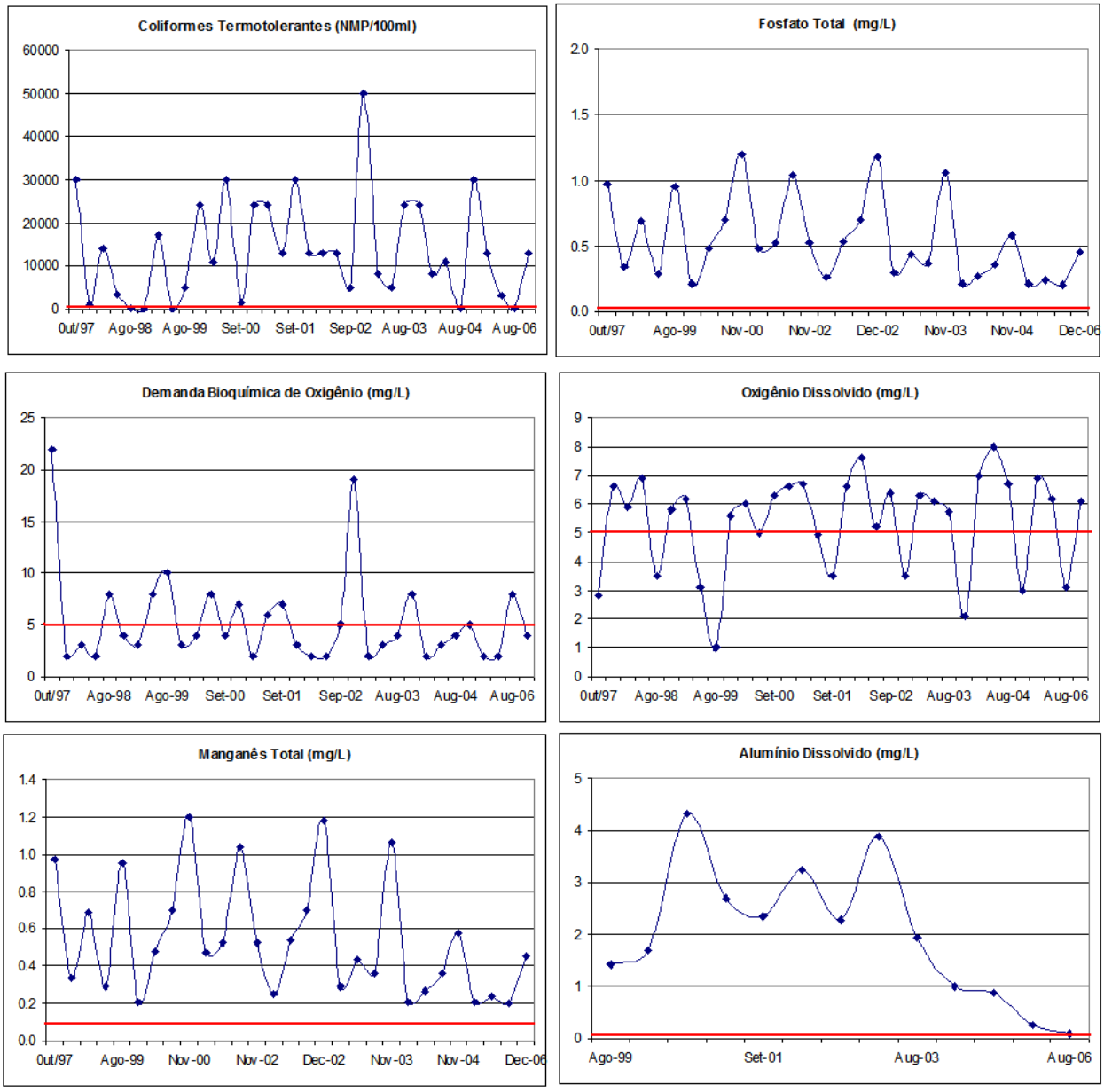


Figura 11: Parâmetros físico-químicos e bacteriológicos do Ribeirão das Antas (fonte: *Projeto Águas de Minas Gerais-2006*).

A presença de **alumínio e manganês** em não conformidade com a legislação associa-se tanto a sua presença nos solos da região, bem como ao impacto das atividades minerarias desenvolvidas na região que potencializam a lixiviação do mineral para o meio aquoso através da exposição, intemperismo e erosão das jazidas de minério de alumínio nas áreas onde ocorre a exploração do minério. A Resolução CONAMA 357/05 traz o limite para a concentração de alumínio dissolvido, enquanto a Deliberação Normativa COPAM nº10/86 limita o teor de alumínio total. De qualquer maneira a concentração de manganês total e alumínio se encontram acima dos valores permitidos.

A introdução artificial de **fosfato** neste ambiente pode causar um desequilíbrio ecológico, poluição de rios e mananciais, resultado da superpopulação de alguns organismos, como as algas de superfície, os quais diminuem o teor de oxigênio dissolvido na água. Na agricultura o fosfato é um dos três nutrientes primários das plantas e sendo um dos componentes principais contidos nos fertilizantes.

A presença das **bactérias coliformes** na água de um rio significa que esse rio recebeu matérias fecais, ou esgotos. São as fezes das pessoas doentes que transportam, para as águas ou para o solo, os micróbios causadores de doenças. Por isso, a presença de coliformes na água indica a presença de fezes e, portanto, a possível presença de seres patogênicos.

A **Demanda Bioquímica de Oxigênio** representa a oxidação da matéria orgânica através da ação de bactérias. O aumento nessa demanda é provocado pelo despejo de efluentes predominantemente orgânicos. O **oxigênio dissolvido** representa o oxigênio introduzido através do ar atmosférico e fotossíntese, é o elemento principal no metabolismo dos microrganismos aeróbios que habitam as águas naturais. É um dos parâmetros mais importantes de que se dispõem no campo de controle de poluição das águas. Geralmente o **oxigênio dissolvido** se reduz ou desaparece, quando a água recebe grandes quantidades de substâncias orgânicas biodegradáveis encontradas, por exemplo, no esgoto doméstico, em certos resíduos industriais. Assim, quanto maior a carga de matéria orgânica, maior o número de microorganismos decompositores e conseqüentemente, maiores consumo de oxigênio.

A contaminação por tóxicos mostrou-se alta em algumas campanhas, apresentando valores de **chumbo total** fora do limite. Ressalta-se que o limite

determinado na Resolução CONAMA 357/05 para este parâmetro é bem mais restritivo que aquele estabelecido na Deliberação Normativa COPAM 10/86. A presença deste metal no ribeirão das Antas pode estar associada aos efluentes líquidos e resíduos sólidos de empresas de fabricação e montagem de veículos automotores, de fabricação de máquinas e de fabricação de produtos de metal localizadas na região do município de Poços de Caldas.

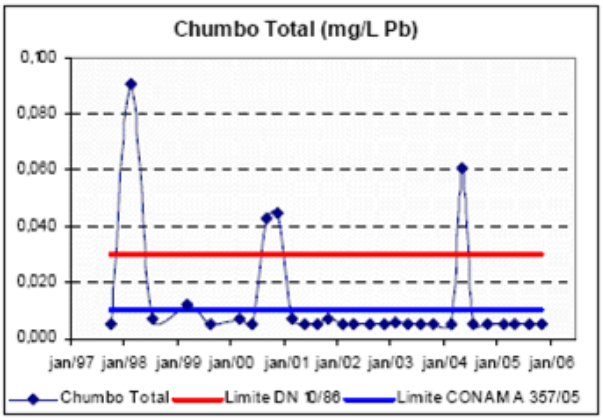


Figura 12: Contaminação por chumbo total no Ribeirão das Antas. (fonte: *Projeto Águas de Minas-2006*).

5 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

As componentes hidrológicas apresentam um padrão típicos de paises tropicais, possuem uma sazonalidade ajustada as estações climáticas, invernos frios, baixo índice pluviométrico e taxa de evapotranspiração reduzida. Por outro lado, os verões apresentam os maiores índices pluviométricos, aumento na temperatura e consequentemente aumento na evapotranspiração.

Pode-se concluir pelo Balanço Hídrico que de toda precipitação média anual ocorrida na bacia do Ribeirão das Antas entre os anos de 1986 a 1994 a evapotranspiração representou cerca de 47,6%, o deflúvio 48,8% e que 3,6% ficou armazenada no interior da bacia hidrográfica. Dos 48,8% correspondente o deflúvio cerca de 20,8 % representam o escoamento subterrâneo e o restante 28,0% representa o fluxo direto. Ou seja, o deflúvio médio anual é composto por 57% pelo escoamento direto e 43% pelo fluxo de base. A restituição subterrânea aos rios é muito elevada, tratando-se de

uma bacia constituída de rochas ígneas e de solo predominantemente argiloso, o que demonstra o elevado grau de fraturamento das rochas.

O Balanço hídrico permitiu também calcular os períodos de recarga (outubro a março) e descarga (abril a setembro) na bacia do Ribeirão das Antas.

As variáveis que mais influenciaram na baixa qualidade da água no Ribeirão das Antas foram coliformes termotolerantes, alumínio, manganês, fósforo total, demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e contaminação por Chumbo, por apresentarem valores fora do permitido por lei.

6 – BIBLIOGRAFIA CITADA

BARBOSA JR., A. R. (2002). Hidrologia aplicada. Apostila de curso. Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto.

COSTA, P. C. G. *et. al*. (1998) Projeto hidrogeoambiental das estâncias hidrominerais da companhia mineradora de Minas Gerais – COMIG. 69p.

OLIVEIRA, A.M.S. & BRITO, S.N.A. (1988). Geologia de Engenharia. São Paulo, ABGE-CNPq/FAPESP, 586p.

PAIVA, J.B. & CAUDURO, E.M. (2003). Hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas. ABRH, Porto Alegre,

PROJETO ÁGUAS DE MINAS (2006). Qualidade das águas superficiais do Estado de Minas Gerais. Relatório: Monitoramento das águas superficiais na bacia do rio Grande. Instituto mineiro de gestão das águas – IGAM. Belo Horizonte/MG. 241p.

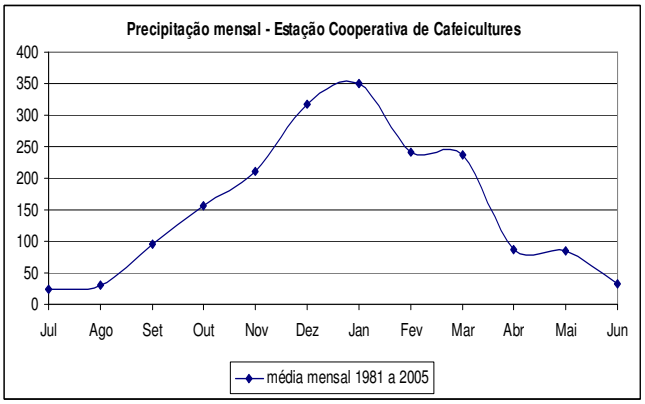
RUSTOWSKI, E. A. (1999). Desenhando a bacia ambiental – Subsídios para o planejamento das águas doces metropolitanizadas. Tese de doutorado. Universidade Estadual de Campinas.

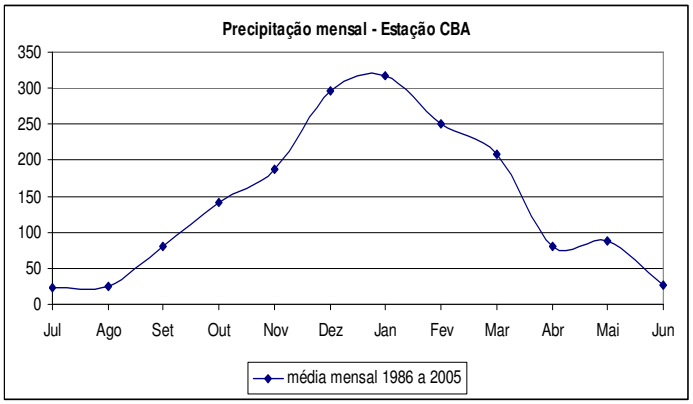
TUCCI, C. E. M. (2002). Hidrologia: ciência e aplicação. 3ª ed. Editora UFRGS/ABRH, Porto Alegre, RS, 943p.

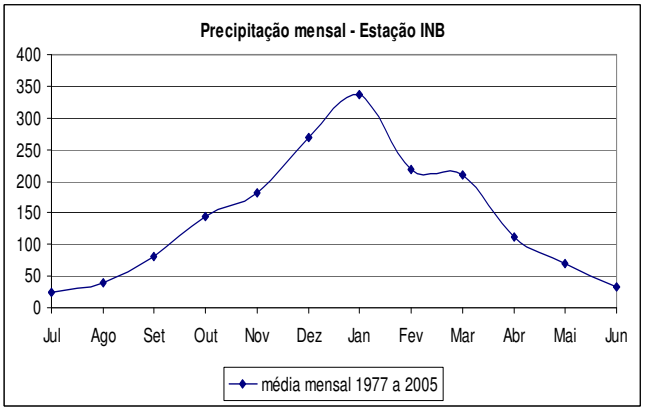
VILLELA, S.M.; MATTOS, A. (1975) Hidrologia Aplicada. São Paulo, Editora McGraw-Hill do Brasil, 1975, 245p.

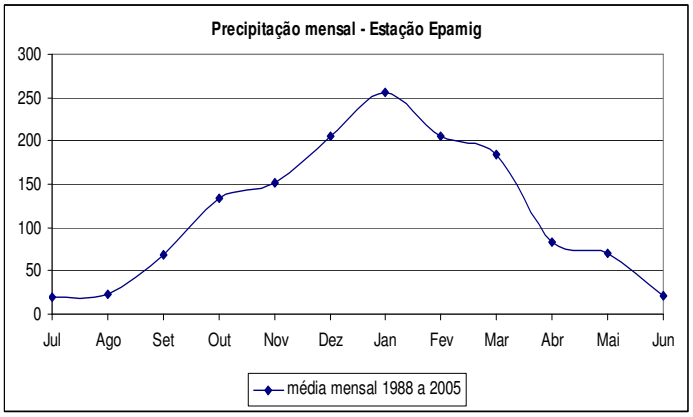
TEIXEIRA, W. *et. al.*(2000) Decifrando a Terra, Oficina de textos, São Paulo, SP, 558p.

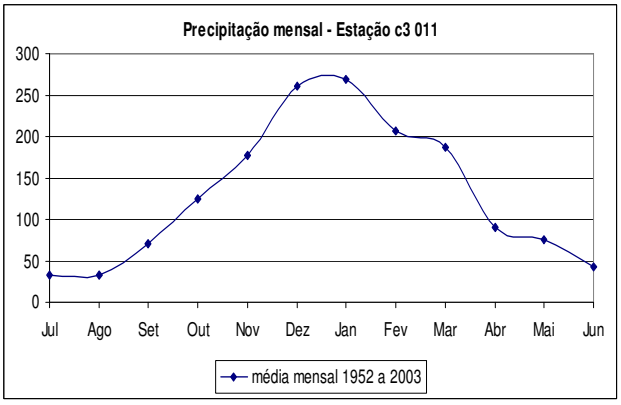
Anexo I: Precipitação média mensal nas diversas estações pluviométricas.

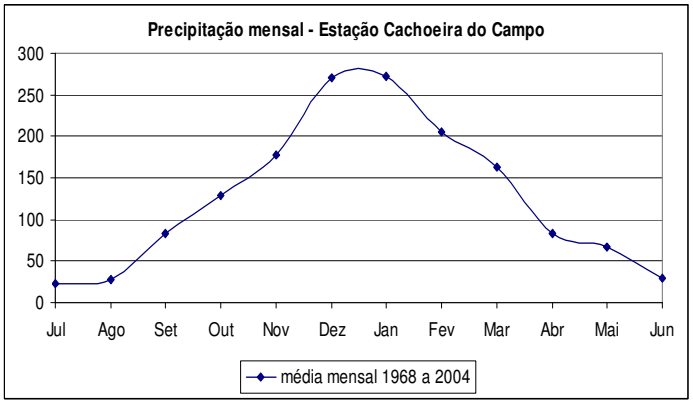


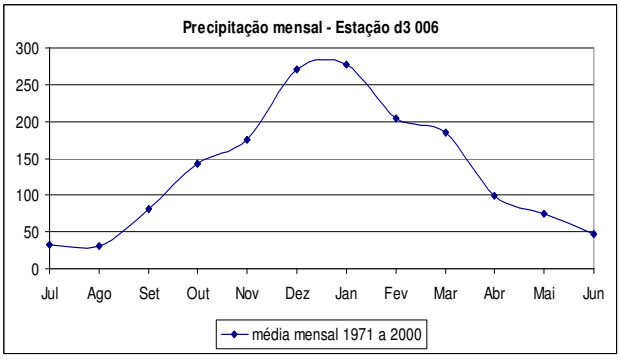




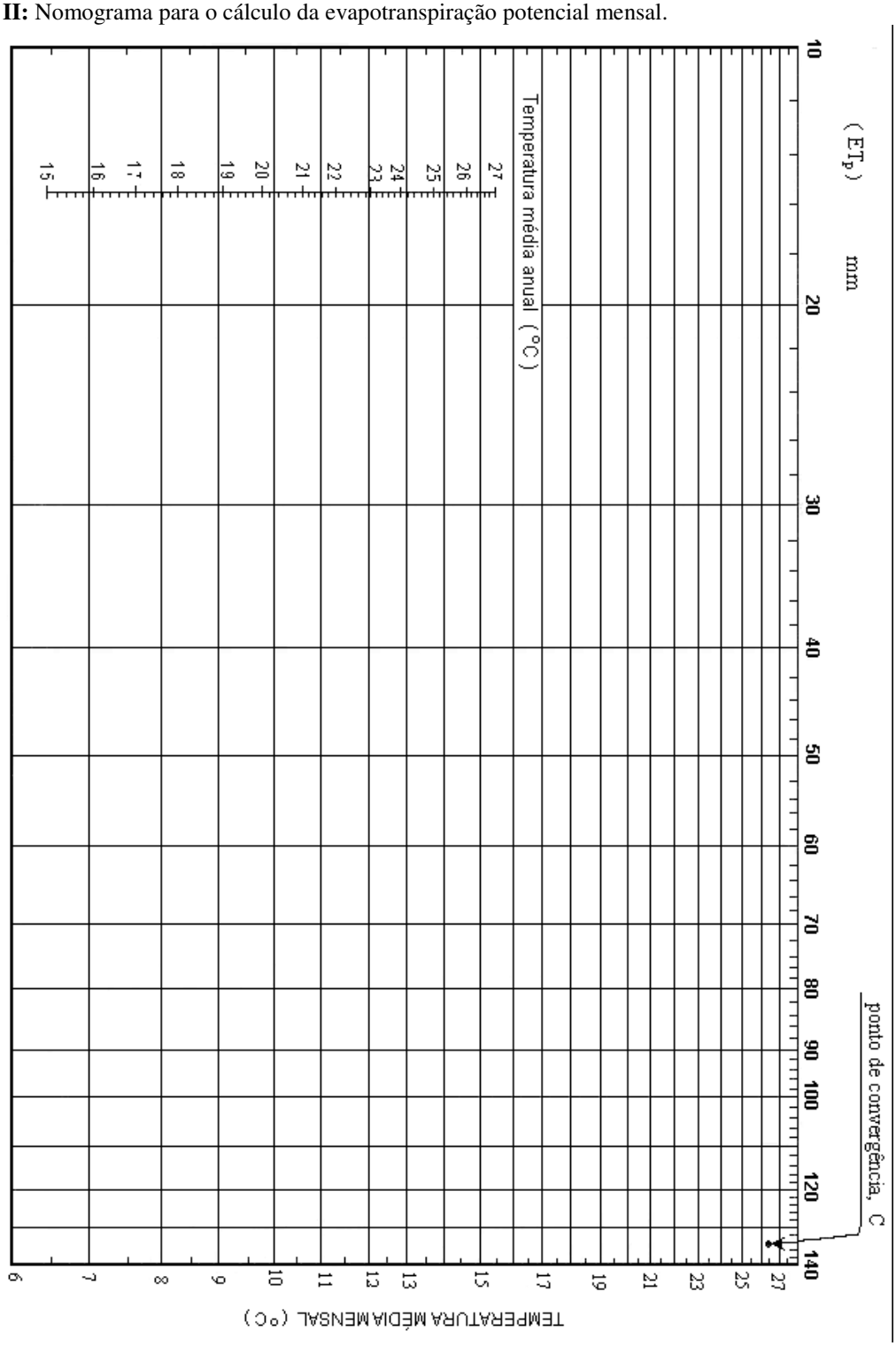




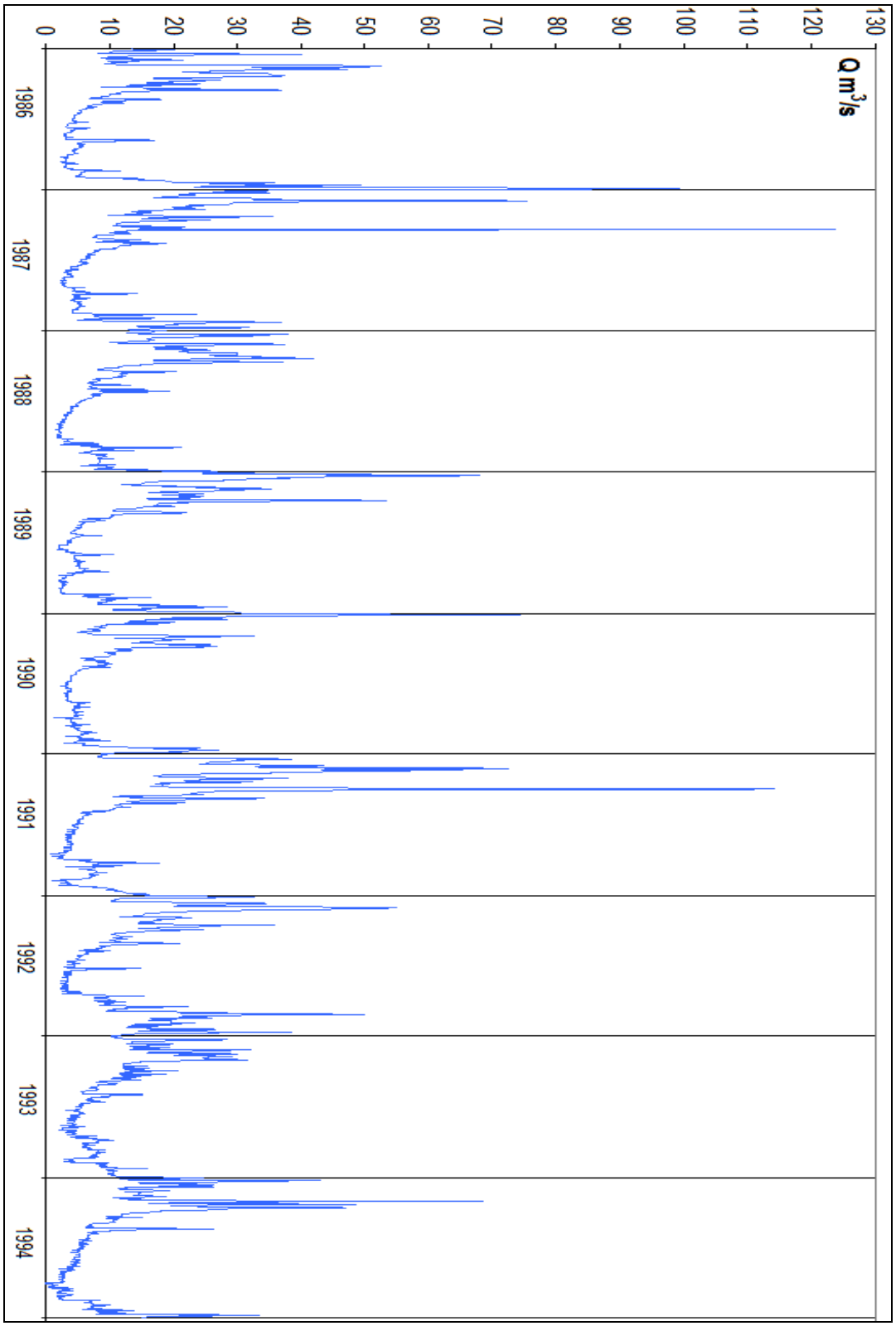




Anexo II: Nomograma para o cálculo da evapotranspiração potencial mensal.



Anexo III: Deflúvio médio diário no exutório da bacia hidrográfica do Ribeirão das antas.



Estimativa das vazões mínimas e de referência ($Q_{7,10}$ e $Q_{90\%}$) como critérios para outorga de água superficial e identificação dos principais usuários (vazão outorgada) na Bacia do Ribeirão das Antas, Planalto de Poços de Caldas, MG.

RESUMO

Este trabalho tem por objetivo determinar, através de métodos estatísticos e utilizando os dados do posto fluviométrico, no exutório da bacia do Ribeirão das Antas, Planalto de Poços de Caldas, o $Q_{7,10}$, e o Q_{90}. Com estes valores houve a possibilidade de realizar uma correlação entre as vazões de referência para outorga com as vazões outorgadas pelo Estado de Minas Gerais, o que permitiu avaliar a disponibilidade de água na bacia. A vazão $Q_{7,10}$ (1.50 m^3/s) foi obtida através da distribuição de Weibull e colocada sob a forma da equação padrão de freqüência Chow. A vazão Q_{90} (1.14 m^3/s) foi obtida através da curva de permanência. As informações contidas no cadastro de outorga do estado permitiram espacializar e contabilizar a vazão outorgada na bacia do Ribeirão das Antas. Foi constatado que a taxa estipulada como limite máximo de derivações outorgadas, neste caso 30% do $Q_{7,10}$ (0,45 m^3/s), já se encontra excedido, considerando a demanda no Ribeirão das Antas (1,46 m^3/s). Dentre os principais usuários podemos destacar o abastecimento público e as mineradoras. Este déficit demonstra a necessidade de aumentar a disponibilidade de água com a construção de um novo reservatório de água, além da necessidade de um aprofundamento maior para a fixação dos critérios de outorga.

Palavras – Chave

Vazões mínimas, vazões outorgadas, bacias hidrográficas

Estimate of minimum flow rates and the reference ($Q_{7,10}$ and $Q_{90\%}$) as criteria for granting of surface water and identifying the main users (granted flow) in the Basin of Ribeirao Antas, Plateau Poços de Caldas, MG.

ABSTRACT

The objective of this paper is to determine $Q_{7,10}$ and Q_{90} parameters through statistical methods and data from the fluviometer station, in the mouth of the Antas River Basin, Minas Gerais, Brazil. These values allowed the determination of a correlation between the reference flow for licensing and the current flow granted by Minas Gerais State, which made it possible to evaluate water availability in the basin. $Q_{7,10}$ flow (1.50 m^3/s) was obtained through Weibull distribution and placed under the Chow frequency standard equation. The Q_{90} flow (1.14 m^3/s) was obtained from a permanence chart. All the information contained in the State Water Grant Registration Database allowed the quantification and accounting of the flow granted in the Antas River. It was determined that the rate set as maximum was already exceeded; 30 % of $Q_{7,10}$ (0.45 m^3/s), considering the Antas River demand as being 1.46 m^3/s. Some main users can be emphasized such as local population and mining companies. This deficit indicates the need to increase water availability through construction of a new water reservoir, besides the need of deeper analysis for setting up new water grant criteria.

Keywords

Minimum flow, Granted flow, River Basin

1 - INTRODUÇÃO

Este trabalho tem por objetivo determinar, através de métodos estatísticos e utilizando os dados de uma estação fluviométrica, não somente o $Q_{7,10}$, mas também o Q_{90}, possibilitando assim, realizar uma correlação entre as vazões de referência calculadas neste trabalho com as vazões outorgadas pelo Estado de Minas Gerais, além de avaliar o critério de outorga utilizado.

O uso múltiplo dos recursos hídricos está relacionado às mais variadas formas de utilização da água, como o abastecimento das cidades, na irrigação agrícola, na utilização em processos industriais, no turismo ou lazer, dentre tantas. Todavia, o uso dos recursos hídricos deve tender sempre a considerar o uso sustentável. Os recursos hídricos representados pelos ecossistemas de água doce são primordiais para a nossa sobrevivência e por isso são utilizados de forma múltipla, porém nem sempre respeitando seus limites e potencialidades.

Atualmente, a maioria dos governos e grande número de agências internacionais destacam a água como prioridade, dentro do conjunto dos recursos naturais estratégicos. Em uma política holística e sustentável de recursos hídricos, os fatores hidrológicos e ecológicos crescem em importância, com relação aos tradicionais fatores administrativos, econômicos e políticos (CRUZ, 2001).

A manutenção dos ecossistemas deve ser garantida por meio da definição da vazão mínima residual bem como da definição do critério de outorga a ser utilizado na bacia, fato este obriga que as entidades envolvidas na gestão dos recursos hídricos tenham profundo conhecimento da hidrologia local. Desta forma, os estudos hidrológicos devem ser realizados para conduzir as estimativas de disponibilidade hídrica.

Em termos jurídicos a Lei Federal nº. 9.433, de 8/01/97 (Lei das Águas), dita diretrizes para o seu aproveitamento, adequando a legislação aos conceitos de desenvolvimento sustentado, instituindo a Política Nacional de Recursos Hídricos e o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, onde foram definidas as seguintes vazões:

- A VAZÃO DE REFERÊNCIA é a vazão do corpo hídrico utilizada como base para o processo de gestão, tendo em vista o uso múltiplo das águas que representa uma condição de alta garantia quantitativa.
- A VAZÃO OUTORGÁVEL é parte da vazão de referência que pode ser utilizada para a outorga de direito de uso dos recursos hídricos.
- A VAZÃO ECOLÓGICA vai um pouco mais além, pode ser definido como o regime de vazões que deve ser mantido no rio para atender a determinados requisitos mínimos do ecossistema aquático.

O conceito de **vazão ecológica** foi definido pelo MMA (Ministério do Meio Ambiente) na Instrução Normativa nº 004, de 21 de junho de 2000, Anexo I, "Art. 2º: **Vazão ecológica** - **vazão mínima** necessária para garantir a preservação do equilíbrio natural e a sustentabilidade dos ecossistemas aquáticos", a qual aprova os procedimentos administrativos para a emissão de outorga de direito de uso de recursos hídricos, em corpos de água de domínio da União.

A aplicação do critério de **vazão de referência** constitui-se um procedimento adequado para a proteção dos rios, pois as alocações para derivações são feitas, geralmente, a partir de uma vazão de base de pequeno risco (HARRIS *et al.*, 2000).

A **vazão de referência** é o estabelecimento de um valor de vazão que passa a representar o limite superior de utilização da água em um curso d'água e é, também, um dos principais entraves à implementação de um sistema de outorga (RIBEIRO, 2000).

No Brasil, cada estado tem adotado critérios particulares pragmáticos para o estabelecimento das vazões de referência para outorga sem, no entanto, apresentar justificativas da adoção desses valores; por exemplo, o estado do Ceará estabelece a referência para outorga em 90% da vazão regularizada com garantia de 90%, isto é, somente podem ser outorgados 90% da Q_{90} (CABRAL, 1997; STUDART *et al.*, 1997), o que significa que, em tempos de estiagem, deve ser mantida uma vazão no rio correspondente a 10% da vazão Q_{90}.

Em bacias com reservatórios e açudes, a vazão de permanência natural se modifica, sendo preferível chamá-la de vazão de regularização. Esta definição também é utilizada nos Estados do Rio Grande do Norte e Bahia, em que este último estabelece limites variáveis para a **vazão outorgável**, entre 80% a 95% da vazão regularizada com

permanência de 90%, dependendo do manancial (CRUZ, 2001); já os Estados de Minas Gerais e Paraná utilizam a vazão $Q_{7,10}$ como referência no estabelecimento das vazões outorgáveis. O Estado de Minas Gerais é extremamente conservador, pois estabelece a vazão outorgável em 30% da $Q_{7,10}$ (SCHVARTZMAN *et al.*, 1999), fixando a vazão ecológica (a vazão que deve permanecer no rio) não inferior a 70% do $Q_{7,10}$.

De acordo com a portaria 010/98 do IGAM – Instituto Mineiro de Gestão das Águas, a **vazão de referência** adotada é a $Q_{7,10}$ (vazão mínima de sete dias de duração e período de retorno de 10 anos) . Através da mesma portaria é fixado o percentual de 30% da $Q_{7,10}$ como limite máximo de derivações a serem outorgadas em cada seção da bacia hidrográfica, garantindo assim, vazões residuais mínimas, a jusante, equivalente a 70% da $Q_{7,10}$.

2 – MATERIAIS E MÉTODOS

O objetivo deste trabalho é realizar uma avaliação entre a oferta e demanda de água na Bacia do Ribeirão das Antas, pois a maior parte do abastecimento de água em Poços de Caldas depende da captação de água superficial. Para tanto, utilizou-se neste trabalho os seguintes materiais e procedimentos metodológicos (figura 01):

1. Quatro cartas topográficas (1:50.000) do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) referentes as cartas de Poços de Caldas, Santa Rita, Caldas e Pinhal.
2. Uma estação fluviométrica operada pela CESP (Companhia Energética de São Paulo). A série histórica continha dados de vazões médias diárias, entre período de 1969 a 1994, localizada no exutório da bacia. Coordenadas: 334279 E e 7595784 N (projeção UTM) a 940 metros de altitude.
3. Uma planilha do Excel referente ao cadastro de usuários, elaborado pelo IGAM, com *coordenadas geográficas, nome do requerente, tipo de uso e vazão outorgada (1994 a 2004).*

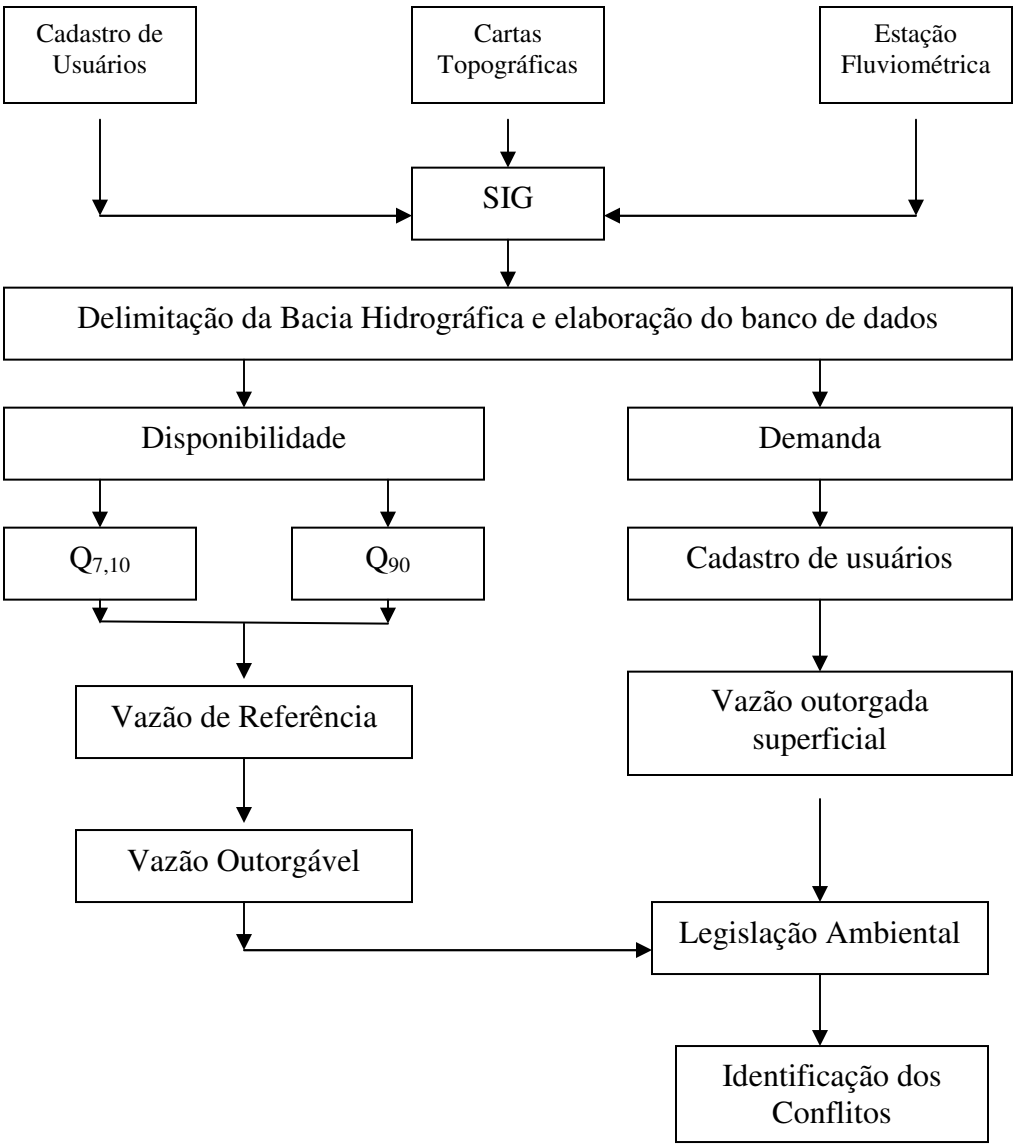


Figura 01: Fluxograma metodológico.

Primeiramente as folhas topográficas foram georreferenciadas utilizando um Sistema de Informação Geográfica – SIG, ferramenta de fundamental importância e agilidade no armazenamento e manipulação das informações de maneira espacializada. O SIG facilitou a delimitação da bacia hidrográfica e sua rede de drenagem, a localização da estação fluviométrica, a identificação dos corpos d'água, a espacialização das outorgas e a elaboração de um banco de dados com informações sobre os principais usuários (vazão outorgada, tipo de uso).

A vazão disponível para outorga (**vazão outorgável**) é estabelecida levando-se em consideração a disponibilidade hídrica. Em geral, as metodologias de medição da vazão outorgada baseiam-se no conceito de $Q_{7,10}$, Q_{90} (**vazão de referência**), utilizado no cálculo da disponibilidade mínima de água em um ponto do rio.

A $Q_{7,10}$ indica uma situação de estado mínimo, enquanto a Q_{90} caracteriza uma situação de permanência, definindo a probabilidade de superação de determinada vazão. A $Q_{7,10}$ é obtida através da análise estatística da série histórica de medidas de vazão, este valor é calculado, considerando a média da mínima de 7 dias consecutivos e recorrência de dez anos. A equação de CHOW (1988) permite associar um valor (magnitude) da variável à probabilidade de sua ocorrência. A Q_{90} é obtida através de uma curva de permanência de vazão, também conhecida como curva de duração. É um traçado gráfico que informa com que freqüência a vazão de dada magnitude é igualada ou excedida durante o período de registro das vazões.

A avaliação sobre o uso múltiplo dos usuários foi possível após a espacialização e análise das outorgas de água. A confrontação das **vazões de referência** e suas respectivas **vazões outorgáveis** com as **vazões outorgadas** pelo órgão ambiental competente (IGAM), possibilitou identificar alguns conflitos existentes na bacia, além de determinar os maiores usuários de água na bacia. A vazão de referência foi calculada utilizando os dados de uma estação fluviométrica localizada no exutório da bacia hidrográfica do Ribeirão das Antas.

3 – LOCALIZACÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DAS ANTAS

O Planalto de Poços de Caldas possui duas bacias hidrográficas: a bacia do Ribeirão da Antas e a bacia do Rio Verde, ambas afluentes do Rio Pardo, inseridas na Bacia do Rio Grande, afluente do Rio Paraná. A bacia hidrográfica do Ribeirão das Antas, objeto do estudo, ocupa aproximadamente 70% da área total do Planalto de Poços de Caldas, possui uma área de cerca 455 km^2, nasce na borda sul a 1.640m de altitude e num percurso de 62 km, transpõe na borda norte, na cachoeira das Antas, a 1.180m de

altitude. Está situada a 460 km de Belo Horizonte e 330 km de São Paulo, sua localização geográfica é determinada pelas coordenadas centrais: 21º47'00'' S e 46º33'00'' W.

O anel quase completo delimitando as bordas do Planalto possui expressão topográfica bem saliente constituindo os limites da bacia do Ribeirão das Antas. A porção norte é constituído pelas Serras de Poços de Caldas (1), do Cristo Redentor (2) e de São Domingos (3), na porção centro ocidental pelo Morro do Serrote (4), na porção centro oriental encontra-se o Morro do Ferro (5) e completando o anel, delimitando a borda sul, a Serra do Caracol (6) (figura 02).

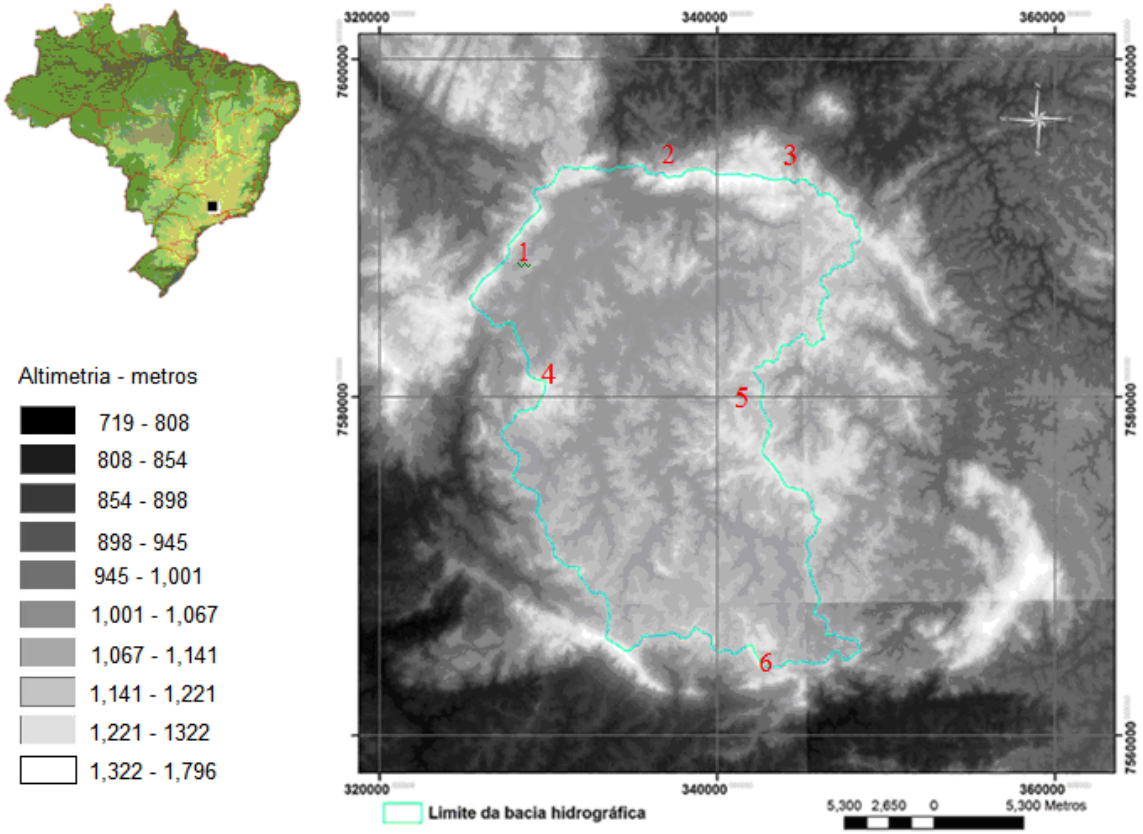


Figura 02: Localização geográfica do Planalto de Poços de Caldas e da Bacia do Ribeirão das Antas.

O ribeirão das Antas tem rede de drenagem composta na **margem esquerda** pelo seu principal afluente o Ribeirão do *Cipó* e pela **margem direita**, os principais contribuintes são os Ribeirões das Vargens e de Poços, formando então o exutório da bacia do Ribeirão das Antas. Os usuários de água estão representados cada um por um identificador (Id), espacializados na figura 03 e discriminados no Anexo I.

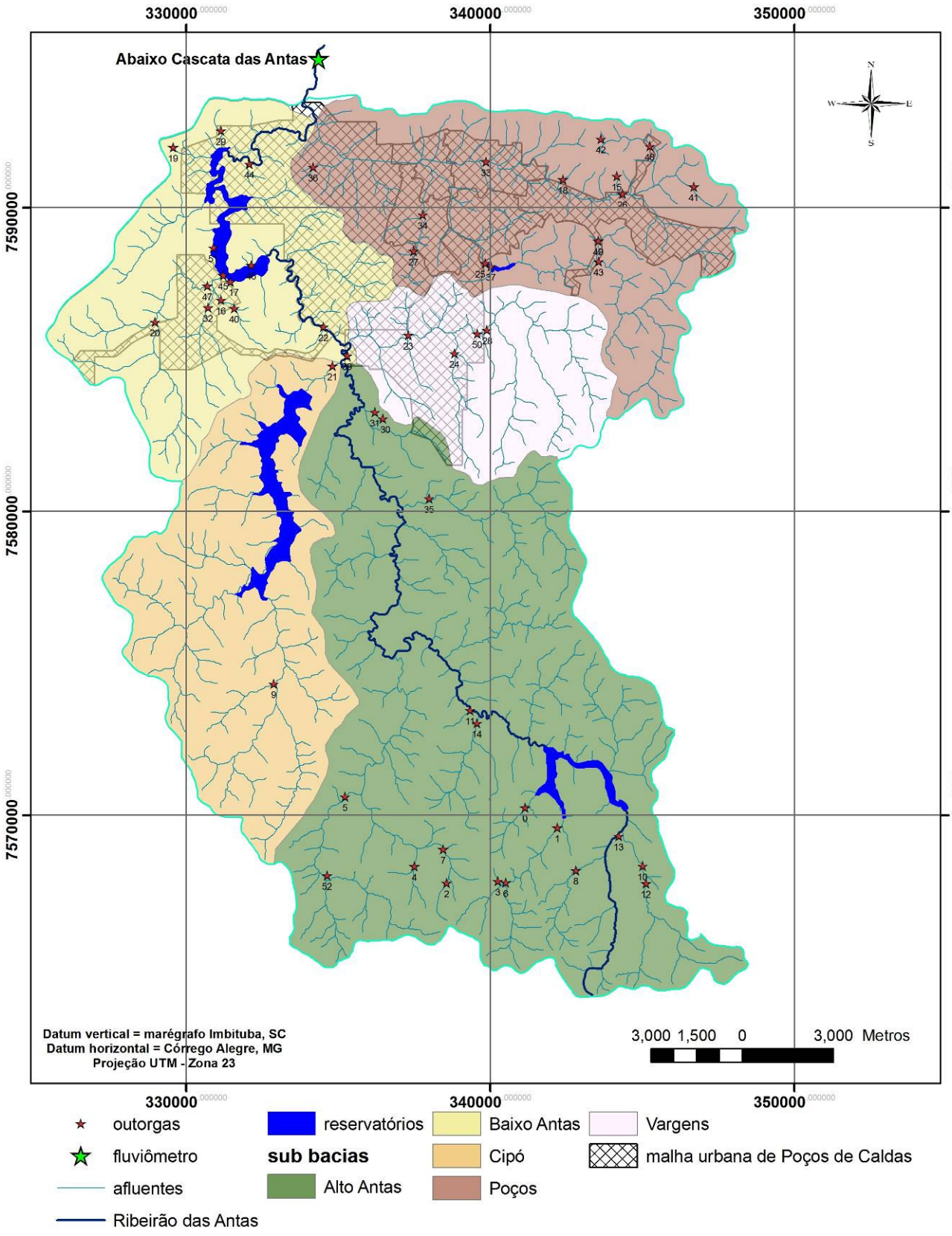


Figura 03: Bacia hidrográfica do Ribeirão das Antas e espacialização das outorgas e estação fluviométrica.

4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

4 .1 – Estimativa das Vazões mínimas/disponibilidade hídrica

Como a disponibilidade hídrica superficial varia de ano para ano e também intra anualmente, tendo caráter aleatório, ela é estimada usualmente em termos probabilísticos. A figura 04 mostra a variação anual dos dados de vazão mínima de um mês entre os anos de 1969 a 1994. As vazões mínimas diárias em cada ano permanecem em torno de 7.7 m^3/s, as mais elevadas, e em anos críticos as vazões mínimas chegam a 1,0 m^3/s, a média das mínimas é 3 m^3/s.

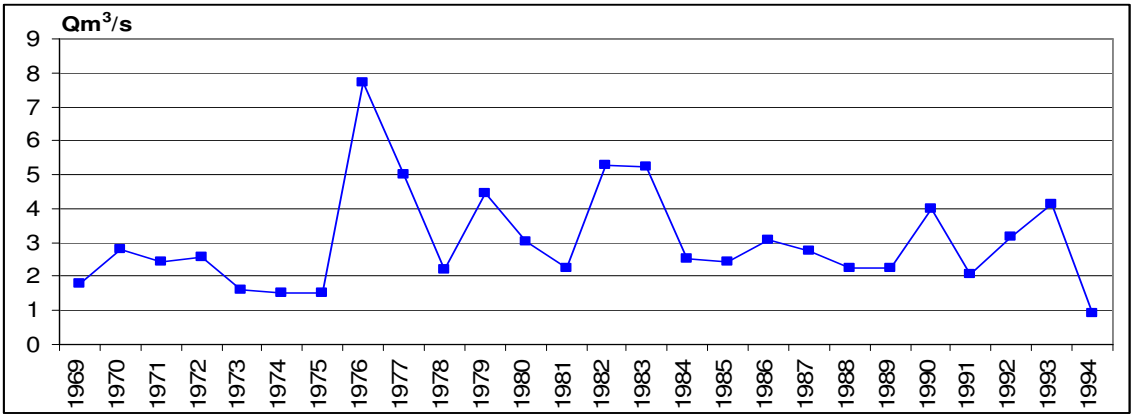


Figura 04: Variação das vazões mínimas de 7 dias por ano no Ribeirão das Antas.

4.1.1 – Mínima de 7 dias consecutivos e recorrência de dez anos ($Q_{7,10}$)

Várias curvas ou distribuições foram propostas para interpretar as séries históricas de vazões. A análise dessa variável aleatória contínua requer o conhecimento de modelos probabilísticos teóricos e sua distribuição amostral de freqüência. Pela revisão da literatura, observa-se que, em se tratando de vazões mínimas, independentes de sua duração, a distribuição de Weibull (também denominada extremos tipo III) tem apresentado bons resultados. Contudo, neste trabalho, optou-se, por motivos de comparação, confeccionar os métodos de Weibull e Log-Normal.

Segundo EUCLYDES (1992) não se pode definir, a priori, a distribuição de probabilidades para descrever a freqüência de vazões em hidrologia e, sim, selecionar

uma família de curvas indicadas ao tipo de dados analisados e, em seguida, individualizar a lei de probabilidade que mais se adapta a interpretar cada série histórica disponível.

Define-se *período de retorno*, Tr, ou *intervalo de recorrência* de um evento hidrológico como sendo o intervalo de tempo médio, medido em anos, em que um evento de uma dada magnitude x_0 é igualado ou superado pelo menos uma vez. Assim, se o evento X (vazão) de magnitude x_0 ocorre ao menos uma vez em Tr anos, tem-se:

$$\mathbf{P}\{X \geq x_0\} = \frac{1}{T_r}$$

Equação (1)

Isto é, o período de retorno, em anos, corresponde ao inverso da probabilidade de excedência. Se, no método de Weibull, a freqüência $\mathfrak{F}(x_0)$ é uma boa estimativa da probabilidade teórica **P**, então:

$$Tr = 1/\mathfrak{F}(x_0) = 1/\mathbf{P}\{X \geq x_0\}.$$

Equação (2)

Sendo assim, os dados de vazão mínima de sete dias (Qmin) foram classificados em ordem crescente e as freqüências (probabilidade de não excedência) calculadas pelo ***método de Weibull*** (**F (%)**) (Tabela 01). Considerando: *m* o número de ordem e *N* o número de dados da série histórica.

$$\mathbf{F = [\mathit{m}/(\mathit{N}+1)] * 100\%}$$

Equação (3)

E, admitindo que as seqüências mínimas possam seguir uma distribuição log-normal de probabilidade, os valores de vazão, já em ordem crescente, são convertidos na variável logarítmica y = log Qmin. A vazão média é a média de toda a série de vazões registradas. O desvio padrão é uma medida de dispersão dos valores de uma amostra em torno da média. Desta forma, a média da variável y (*vazão em valores logarítmicos*) é 0,43 e o desvio padrão encontrado na amostra foi 0,2.

Tabela 01: Distribuição de Weibull e determinação da variável y (logaritmo das vazões mínimas).

Qmin	m	F (%)	y=log Qmin	Qmin	m	F (%)	y=log Qmin
1.01	1	3.7	0.0043	2.56	14	51.85	0.4075
1.5	2	7.41	0.1818	2.76	15	55.56	0.4405
1.52	3	11.11	0.1831	2.8	16	59.26	0.4474
1.61	4	14.81	0.2057	3.01	17	62.96	0.4784
1.78	5	18.52	0.2497	3.09	18	66.67	0.4894
2.06	6	22.22	0.3128	3.17	19	70.37	0.5013
2.2	7	25.93	0.3424	4	20	74.07	0.6016
2.23	8	29.63	0.3483	4.13	21	77.78	0.6164

2.24	9	33.33	0.3506	4.45	22	81.48	0.6482
2.26	10	37.04	0.3533	5.01	23	85.19	0.6998
2.44	11	40.74	0.3871	5.25	24	88.89	0.7199
2.45	12	44.44	0.3884	5.29	25	92.59	0.7236
2.54	13	48.15	0.4051	7.71	26	96.3	0.8873

Para a maioria das distribuições de freqüência utilizadas em hidrológica, a estimativa de um evento, com *determinado período de retorno*, pode ser colocada sob a forma da equação padrão de freqüência devida a Chow (KITE, 1978).

CHOW (1988) afirma que a maioria das funções de probabilidades, aplicáveis à Hidrologia, visando associar valor (magnitude) da variável à probabilidade de sua ocorrência, pode ser representada pelo seguinte modelo geral:

$$\mathbf{Y_{tr} = y_{média} + K\,Sy} \qquad \text{Equação (4)}$$

Em que:

Y_{tr} – valor da vazão com determinado período de recorrência;
$y_{média}$ – média das vazões amostradas;
Sy – desvio padrão das vazões amostradas;
K – fator associado à freqüência;

Sendo assim, para cada nível de freqüência é fixado os valores de K (fator de freqüência da equação de Chow) e que foram obtidos segundo a tabela "Função de distribuição acumulada de probabilidade (probabilidade de não excedência) – Lei normal ou de Gauss" (Tabela 02). Os valores de Qmin foram então obtidos através da inversão logarítmica ($Qmin=10^{ytr}$).

Tabela 02: distribuição de chow e determinação do tempo de recorrência.

F%	Tr	K	Ytr (eq de chow)	$Qmin=10^{ytr}(m^3/s)$
0.49	204.08	-2.58	-0.07994694	0.83
0.99	101.01	-2.33	-0.02981119	0.93
1.97	50.76	-2.06	0.02433542	1.05
4.01	24.94	-1.75	0.08650375	1.22
10.03	9.97	-1.28	0.18075896	1.51
20.05	4.99	-0.84	0.26899788	1.85
50.00	2	0	0.437454	2.73
79.95	1.25	0.84	0.60591012	4.03
89.97	1.11	1.28	0.69414904	4.94
95.99	1.04	1.75	0.78840425	6.14
98.03	1.02	2.06	0.85057258	7.08
99.01	1.01	2.33	0.90471919	8.02
99.51	1	2.58	0.95485494	9.01

Finalmente, admitindo que as freqüências das vazões mínimas se encaixem em algumas dessas distribuições, os valores de vazão (Qmin) e freqüência (**F%**) são plotados no mesmo gráfico (figura 05). O coeficiente de determinação R^2 é a nomenclatura padrão em modelos de regressão para determinar o quão bem os dados se ajustam à curva de regressão. O R^2 varia entre zero e um, e quanto mais próximo de um estiver, maior o ajuste do modelo.

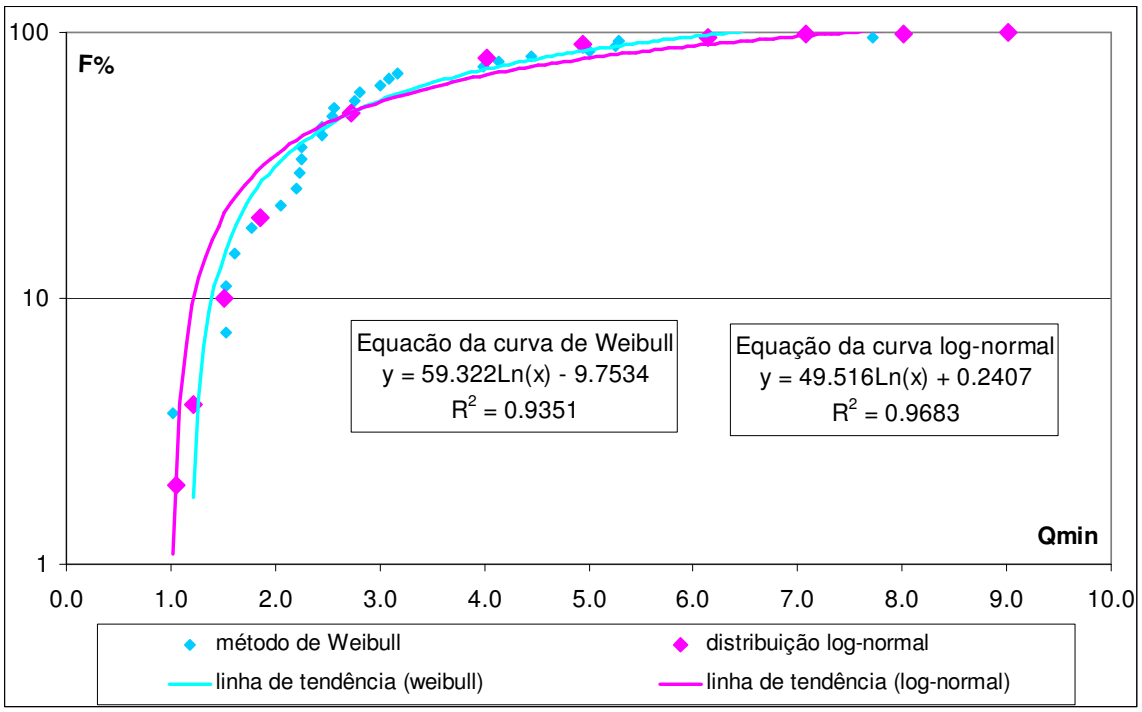


Figura 05: Distribuição de freqüência das vazões mínimas de sete dias.

Essas curvas, construídas para esta série de dados, permitiram obter informações importantes como a vazão mínima de sete dias e dez anos de recorrência (bastante utilizada em relatórios sobre outorga e uso de água de cursos naturais). Através do gráfico foi possível observar que os dois modelos podem ser muito bem aplicados. Euclydes et al. (2001), trabalhando com regressões para regionalização de vazões mínimas anuais e 33 estações fluviométricas na região Alto São Francisco, encontraram coeficientes de determinação médios de 0,94. O modelo Log-Normal apresentou coeficiente de determinação (R^2 = 0,96) mais próximo de 1 e portanto considera-se um modelo adequado para prever as vazões mínimas de sete dias para o Ribeirão das Antas.

Portanto, o valor do $Q_{7,10}$ no exutório da bacia do Ribeirão das Antas é aproximadamente **1,50 m^3/s**.

4.1.2 – Curva de permanência (Q_{90})

A curva de permanência, por permitir que se conheçam os intervalos de tempo em que as vazões foram igualadas ou excedidas, acaba por se constituir numa importante ferramenta empregada em estudos visando à conservação e/ou o aproveitamento dos recursos hídricos. A forma da curva, ou mais propriamente a sua declividade constitui um indicativo das características do próprio curso d'água. Assim, uma curva plana, mais achatada, sugere que grandes armazenamentos naturais estão presentes no curso d'água a montante da seção fluviométrica. Já uma curva com forte declividade, ao contrário, indica a ausência de armazenamentos significativos na calha do rio (Barbosa, 2002).

A vazão que é superada em 90% do tempo é chamada de Q_{90} e é utilizada como referência na legislação. Já a vazão que é superada em 95% do tempo, também citada na literatura, é chamada de Q_{95} e geralmente é utilizada para definir a energia assegurada de uma usina hidrelétrica. A curva de permanência ou duração foi construída com base nos registros das vazões médias mensais da estação fluviométrica (tabela 03).

Tabela 03: Vazões médias mensais (m^3/s) da estação fluviométrica da CESP.

Ano	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
1969	8.2	10.8	14.8	10.3	5.0	5.2	2.9	2.5	1.9	3.1	14.4	16.0
1970	22.6	42.7	23.3	18.3	7.4	5.4	4.5	6.3	7.6	6.4	10.6	10.1
1971	6.0	3.7	12.2	11.8	5.8	9.0	5.3	3.2	3.2	10.4	8.0	19.7
1972	20.9	31.0	17.4	11.5	6.4	3.4	8.6	7.1	4.7	13.4	14.8	16.7
1973	27.1	23.7	12.1	16.7	9.8	5.8	4.9	3.6	2.3	2.8	6.4	19.5
1974	29.7	11.3	24.7	14.4	6.7	6.9	4.6	3.4	2.6	1.8	2.0	17.1
1975	20.6	25.1	20.7	11.6	6.4	4.0	3.6	3.2	2.0	4.3	11.6	22.4
1976	14.7	30.4	36.7	22.7	11.8	10.1	11.5	13.0	13.6	9.4	15.0	25.5
1977	34.9	23.2	16.1	26.2	11.2	7.8	5.6	5.4	5.7	6.3	11.5	26.6
1978	28.1	17.1	13.9	8.0	7.1	8.0	6.4	5.2	5.2	3.4	11.1	13.9
1979	17.0	24.1	20.7	9.6	12.4	6.1	5.6	6.0	7.5	7.8	10.3	21.9
1980	31.0	23.8	17.6	21.7	8.3	7.1	5.3	4.7	3.6	4.9	9.6	19.9
1981	42.9	15.0	13.6	7.6	4.5	5.9	4.5	3.5	2.6	9.1	19.8	29.1
1982	32.2	27.3	31.1	19.1	11.0	10.0	8.2	7.0	5.8	10.8	12.9	36.8
1983	57.7	39.2	28.6	19.1	15.3	22.5	9.7	5.8	15.6	23.5	16.3	36.3
1984	19.2	9.9	7.4	5.6	5.8	4.2	2.9	3.5	4.2	4.3	5.2	17.7
1985	25.7	22.9	29.8	13.2	7.3	5.1	3.9	2.8	2.6	2.2	4.7	7.1
1986	15.8	29.0	24.9	17.0	9.8	5.3	4.3	5.5	5.0	3.4	5.3	37.6
1987	31.1	22.5	17.4	16.7	11.5	7.3	5.0	3.3	5.3	5.2	8.3	19.0
1988	19.6	23.9	24.1	11.6	8.6	8.8	4.4	3.0	2.3	6.1	8.5	12.5
1989	34.0	23.1	24.5	13.1	6.3	4.7	3.3	5.6	5.0	2.8	7.1	15.4
1990	26.9	10.0	20.3	10.5	7.9	4.2	3.5	4.2	4.7	4.6	6.2	14.1
1991	23.1	38.2	30.0	29.0	12.3	5.8	4.3	3.7	2.8	7.9	5.9	9.1

1992	21.3	29.0	19.5	12.8	9.9	5.0	4.8	3.3	6.5	13.3	23.8	18.5
1993	16.1	22.1	17.0	13.0	8.0	8.0	4.9	4.3	5.9	7.4	6.5	10.7
1994	21.1	14.6	29.9	12.1	10.1	6.2	5.2	4.4	2.9	2.0	4.9	12.8
Média	**24.9**	**22.8**	**21.1**	**14.7**	**8.7**	**7.0**	**5.3**	**4.8**	**5.0**	**6.8**	**10.0**	**19.5**

Uma curva de permanência de vazão, também conhecida como curva de duração é um traçado gráfico que informa com que freqüência a vazão de dada magnitude é igualada ou excedida durante o período de registro das vazões. O traçado da curva é feito, normalmente, com a vazão lançada em ordenada, contra a porcentagem do tempo em que essa vazão é igualada ou excedida em abscissa. Para a preparação da curva de permanência (figura 06) foi adotado o procedimento descrito por Barbosa (2002), a tabela 04 demonstra os resultados da seqüência de cálculos:

1. A faixa total das vazões (Máxima e Mínima) utilizadas na análise é dividida em classes, dispostas em ordem decrescente. O tamanho do intervalo de classe é calculado segundo tamanho do intervalo de classe.

$$\mathbf{\Delta Q = Q_{max} - Q_{min} / N} \qquad \text{equação (5)}$$

2. O Rib. das Antas apresentou entre o período de 1969 a 1994, $Q_{máx}$ = 57,7 m^3/s e $Q_{mín}$ = 1,8 m^3/s, sendo o número de classes desejado igual a 20, o valor do intervalo de classes utilizado é, portanto ΔQ = 2,8 m^3/s.
3. O registro completo de dados (tabela 3) é "esquadrinhado", contando-se o número de observações dentro de cada classe.
4. O número de observações em cada classe é acumulado, a partir do intervalo que contém a vazão máxima (a classificação é decrescente).
5. A contagem das observações acumuladas é, então, transformada em porcentagem. Para isso, dividem-se os valores acumulados pelo número total de registros de vazão e multiplica-se o resultado por 100.
6. Os valores da vazão são lançados em um gráfico (limite inferior de cada classe), no eixo das ordenadas, versus as contagens percentuais acumuladas correspondentes, no eixo das abscissas, e traça-se uma linha suave através dos pontos plotados. Obtém-se, assim, uma curva onde no eixo das abscissas tem-se a contagem do tempo percentual em que ocorreram nos registros vazões iguais ou superiores a uma dada vazão de referência.

Tabela 04: Tabela de distribuição de freqüência das vazões médias mensais.

Intervalo	Limite inferior	Número de observações	Observações Acumuladas	Freqüência Acumulada
55.0 -- 57.8	55.0	1	1	0.32
52.2 -- 55.0	52.2	0	1	0.32
49.4 -- 52.2	49.4	0	1	0.32
43.8 -- 46.6	43.8	0	1	0.32
41.0 -- 43.8	41.0	2	3	0.96
38.2 -- 41.0	38.2	2	5	1.60
35.4 -- 38.2	35.4	4	9	2.88
32.6 -- 35.4	32.6	2	11	3.53
29.8 -- 32.6	29.8	9	20	6.41
27.0 -- 29.8	27.0	10	30	9.62
24.2 -- 27.0	24.2	9	39	12.50
21.4 -- 24.2	21.4	19	58	18.59
18.6 -- 21.4	18.6	17	75	24.04
15.8 -- 18.6	15.8	19	94	30.13
13.0 -- 15.8	13.0	22	116	37.18
10.2 -- 13.0	10.2	30	146	46.79
7.40 -- 10.2	7.4	42	188	60.26
4.60 -- 7.40	4.6	75	263	84.29
1.80 -- 4.60	1.8	49	312	100.00

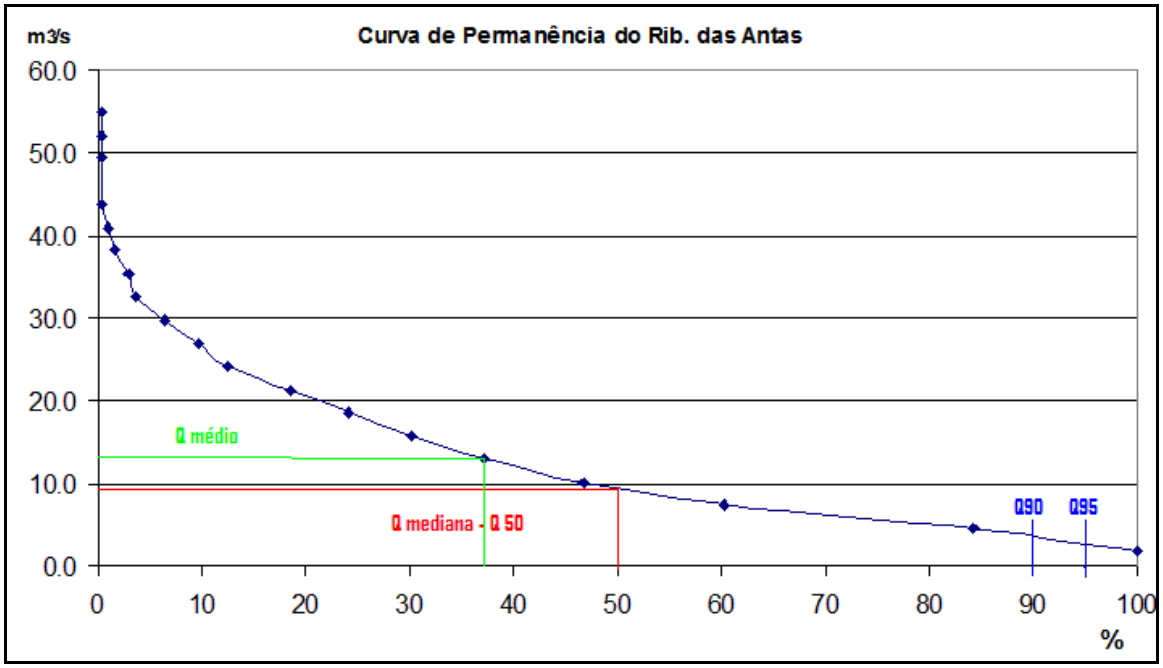


Figura 06: Curva de Permanência de vazões.

O valor da vazão Q_{90} encontrada na curva de permanência foi **3,8 m^3/s.** Outras informações importantes sobre o comportamento das vazões no Ribeirão das Antas também podem ser extraídas desta curva, como por exemplo: a vazão correspondente a

50% de excedência é a chamada **vazão mediana**, sendo aproximadamente **9 m^3/s.** A **vazão média** aritmética nesse período (**12,9 m^3/s)** possui cerca de 37% de chances de ser excedida.

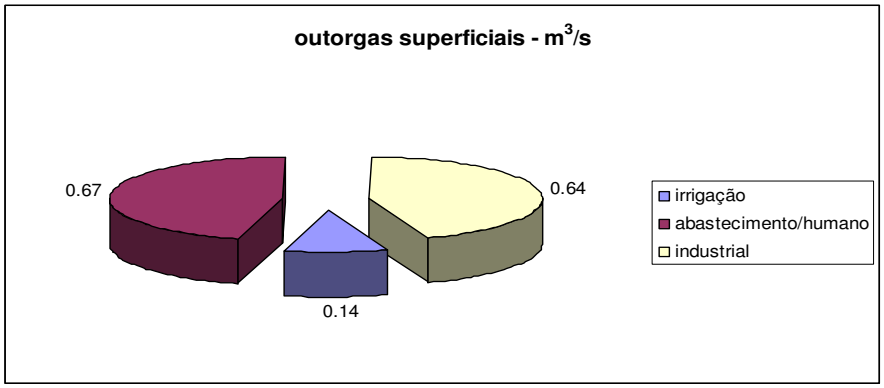
4.2 - Demanda Hídrica e uso múltiplo dos Recursos Hídricos

O Conhecimento dos usos múltiplos é fundamental para o gerenciamento dos recursos hídricos, tendo em vista a identificação dos conflitos potenciais. Através desta análise pode-se classificar, quantificar e espacializar os tipos de usos dos recursos hídricos (Anexo I). Estes usos estão relacionados às atividades econômicas na bacia e estão espacializados na figura 1 conforme o identificador (Id).

Dentre os principais usuários podemos destacar o Departamento Municipal de Água e Esgoto - DMAE, responsável pelo abastecimento público. No setor industrial as mineradoras são responsáveis pela grande maioria do volume de água outorgado na bacia, destacando a ALCOA (Aluminum Company of America), Fertilizantes Mitsui e a CBA (Companhia Brasileira de Alumínio) como grandes usuários. A DANONE, indústria de lacticínios, também se destacada como grande consumidora de água na bacia (figura 07).

O abastecimento público e a indústria dividem a posição de maiores usuários. A irrigação desempenha um papel pouco expressivo na bacia do Ribeirão das Antas, fato que caracteriza a bacia como essencialmente industrial e de alta densidade populacional, principalmente na região norte do Planalto de Poços de Caldas.

Outorgas Superficiais – m^3/s			
Irrigação	**Abastecimento/humano**	**Industrial**	**Total**
0.14	0.67	0.64	1.46



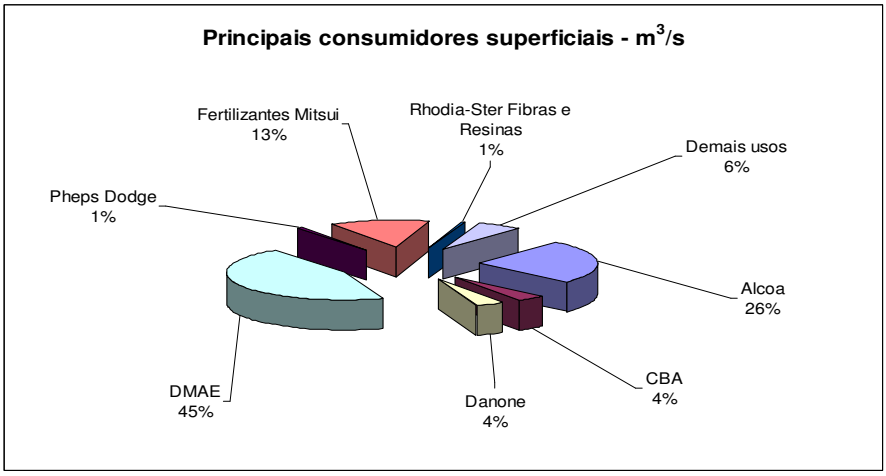


Figura 07: Outorgas de água na bacia do Ribeirão das Antas.

5 - CONCLUSÕES

Os estudos e discussões para a definição dos critérios de outorga a serem utilizados são de grande relevância na formulação da política de concessão das outorgas de direito de uso de recursos hídricos. Nas análises de outorga de água é preciso, portanto, avaliar as demandas de água a nível da bacia hidrográfica. As demandas de água a serem consideradas são as previstas no artigo 12 da lei 9.433, e devem ser analisadas em função das quantidades requeridas e dos impactos causados à quantidade da água disponível e remanescente no curso de água. Isto porque é grande o volume de água captado no Ribeirão das Antas, e possui déficit hídrico em relação ao critério utilizado atualmente em Minas Gerais (30% do $Q_{7,10}$) (tabela 05).

Tabela 05: Balanço geral entre as vazões de referência, outorgável, outorgada e residual.

Vazões	Vazão de Referência		Vazão Outorgável		Vazão Outorgada	Vazão Residual	
	Q7,10	Q 90	30% Q7,10	30% Q90		(Déficit)	
m^3/s	1.5	3.8	0.45	1.14	1.46	-1.01	-0.32
mm	75	191	23	57	73	-51	-16

A vazão de referência embasada nos cálculos do $Q_{7,10}$ é um método mais conservador do que a vazão de referência Q_{90} determinada pela curva de permanência, pois estabelece a vazão outorgável em 30% da $Q_{7,10}$ (0,45 m^3/s) enquanto os mesmos 30% da Q_{90} permite outorgar 1.14 m^3/s. Porém o $Q_{7,10}$ é extremamente importante nos períodos críticos, quando a vazão do Ribeirão das Antas chega a apenas 1 m^3/s.

A taxa estipulada como limite máximo de derivações outorgadas, neste caso 30% do $Q_{7,10}$ (0,45 m^3/s) já se encontra excedido, considerando a demanda no Ribeirão das Antas (1,46 m^3/s). Este déficit demonstra a necessidade de aumentar a disponibilidade de água, como a construção de um novo reservatório de água, de modo que a qualidade dos recursos hídricos e a manutenção do meio ambiente não sejam comprometidos, principalmente em épocas de estiagem.

As mineradoras (ALCOA, CBA e MITSUI) e o abastecimento público são os grandes responsáveis por maior parte do consumo, com 43% e 45% do volume outorgado, respectivamente. Entre as mineradoras a ALCOA é a maior consumidora, responsável por cerca de 26% de toda captação superficial.

É valido lembrar, neste caso, que a lei nº 13.199/99 que dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos em Minas Gerais, no seu art. 3º estabelece: *I – o direito de acesso de todos aos recursos hídricos, com prioridade para o abastecimento público e a manutenção dos ecossistemas.*

O IGAM (Instituto Mineiro de Gestão das Águas), pela Portaria nº 030, de 7 de junho de 1993, alterada pela Portaria nº 007, de 19 de outubro de 1999, prevê que para o Estado de Minas Gerais o limite de outorga poderá ser superior a 30% (trinta por cento) da $Q_{7,10}$, quando o curso de água for regularizado pelo interessado ou por outros usuários, aproveitando o potencial de regularização ou de perenização desde que seja garantido um fluxo residual mínimo a jusante equivalente a 70% (setenta por cento) da $Q_{7,10}$ (§ 3º). E ainda, até que se estabeleçam as diversas vazões de referência na Bacia Hidrográfica, será adotada a $Q_{7, 10}$, para cada Bacia (§ 1º).

A vazão mínima de um curso d'água pode ser aumentada com a construção de um reservatório (regularização), o efeito da presença do reservatório modifica a curva de permanência, tornando-a mais achatada. No ano de 1998, foi construído o mais recente reservatório de água na sub bacia do Cipó, posterior ao período de dados de vazão analisado neste trabalho, o que talvez possa ter alterado o regime de vazões do Ribeirão das Antas, tornando as vazões mais próximas da média. O objetivo da construção desse reservatório visa atender os diversos usuários da bacia, além de regularizar a vazão do Ribeirão das Antas, assegurando o abastecimento de água nos períodos críticos. Tal estudo exigira uma série histórica mais recente e dados concisos, dados esses não existentes.

Contudo, o estudo indicou a necessidade de um aprofundamento maior para a fixação dos critérios de outorga. A definição de vazão ecológica a ser mantida em trechos de vazão reduzida no Brasil tem-se baseado apenas em métodos de hidrologia estatística, com pouco significado biológico. Ressalva-se aqui a necessidade de se estabelecer um valor para a vazão ecológica que seja embasada também nas características biológicas dos rios, na quantidade necessária de água para a sobrevivência, reprodução e crescimento da biota aquática, sem que ocorram impactos expressivos.

Algumas sugestões para aperfeiçoar o processo de outorga: (**I**) Revisão das outorgas, no sentido de diminuir o direito de uso de grandes consumidores; (**II**) Uso

conjunto de águas superficiais e subterrâneas; (**III**) Cobrança pelo uso da água de forma, escalonada, por volume outorgado, por volume utilizado e sazonal.

6 – BIBLIOGRAFIA CITADA

BARBOSA Jr., A. R. Curva de Permanência de Vazão. In: Hidrologia aplicada. Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto/UFOP, 2002.

CABRAL, B. Legislação Federal de Recursos Hídricos. Senado Federal, Brasília. Cadernos Legislativos nº 002, 1997.

CHOW, V.T.; Maidment, D.R.; Mays, L.W. Applied hydrology. 1. ed. New York: Mc Graw-Hill publishing Company, 1988, 572p.

CRUZ, J. C. Disponibilidade hídrica para outorga: avaliação dos aspectos técnicos e conceituais. Porto Alegre: UFRGS. 2001, 199p. Tese Doutorado.

EUCLYDES, H. P. Regionalização de vazões máximas e mínimas para a bacia do rio Juatuba-MG. Viçosa: UFV, 1992. 66p. Dissertação Mestrado.

EUCLYDES, H. P.; Ferreira, P. A.; Rubert, O. A. Santos, R. M. Regionalização hidrológica na bacia do Alto São Francisco a montante da barragem de Três Marias, MG. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, v.6, n.2, p.81-105, 2001.

HARRIS, N. M.; Gurnell, A. M.; Hannah, D. M.; Petts, G. E. Classification of river regimes: a context for hydroecology. In: John Wiley & Songs, Hardcover: Hydrological Processes. 2000, v.14, p.2831-2848.

KITE, G. W. Frequency and risk analyses in hydrology. Fort Collins, Water Resources, 1978. 224p.

RIBEIRO, M. M. R. Alternativas para outorga e a cobrança pelo uso da água: Simulação de um caso. Porto Alegre: IPH/URGS, 2000. 200p. Tese Doutorado.

SCHARTZMAN, A. S.; Medeiros, M. J.; Nascimento, N. O. Avaliação preliminar do critério de outorga adotado do estado de Minas Gerais. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 13, 1999, Belo Horizonte. Anais... Belo Horizonte: ABRH, 1999. CD Rom.

STUDART, T. M. C.; Campos, J. N. B.; Costa, A. M. A alocação e o uso dos recursos hídricos no Ceará. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 12, 1997, Vitória. Anais. Vitória: ABRH, 1997. CD Rom.

Anexo I: Tabela de outorgas de água concedida pelo IGAM entre o ano de 1998 a 2004.

Id	Requerente	Vazão m^3/h	uso	id	Requerente	Vazão m^3/h	uso
0	Devanil	21.6	irrigação	27	DMAE	90	abastecimento/humano
1	Devanil	40.79	irrigação	28	Pheps Dodge	25.2	abastecimento/humano
2	Dorivan	2.16	irrigação	29	Posto Minerão	3.6	abastecimento/humano
3	Guilherme	9.36	irrigação	30	Alcoa	0	abastecimento/humano
4	Guilherme	10.8	irrigação	31	Alcoa	0	drenagem/disposição de resíduos
5	Helcio	12.96	irrigação	32	Fertilizantes Mitsui	0	drenagem/disposição de resíduos
6	Henrique	3.6	irrigação	33	Prefeitura	0	Recirculação/controle cheia/retificação
7	Henrique	25.9	irrigação	34	Prefeitura	0	Recirculação/controle cheia/retificação
8	Itiro	19.44	irrigação	35	Prefeitura	0	Recirculação/controle cheia/retificação
9	Itiro	22.68	irrigação	36	Prefeitura	0	Recirculação/controle cheia/retificação
10	Itiro	18.25	irrigação	37	DME	0	Recirculação/controle cheia/retificação
11	Reynaldo	40	irrigação	38	Alcoa	936	industrial
12	Theodoro	18	irrigação	39	Alcoa	378	industrial
13	Tomekichi	21.6	irrigação	40	CBA	6.84	industrial
14	Reynaldo	40	industrial	41	Alcoa	9	industrial
15	CBA	6.66	irrigação	42	Alcoa	2.16	industrial
16	CBA	198	irrigação	43	Alcoa	16.92	industrial
17	DME	0	irrigação	44	Danone	200.16	industrial
18	Alcoa	1.8	irrigação	45	Fertilizantes Mitsui	350.28	industrial
19	DMAE	19.8	abastecimento/humano	46	Fertilizantes Mitsui	250.2	industrial
20	DMAE	216	abastecimento/humano	47	Fertilizantes Mitsui	100.08	industrial
21	DMAE	684	abastecimento/humano	48	Frigorífico Tamoyo	14.4	industrial
22	DMAE	288	abastecimento/humano	49	Lafarge Brasil	1.44	industrial
23	DMAE	216	abastecimento/humano	50	Pheps Dodge	25.2	industrial
24	DMAE	108	abastecimento/humano	51	Rhodia-Ster	29.98	industrial
25	DMAE	612	abastecimento/humano	52	Alcoa	18	industrial
26	DMAE	144	abastecimento/humano				