

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana

**PROPOSTA DE METODOLOGIA PARA ELABORAÇÃO DE
CARTA DE CONFLITO DE USO BASEADA EM BANCO DE
DADOS GEOGRÁFICO COMO SUBSÍDIO À GESTÃO TERRITORIAL
APLICADA NO MUNICÍPIO DE POÇOS DE CALDAS - MG.**

Misael de Mendonça

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana da Universidade Federal de São Carlos, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Urbana.

Orientação: Prof. Dr. Reinaldo Lorandi

SÃO CARLOS

AGOSTO/2005

Livros Grátis

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

Milhares de livros grátis para download.

**Ficha catalográfica elaborada pelo DePT da
Biblioteca Comunitária da UFSCar**

M539pm

Mendonça, Misael de.

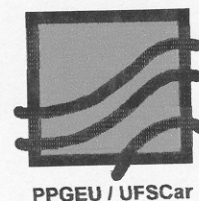
Proposta de metodologia para elaboração de carta de conflito de uso baseada em banco de dados geográfico como subsídio à gestão territorial aplicada no município de Poços de Caldas - MG / Misael de Mendonça. -- São Carlos : UFSCar, 2005.

197 p.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal de São Carlos, 2005.

1. Engenharia geológica. 2. Sistemas de informação geográfica. 3. Conflito de uso. 4. Mapeamento geotécnico. 5. Álgebra de mapas I. Título.

CDD: 624.151 (20^a)



FOLHA DE APROVAÇÃO

MISAEL DE MENDONÇA

Dissertação defendida e aprovada em 02/08/2005
pela Comissão Julgadora

Prof. Dr. Reinaldo Lorandi
Orientador (DECiv/UFSCar)

Prof. Dr. Luiz Nishiyama
(IG/UFU)

Prof. Dr. Adail Ricardo Leister Gonçalves
(DECiv/UFSCar)

Prof. Dr. Bernardo Arantes do Nascimento Teixeira
Presidente da CPG-EU

Às minhas filhas, Ester e Júlia, e à minha esposa Míriam, que me apoiou nos momentos de dificuldades, e me incentivou nos momentos decisivos, ofertando sua compreensão pelos momentos de ausência.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente ao Prof. Dr. Reinaldo Lorandi, pelo incentivo e orientação, e pelos preciosos ensinamentos transmitidos no decorrer desse trabalho.

Aos demais Professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana, pelo aprendizado durante o período de realização.

Aos meus Pais, Martinho e Regina, que me proveram as bases iniciais da educação que me permitiu chegar até aqui.

À amiga Thaís Helena, pela amizade, apoio e companhia durante grande parte das etapas deste trabalho.

Ao amigo Marcio, pela preciosa colaboração na coleta das amostras e tratamento dos dados iniciais.

Ao amigo José Herbet, pela seriedade e presteza nas atividades de campo e laboratório.

A todos os colegas do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana, pela amizade, apoio e incentivo.

À Prefeitura Municipal de Poços de Caldas, pelo apoio e atenção dispensada.

À empresa Togni S.A. Materiais Refratários, pela colaboração nas atividades de laboratório.

Aos amigos Lúcio Rampazzo e Luiz Renato, da empresa Mineração Curimbaba Ltda., pela atenção e colaboração.

Em especial, agradeço a Deus, por abençoar-me com saúde, sabedoria e perseverança, virtudes sem as quais a realização e conclusão deste trabalho jamais poderiam ser alcançadas.

SUMÁRIO

| | |
|--|-------------|
| LISTA DE FIGURAS | iv |
| LISTA DE TABELAS..... | viii |
| LISTA DE SÍMBOLOS E SIGLAS..... | x |
| RESUMO | xii |
| ABSTRACT | xiii |
| 1 – INTRODUÇÃO | 1 |
| 2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA..... | 7 |
| 2.1 – A cartografia geológico-geotécnica..... | 7 |
| 2.2 – Sistemas de Informações Geográficas – SIG | 36 |
| 2.2.1 – Banco de dados | 36 |
| 2.2.2 – Modelagem numérica | 37 |
| 2.2.3 – Sensoriamento remoto..... | 39 |
| 2.2.4 – Sistema de Posicionamento Global – GPS..... | 42 |
| 2.2.5 – Geoestatística | 43 |
| 2.2.6 – Álgebra de mapas | 44 |
| 3 – O CONFLITO DE USO..... | 48 |
| 3.1 – A poluição hídrica | 48 |
| 3.2 – O uso urbano | 48 |
| 3.3 – O uso rural..... | 51 |
| 3.4 – O uso industrial..... | 52 |
| 3.5 – A extração mineral..... | 52 |
| 3.6 – A disposição de resíduos..... | 54 |
| 4 – GESTÃO TERRITORIAL..... | 57 |
| 4.1 – Planejamento | 57 |
| 5 – BANCO DE DADOS GEOGRÁFICO | 59 |
| 5.1 – Armazenamento de representações matriciais..... | 60 |
| 5.2 – Armazenamento de representações vetoriais | 61 |
| 5.3 – Processamento de consultas | 62 |
| 6 – CARACTERÍSTICAS DA ÁREA DE ESTUDO | 64 |
| 6.1 – Localização geográfica..... | 64 |

| | |
|--|-----------|
| 6.2 – Climatologia..... | 67 |
| 6.2.1 – Pluviometria | 67 |
| 6.2.2 – Evapotranspiração potencial | 68 |
| 6.2.3 – Temperatura | 68 |
| 6.2.4 – Balanço hídrico | 69 |
| 6.3 – Cobertura vegetal..... | 70 |
| 6.4 – Geologia | 70 |
| 6.5 – Recursos minerais | 75 |
| 6.6 - Solos | 75 |
| 6.7 – Recursos hidrominerais..... | 76 |
| 6.8 – Hidrografia | 78 |
| 6.9 – Condicionamento estrutural e água subterrânea..... | 79 |
| 6.9.1 – Evolução físico-química das águas – origem dos constituintes..... | 83 |
| 6.10 – Geomorfologia | 86 |
| 7 – REPRESENTAÇÕES CARTOGRÁFICAS..... | 88 |
| 7.1 – Modelo digital de terreno | 88 |
| 7.1.1 – Levantamento e tratamento dos dados cartográficos já existentes..... | 88 |
| 7.1.2 – Geração do modelo numérico de terreno. | 89 |
| 7.1.3 – Geração de imagem de modelo digital de terreno sombreada. | 90 |
| 7.2 – Carta de Hipsometria | 93 |
| 7.3 – Carta de Declividades | 95 |
| 7.4 – Mapa de Rede de Drenagem e Recursos Hídricos | 100 |
| 7.4.1 – Mapa de Mananciais | 104 |
| 7.5 – Mapa de Documentação | 106 |
| 7.6 – Mapa de Uso e Ocupação do Solo..... | 108 |
| 7.6.1 – Leitura das imagens. | 108 |
| 7.6.2 – Registro das imagens. | 108 |
| 7.6.3 – Processamento das imagens..... | 109 |
| 7.6.4 – Classificação das imagens. | 110 |
| 7.6.5 – Tipos de uso..... | 111 |
| 7.7 – Carta de Potencial de Escoamento Superficial..... | 120 |
| 7.7.1 – Obtenção dos atributos | 121 |

| | |
|---|------------|
| 7.7.2 – Declividade..... | 122 |
| 7.7.3 – Materiais Inconsolidados..... | 123 |
| 7.7.4 - Densidade de drenagem..... | 131 |
| 7.7.5 - Feições de Armazenamento..... | 133 |
| 7.7.6 - Morfologia e solo..... | 134 |
| 8 - CARTA DE CONFLITO DE USO..... | 140 |
| 8.1 - Fatores intervenientes..... | 140 |
| 8.2 - Metodologia e obtenção..... | 140 |
| 8.2.1 - Processo analítico hierárquico..... | 140 |
| 8.2.2 - Ponderação dos fatores intervenientes para cada tipo de uso..... | 146 |
| 8.2.3 - Geração de Carta de Conflito de Uso associada a banco de dados geológico-geotécnico..... | 152 |
| 9 - CONCLUSÕES..... | 160 |
| 10 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 164 |
| ANEXO 1 - LINGUAGEM ESPACIAL PARA GEOPROCESSAMENTO | |
| ALGÉBRICO..... | 170 |
| Classificação textural..... | 170 |
| Potencial de escoamento superficial..... | 172 |
| Ponderação de conflito de uso para a categoria urbano..... | 175 |
| Ponderação de conflito de uso para a categoria culturas..... | 177 |
| Ponderação de conflito de uso para a categoria indústrias..... | 179 |
| Ponderação de conflito de uso para a categoria mineração..... | 181 |
| Ponderação de conflito de uso para a categoria aterro sanitário..... | 183 |
| Conflito de Uso..... | 185 |
| ANEXO 2 – MODELAGEM DE DADOS..... | 190 |
| PROJETO: geologia..... | 190 |
| PROJETO: hidrografia..... | 190 |
| PROJETO: hipsometria..... | 191 |
| PROJETO: potencial de escoamento superficial..... | 192 |
| PROJETO: textura do solo..... | 194 |
| PROJETO: uso e ocupação..... | 195 |
| PROJETO: conflito de uso..... | 196 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|-----------|
| FIGURA 1: Processo erosivo na área urbana do Município de Poços de Caldas, provocado por alteração de leito de córrego no Loteamento Jd. Amarilys, coordenadas UTM 7.588.020N e 340.470E (MENDONÇA, 2002)..... | 2 |
| FIGURA 2: Processo erosivo na implantação do loteamento Jd. Bandeirantes, no Município de Poços de Caldas, coordenadas UTM 7.587.020N e 388.250E (MENDONÇA, 2002)..... | 2 |
| FIGURA 3: Área de mineração explorada no Município de Poços de Caldas, mas ainda não recuperada, coordenadas UTM 7.591.400N e 333.400E (MENDONÇA, 2002)..... | 3 |
| FIGURA 4: Etapas e produtos da metodologia do IPT (ZUQUETTE & NAKAZAWA, 1998)..... | 27 |
| FIGURA 5: Carta de Adequabilidade dos Terrenos para a Disposição de Resíduos e Implantação de Indústrias. Modificado de LIPORACI (1999). | 30 |
| FIGURA 6: Carta de Adequabilidade dos Terrenos para Expansão Urbana . Modificado de LIPORACI (1999)..... | 31 |
| FIGURA 7: Roteiro metodológico para elaboração de “CARTAS GEOTÉCNICAS CLÁSSICAS” (CERRI, 1990)..... | 34 |
| FIGURA 8: Roteiro metodológico para elaboração de “CARTAS DE SUSCETIBILIDADE” (CERRI, 1990)..... | 34 |
| FIGURA 9: Roteiro metodológico para elaboração de “CARTAS DE RISCO” (CERRI, 1990)..... | 34 |
| FIGURA 10: Roteiro metodológico para elaboração de “CARTAS DE CONFLITO DE USO” (CERRI, 1990)..... | 35 |
| FIGURA 11: Grade retangular (LOPES, 2002)..... | 37 |
| FIGURA 12: Representação do MNT para uma bacia hidrográfica. (a) grade retangular; (b)..... | 38 |
| FIGURA 13: Imagem sintética da área de estudo, obtida de composição das bandas 4, 5 e 3 do sensor ETM+ do satélite LandSat 7..... | 41 |

| | |
|--|------------|
| FIGURA 14: Receptor GPS e antena. | 42 |
| FIGURA 15: Processos ocorridos devido à urbanização (TUCCI, 1993). | 49 |
| FIGURA 16: Área de exploração de bauxita pela empresa Mineração Curimbaba, no Município de Poços de Caldas, coordenadas UTM 7.591.539N e 331.493E (abril/2003)..... | 54 |
| FIGURA 17: Lixão do Município de Poços de Caldas (julho/2003). | 55 |
| FIGURA 18: Localização geográfica da área de estudo. | 66 |
| FIGURA 19: Distribuição anual e total das chuvas (COMIG, 2001). | 68 |
| FIGURA 20: Temperatura média compensada e evapotranspiração (COMIG,2001) | 68 |
| FIGURA 21: Temperaturas médias – compensada, máxima e mínima (COMIG, 2001)..... | 69 |
| FIGURA 22: Balanço hídrico de Poços de Caldas (COMIG, 2001). | 70 |
| FIGURA 23: Situação tectônica regional do Maciço Alcalino de Poços de Caldas, segundo Wernick & Artur citado por RAMPAZO (1997)..... | 72 |
| FIGURA 24: Mapa Geológico regional contendo a área de estudo. Modificado de BRASIL-DNPM (1979). | 73 |
| FIGURA 25: Mapa Geológico da área de estudo. Modificado de FRAYHA & PARISI (1970)..... | 74 |
| FIGURA 26: Sistema aquífero fraturado de Scudino, citado por COMIG (2001) . | 82 |
| FIGURA 27: Mapa Geomorfológico contendo a área objeto do estudo. | 87 |
| FIGURA 28: Limite municipal e polígono envolvente..... | 89 |
| FIGURA 29: Imagem de modelo digital de terreno sombreada. | 92 |
| FIGURA 30: Carta de Hipsometria. | 94 |
| FIGURA 31: Carta de Declividades. | 99 |
| FIGURA 32: Mapa de rede de drenagem e recursos hídricos. | 103 |
| FIGURA 33: Mapa de mananciais. | 105 |
| FIGURA 34: Mapa de Documentação. | 107 |
| FIGURA 35: Máscara 3x3 (BRASIL-INPE, 2002)..... | 109 |
| FIGURA 36: Área de exploração de bauxita pela empresa Mineração Curimbaba, no Município de Poços de Caldas, coordenadas UTM 7.591.598N e 331.473E (abril/2003)..... | 116 |

| | |
|---|------------|
| FIGURA 37: Aterro controlado do Município de Poços de Caldas (agosto/2004). | 117 |
| FIGURA 38: Amostras de classes de uso e ocupação na composição de bandas 4-5-3..... | 118 |
| FIGURA 39: Mapa de uso e ocupação do solo. | 119 |
| FIGURA 40: Solo saprolítico proveniente dos nefelina-sienitos, coordenadas UTM 7.586.861N e 337.880E..... | 123 |
| FIGURA 41: Linha de seixo com presença de quartzo, separando solo residual e solo transportado, coordenadas UTM 7.596.767N e 344.765E..... | 124 |
| FIGURA 42: Espessura dos materiais inconsolidados. Modificado de FONTES (2004). | 125 |
| FIGURA 43: Etapas da análise geoestatística (CAMARGO, 2000). | 127 |
| FIGURA 44: Diagrama de Feret..... | 128 |
| FIGURA 45: Espacialização das classes texturais dos materiais inconsolidados.. | 129 |
| FIGURA 46: Morfologia e solo. Modificado de FERNANDES et al. (2003). | 135 |
| FIGURA 47: Fluxo de operações para a obtenção da Carta de Potencial de Escoamento Superficial..... | 138 |
| FIGURA 48: Carta de potencial de escoamento superficial..... | 139 |
| FIGURA 49: Suporte à decisão SPRING 4.1 para ocupação urbana. | 143 |
| FIGURA 50: Suporte à decisão SPRING 4.1 para ocupação por culturas diversas. | 144 |
| FIGURA 51: Suporte à decisão SPRING 4.1 para ocupação por indústrias..... | 144 |
| FIGURA 52: Suporte à decisão SPRING 4.1 para ocupação por mineração..... | 145 |
| FIGURA 53: Suporte à decisão SPRING 4.1 para ocupação por aterro sanitário. | 145 |
| FIGURA 54: Potencial de conflito de uso para ocupação urbana. | 148 |
| FIGURA 55: Potencial de conflito de uso para ocupação por culturas diversas...149 | |
| FIGURA 56: Potencial de conflito de uso para ocupação por indústrias. | 150 |
| FIGURA 57: Potencial de conflito de uso para ocupação por mineração. | 151 |
| FIGURA 58: Potencial de conflito de uso para ocupação por aterro sanitário..... | 152 |
| FIGURA 59: Fluxo de obtenção do conflito de uso para cada tipo de uso. | 153 |
| FIGURA 60: Ilustração do processo de fatiamento (FELGUEIRAS, 2002)..... | 155 |
| FIGURA 61: Progressão dos intervalos das classes de conflito de uso..... | 156 |

| | |
|--|------------|
| FIGURA 62: Roteiro metodológico para elaboração da Carta de Conflito de | |
| Uso..... | 158 |
| FIGURA 63: Carta de conflito de uso. | 159 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|------------|
| TABELA 1: Principais usos das fotos aéreas (ZUQUETTE, 1987)..... | 22 |
| TABELA 2: Classificação de mapas segundo IAEG (ZUQUETTE & NAKAZAWA, 1998)..... | 24 |
| TABELA 3: Proposta do Instituto Geológico e de Minas da Espanha..... | 25 |
| TABELA 4: Classificação dos documentos elaborados pela metodologia ZERMOS..... | 26 |
| TABELA 5: Categorias de cartas – IPT (ZUQUETTE & NAKAZAWA, 1998) ... | 27 |
| TABELA 6: Esquema para elaboração de mapeamento geotécnico – EESC-USP. | 28 |
| TABELA 7: Número mínimo de pontos observados na elaboração de mapeamentos geotécnicos com obtenção dos atributos baseada na densidade de informações controlada por malhas regulares (ZUQUETTE, 1993). | 33 |
| TABELA 8: Classes hipsométricas. | 93 |
| TABELA 9: Declividade e tipo de ocupação segundo CROFTS, citado por ZUQUETTE (1987). | 97 |
| TABELA 10: Limites de declividade utilizados pelo <i>Geological Survey</i>, citado por ZUQUETTE (1987). | 97 |
| TABELA 11: Limites de declividade propostos por COOKE & DOORNKAMP, citado por ZUQUETTE (1987)..... | 97 |
| TABELA 12: Classes de declividade e percentual de área ocupada. | 98 |
| TABELA 13: Classes de uso e percentual de área ocupada. | 111 |
| TABELA 14: Sistema de pontuação para classes de declividade. | 123 |
| TABELA 15: Sistema de pontuação para classes de permeabilidade. | 127 |
| TABELA 16: Sistema de pontuação para textura..... | 129 |
| TABELA 17: Atributos de amostras de solo. | 130 |
| TABELA 18: Densidade de drenagem e pontuação das Ottobacias..... | 132 |
| TABELA 19: Sistema de pontuação pela quantidade de feições de armazenamento..... | 133 |
| TABELA 20: Pontuação das Ottobacias pela quantidade de feições de armazenamento..... | 134 |

| | |
|--|------------|
| TABELA 21: Pontuação pela morfologia e solo..... | 136 |
| TABELA 22: Pontuação dos atributos do meio físico utilizados na elaboração da carta do potencial de escoamento superficial..... | 136 |
| TABELA 23: Classes de potencial de escoamento superficial e percentual de área ocupada. | 137 |
| TABELA 24: Escala de valores PAH para comparação pareada (BRASIL-INPE, 2004). | 141 |
| TABELA 25: Pesos obtidos com a utilização da ferramenta de suporte à decisão PAH..... | 146 |
| TABELA 26: Ponderação das classes para aplicação da rotina gerada em LEGAL. | 147 |
| TABELA 27: Características consideradas para as classes de conflito de uso..... | 154 |
| TABELA 28: Intervalo de valores ponderados de conflito de uso..... | 156 |
| TABELA 29: Classes de conflito de uso e percentual de área ocupada. | 157 |

LISTA DE SÍMBOLOS E SIGLAS

ρ_s – massa específica dos sólidos

ρ_d – massa específica seca de campo

e_o – índice de vazios naturais

ABGE – Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental

COMIG – Companhia Mineradora de Minas Gerais

CPRM – Companhia de Pesquisa dos Recursos Minerais

CTC – capacidade de troca catiônica

DNPM – Departamento Nacional de Produção Mineral

E – índice de erodibilidade

EESC – Escola de Engenharia de São Carlos

ETM – Enhanced Thematic Mapper

GASP – Programa de Estudo Geotécnico da Área

GPS – Global Position System

IAC – International Association for Cartography

IAEG – International Association for Engineering Geology and the Environment

IG-UFRJ – Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio de Janeiro

IDH – índice de desenvolvimento humano

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas

k – coeficiente de permeabilidade

LEGAL – Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico

MDT – Modelo Digital de Terreno

MNT – Modelo Numérico de Terreno

NASA – National Aeronautics and Space Administration

NBR – Norma Brasileira Registrada

PAH – Processo Analítico Hierárquico

pH – potencial hidrogeniônico

PUCE – Patterns, Units, Components and Evaluations

SAD – South American Datum

SGBD – Sistema Gerenciador de Banco de Dados

SIG – Sistema de Informações Geográficas

SPRING – Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas

SPT – Standard Penetration Test

TIFF - Tagged Image File Format

TM – Thematic Mapper

UENF – Universidade Estadual do Norte Fluminense

USGS – United States Geological Survey

UTM – Sistema de projeção Universal Transverso de Mercator

USP – Universidade de São Paulo

W Gr – oeste do meridiano de Greenwich

ZERMOS – Zonas Expostas a Riscos de Movimentos de Solo

RESUMO

Este trabalho apresenta uma proposta de metodologia para implementação de Carta de Conflito de Uso, baseada em banco de dados geográfico, como subsídio à gestão territorial, a partir de estudo de caso do Município de Poços de Caldas – MG.

O emprego da cartografia dinâmica, obtida através de operações sobre mapas, com o uso de Sistemas de Informações Geográficas, utilizando atributos amostrados de forma a representar toda a extensão territorial municipal, busca possibilitar a constante atualização das cartas, com a implementação de novos atributos, fornecendo uma contribuição sempre atualizada para a gestão urbana e territorial.

A Carta de Conflito de Uso final, obtida com a proposta descrita neste trabalho, é um produto dos procedimentos orientados por um fluxo metodológico de aquisição de dados e de operações empregando técnicas de álgebra de mapas.

ABSTRACT

This work presents the research plan the methodology proposal for implementation of the Use Conflit Chart based on geographical database, as a subsidy to the territorial administration based on study of case of the Municipal district of Poços de Caldas – MG.

The application of the dynamic cartography, obtained through operations on maps the use of Geographic Information Systems, using attributes collected in order to represent all the municipal territorial extension, objectives to make possible the constant charts update with the new attributes implementation, supplying an up-to-date contribution for the territorial administration.

The final Use Conflit Chart, obtained with the proposed described in this work, is a product of the procedures guided by a methodological flow data acquisition and operations using maps algebra techniques.

1 – INTRODUÇÃO

Considerando que o solo é um dos principais elementos naturais para o desenvolvimento da vida, faz-se imprescindível sua caracterização, mapeamento e identificação de suas potencialidades e limitações, como contributo, aliado a outros atributos, para uma correta gestão territorial e conseqüente desenvolvimento sustentável.

O mapeamento geotécnico, segundo ZUQUETTE (1987), tem sido usado como uma ferramenta de auxílio no planejamento e fiscalização da ocupação territorial das regiões de forma tecnicamente adequada, respeitando-se as áreas de interesse ambiental e as condições necessárias para que a população desfrute dessas áreas sem alterar suas condições básicas de vida. O planejamento deve sempre considerar tanto o meio biológico, quanto o meio físico. Para que o meio biológico se desenvolva dentro de padrões aceitáveis, é primordial que o meio físico seja ocupado de forma a respeitar suas fragilidades.

Muitas cidades brasileiras têm sido objeto de vários estudos que resultam em mapeamentos geotécnicos, porém a efetiva utilização deste material no planejamento das ocupações ainda é muito pequena, como é o caso do Município de Poços de Caldas (MG).

São vários os motivos que conduzem à não utilização destes estudos:

- desconhecimento da existência dos mesmos;
- alguns estudos apresentam elevado teor técnico, dificultando seu entendimento;
- falta de profissionais especializados no quadro dos planejadores;
- dificuldade no entendimento dos documentos;
- falta de interesse, tanto dos técnicos como dos administradores.

A não observação destes estudos, desenvolvidos com a produção de documentos geotécnicos, favorece a ocupação urbana de forma inadequada em diversas áreas.

Ações antrópicas, resultando em fenômenos erosivos acompanhados de assoreamento de cursos d'água, ocorrem na área urbana do Município de Poços de Caldas (Figura 1).



FIGURA 1: Processo erosivo na área urbana do Município de Poços de Caldas, provocado por alteração de leito de córrego no Loteamento Jd. Amarilys, coordenadas UTM 7.588.020N e 340.470E (MENDONÇA, 2002).

A inexistência de dispositivos legais que condicionem a elaboração de projetos de empreendimento imobiliários à consideração da cartografia geológico-geotécnica dá margem a implantações desprovidas de planejamento, e sem execução de medidas de contenção de danos ao ambiente.



FIGURA 2: Processo erosivo na implantação do loteamento Jd. Bandeirantes, no Município de Poços de Caldas, coordenadas UTM 7.587.020N e 388.250E (MENDONÇA, 2002).

A figura 2 destaca as severas feições erosivas decorrentes de início de processo de implantação de loteamento, em área de acentuadas declividades no

Município de Poços de Caldas, com posterior interrupção de obras, sem a adoção de medidas de proteção do meio ambiente.

No mesmo município é possível identificar locais onde não foram tomadas medidas para a reabilitação ou recuperação de áreas mineradas, mesmo após longo período transcorrido da desativação, como é o caso da área explorada para extração de areia, a partir de desmonte de arenito, apresentada na figura 3.



FIGURA 3: Área de mineração explorada no Município de Poços de Caldas, mas ainda não recuperada, coordenadas UTM 7.591.400N e 333.400E (MENDONÇA, 2002).

Identificou-se então a necessidade de pesquisa de metodologia para a produção de documentos geotécnicos que permitissem a fácil interpretação e efetiva utilização dos dados por profissionais de distintas formações, a partir de uma aplicação no Município de Poços de Caldas (MG).

Embora tenham sido desenvolvidos excelentes trabalhos anteriores na área escolhida para estudo de caso, inclusive trabalhos visando planejamento ambiental, os levantamentos não contemplam todo o município, além do que, as metodologias utilizadas não prevêm uma base cartográfica integrada a um banco de dados, permitindo uma fácil atualização.

CERRI (1990), destaca que o planejamento e o gerenciamento do uso e ocupação do solo devem, necessariamente, levar em conta as características do meio físico natural – o que fundamenta a Cartografia Geotécnica – tratando da representação

cartográfica das características do meio físico natural, cidades, núcleos industriais e empreendimentos minerários e agrícolas.

O mapeamento geotécnico da cidade de Poços de Caldas, MG, e parte do Município, na escala 1:25.000, visando o planejamento do uso e ocupação do meio físico, utilizando metodologia que leva em consideração as litologias e suas formas de origem, bem como posteriormente utilizando-se também da análise baseada em fatores morfo-estruturais, foi desenvolvido por LIPORACI (1994).

Posteriormente, LIPORACI (1999) desenvolveu uma sistemática metodológica de estudos integrados multitemporais sobre o meio ambiente para ser aplicado no planejamento do uso e ocupação do solo, visando ao planejamento ambiental, bem como aplicação prática no Município de Poços de Caldas (MG).

CERRI (1990) assevera que, quanto à metodologia propriamente dita, há uma grande diversidade de formas de integração de dados: sobreposição simples, sobreposição orientada segundo pesos diferenciados para cada informação básica, assim como diferentes maneiras de estabelecer extrapolações e interpolações de determinadas informações. Somente muito recentemente tem-se procurado a quantificação de parâmetros para a elaboração de cartas geotécnicas. Recentemente, com o desenvolvimento da cartografia digital, através do uso de computadores, novas técnicas vêm sendo desenvolvidas para suprir as deficiências metodológicas.

Embora os empreendimentos que alteram a superfície natural da área urbana e de expansão urbana estejam sujeitos a normas de execução, procedimentos adotados para minimizar os impactos ambientais negativos não têm se apresentado totalmente eficientes, devido à carência de dados ou à dificuldade na utilização dos mesmos.

A identificação das potencialidades e limitações do solo, a identificação de ocorrências de impactos negativos ao ambiente, o estudo de suas causas e seus efeitos, conduzirão a uma melhor compreensão do meio físico, fornecendo subsídios que contribuirão para a gestão urbana e territorial e posterior elaboração de um zoneamento ambiental e, conseqüentemente, um melhor planejamento de ocupação do meio físico.

O mapeamento geológico-geotécnico poderá contribuir efetivamente para a gestão territorial quando aliado a um banco de dados geológico-geotécnicos atualizado.

Com a introdução dos sistemas de informações geográficas nos projetos de aplicações ambientais, técnicas de integração de dados básicos de várias fontes e formatos passaram a gerar, através da álgebra de mapas, produtos derivados e interpretativos.

Ao propor um roteiro metodológico de uma carta geotécnica com uma nova concepção, denominada de CARTA DE CONFLITO DE USO, CERRI (1990) ressalta a quase total ausência de utilização dos instrumentos até então produzidos, destacando a importância da cartografia acompanhada da apresentação de texto em linguagem que permita a sua utilização por profissionais de distintas formações. Os subsídios fornecidos pelas cartas geotécnicas para o planejamento e gerenciamento do uso e ocupação do solo são de reconhecida importância.

A implantação de determinado projeto em uma área pode modificar as potencialidades de seu entorno. Desta forma, com o uso de Carta de Conflito de Uso baseada em banco de dados geográfico, pode-se monitorar, ou mesmo antever, as alterações impostas por determinados tipos de uso do solo.

Com base nas propostas de mapeamento geotécnico desenvolvidas por ZUQUETTE (1993), por PEJON (1992) e no roteiro metodológico proposto por CERRI (1990), este trabalho objetiva a apresentação de uma proposta de metodologia para elaboração de Carta de Conflito de Uso apoiada em banco de dados geográfico, com ênfase à gestão urbana e territorial, para melhor apresentação dos resultados, possibilitando sua efetiva utilização por planejadores, urbanistas, projetistas, construtores, administradores públicos, etc. O uso da cartografia digital apoiada em banco de dados geográfico visa o fácil acesso às informações utilizadas na elaboração das cartas e sua atualização e complementação, com a identificação, classificação, cadastro e georreferenciamento de dados geológico-geotécnicos.

Diversos fatores são aqui considerados, tanto na produção das cartas intermediárias, como na produção da carta final. Para a definição de alguns destes fatores, amostragens de subsuperfície com equipamentos e procedimentos simples, de material idenformado, foram efetuadas em diversos pontos, distribuídos de forma a

abranger toda a extensão da área de estudo. Procedeu-se ensaios de granulometria conjunta e posterior espacialização dos atributos utilizando-se técnicas de geoestatística.

A integração dos diversos atributos espacializados foi obtida por operações envolvendo álgebra de mapas, que também cuidou da ponderação de cada atributo em função do seu grau de interferência no processo analisado.

Com base neste estudo de caso, do Município de Poços de Caldas, obteve-se a definição de um fluxo metodológico de aquisição e tratamento de dados, montagem de mapas e cartas associadas a banco de dados, que podem ser constantemente alimentados por novos dados.

2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 – A cartografia geológico-geotécnica

O mapeamento geotécnico constitui uma sistemática comum, de grande aplicação nos países mais desenvolvidos. O reconhecimento dos componentes geológicos e aspectos geotécnicos tem se mostrado cada vez mais necessário no planejamento urbano e regional e no gerenciamento dos recursos naturais. A cartografia geotécnica fundamenta-se em estudos que possibilitem a identificação de homogeneidades, correlacionando, posteriormente, unidades litológicas e suas propriedades geotécnicas e apresentando sob a forma cartográfica em linguagem acessível de maneira a assegurar a compreensão e utilização pela maioria dos usuários.

Conhecida também como Geologia Aplicada, a Geologia de Engenharia enfoca as relações biunívocas entre o homem e o meio físico geológico, no campo das Geociências, sendo definida pela Associação Internacional de Geologia de Engenharia (IAEG) como “a ciência dedicada à investigação, estudo e solução de problemas de engenharia e meio ambiente, decorrentes da interação entre a Geologia e os trabalhos e atividades do homem, bem como à previsão e desenvolvimento de medidas preventivas ou reparadoras de acidentes geológicos”.

Considerando a interface da Geologia de Engenharia com a Mecânica dos Solos e das Rochas, no campo da Geotecnia, os documentos cartográficos produzidos também são denominados mapas geotécnicos ou cartas geotécnicas.

O termo mapa deve ser utilizado para o documento que registra as informações obtidas de um determinado aspecto do meio físico em questão, sem que sejam realizadas interpretações dessas informações e o termo carta refere-se a um documento cartográfico que apresenta as interpretações de informações contidas em mapas para uma finalidade específica.

Acredita-se que a origem da cartografia é anterior à linguagem escrita. Os povos primitivos necessitavam conhecer a região onde habitavam, os caminhos e rotas para navegação, surgindo assim o mapa.

Mapa é a linguagem bidimensional que mostra a localização de elementos no espaço, isto é, em relação à superfície terrestre. Sua maior vantagem é

permitir representar, num plano, os objetos observados sobre a superfície terrestre, ao mesmo tempo que na sua posição absoluta e nas suas relações em distâncias e em direções.

Em cartografia, a superfície terrestre, denominada de superfície de referência, é projetada sobre uma superfície de projeção, e essa é desenvolvida num plano, ou seja, o mapa, que é a superfície de representação. Este documento deve ser redigido com base em uma linguagem apropriada (símbolos, sinais, cores, sistema de projeção, escala, precisão, grau de generalização, etc.), a partir de pesquisas bibliográficas e das principais ciências afins, como sensoriamento remoto, geodésia e topografia, além de técnicas fotogramétricas, levantamento em campo e outras. Através desta linguagem, obtém-se um produto eficiente que tem por objetivo a transmissão de informações e a análise das relações contidas no espaço representado.

A cartografia segundo a ICA (Associação Internacional de Cartografia) é definida como a arte, ciência e tecnologia de produzir mapas, juntamente com seu estudo com documentos científicos e trabalhos de arte. Neste contexto pode ser considerada como incluindo todos os tipos de mapas, plantas, cartas e seções, modelos tridimensionais e globos representando a terra ou qualquer corpo celeste, em qualquer escala.

Os mapas podem ser classificados em: mapas de propósito geral e temáticos, dependendo da sua utilização. Por exemplo, se um mapa rodoviário for utilizado para localização, sua função é de mapa de referência geral. Se o seu uso for para analisar as características e padrão estrutural das vias de comunicação, o seu uso é temático.

Os mapas temáticos são, portanto, parte de uma cartografia responsável pelo planejamento, levantamento, composição, execução e impressão de mapas sobre um fundo básico, ao qual serão anexadas informações através de simbologia adequada, visando atender as necessidades de um público específico (DUARTE, citado por KUGLER e FALAT, 2001).

Para a elaboração de um mapa temático dois elementos fundamentais são necessários: a base cartográfica e a representação temática. A finalidade da base cartográfica é fornecer informação de localização, para a qual a representação temática deve ser referenciada. A informação temática deve ser bem projetada e incluir somente

os elementos necessários para a transmissão da mensagem do mapa ao usuário. Simplicidade e clareza são características importantes na representação temática (Slocum, citado por KUGLER e FALAT, 2001).

A IAC define mapa temático como um mapa projetado para revelar feições ou conceitos particulares, no uso convencional esse termo exclui os mapas topográficos.

Os mapas topográficos, classificados como de referência geral, tem como propósito fundamental representar as feições em suas posições corretas, dentro dos limites da escala.

Segundo ZUQUETTE, citado por CASTRO (1998), mapa geotécnico é uma representação dos atributos geotécnicos levantados sem realização de análise interpretativa e para escalas menores que 1:10.000, planta geotécnica visa atender um caso específico apresentando-se em escalas maiores que 1:10.000 e carta geotécnica é a representação dos resultados da interpretação dos atributos que estão num mapa.

Para FERNANDES et al., citado por CASTRO (1998), carta geotécnica é a representação gráfica das potencialidades e limitações do meio físico que traduz um certo número de informações geológicas e geotécnicas, que são apresentadas através da delimitação de zonas, ou unidades, com as mesmas características face à intervenção prevista. O tipo de informação apresentada é consequência dos objetivos da elaboração da carta, variando portanto a metodologia de execução das mesmas.

Segundo MENDES (2001), o grande valor do mapeamento geotécnico está no prévio estabelecimento de um modelo que expresse o conjunto de recursos, de condicionantes e de fenômenos atuantes no meio físico, de modo que os mapas possam ser aproveitados efetivamente em ações disciplinadoras do uso do solo, e mesmo em ações preventivas de defesa civil.

Ao apresentar uma discussão metodológica acerca da cartografia geotécnica, PELOGGIA (1997), assevera que, sob a denominação de "Cartografia Geotécnica", englobam-se os resultados de trabalhos de concepções, enfoques, técnicas e procedimentos, objetivos e produtos diferenciados, constituindo um espectro amplo de Geologia Aplicada, concretizados na forma de expressão cartográfica em diferentes escalas de apresentação. Neste conjunto, dois grupos de "Cartas Geotécnicas" vêm se destacando por sua produção, divulgação e discussão na literatura, em função do

interesse que despertam ao apresentarem-se como instrumentos poderosos, utilizáveis no enfrentamento dos problemas geológicos encontrados e criados pela ocupação territorial, em especial a urbana: as cartas produzidas, em geral em escalas pequenas (regionais), em função de bases territoriais políticas, e aquelas executadas por quadriculas, sistematicamente, à maneira dos levantamentos geológicos básicos.

O mesmo autor aponta para uma estatística que demonstra que a grande maioria dos trabalhos de Cartografia Geotécnica está voltada para objetivos relativos ao planejamento, potencialidade dos terrenos e gerenciamento do meio físico.

A cartografia geotécnica reflete, segundo PRANDINI et al., citado por MENDES (2001), desde a avaliação dos problemas existentes até a formulação das orientações de uso, uma importante contribuição da geologia de engenharia, na medida em que melhor traduz a orientação entre as múltiplas solicitações/modificações impostas pelas obras e o meio físico afetado, suas potencialidades e limitações .

Sendo assim, mapeamento é o método fundamental para estudar o ambiente geológico; o mapa é o produto final de uma investigação urbana e/ou regional que melhor facilita a representação da distribuição, variabilidade espacial das relações, bem como das relações mútuas entre as unidades de rochas diferentes, tipos de água e processos geodinâmicos atuantes.

Geralmente os documentos cartográficos, tais como mapas e cartas geotécnicas visando planejamento urbano e regional, se concentram em assuntos diversos segundo LIPORACI, citado por MENDES (2001) a saber:

1. recursos potenciais dos minerais e água;
2. potencial dos terrenos para os mais variados usos;
3. perigos que possam ser encontrados nos terrenos e riscos a que estão sujeitos certos tipos de desenvolvimento;
4. adequabilidade dos terrenos para vários tipos de desenvolvimento;
5. custos relativos ao desenvolvimento em terrenos distintos e/ou diferentes;
6. a vulnerabilidade do solo aos efeitos adversos;
7. os tipos de investigações locais necessárias e o detalhe requerido em cada situação de terreno, antes de se formular sensíveis e seguras propostas de desenvolvimentos.

Para entender os princípios básicos, segundo COELHO, citado por MENDES (2001), a cartografia geotécnica, em uma primeira fase, deve se basear na identificação prévia de domínios de homogeneidade, compatíveis com a escala em estudo. Já na segunda fase de estudo, seria necessário estabelecer uma relação entre unidades litológicas e as suas propriedades geotécnicas, sendo que os termos em que é feita a caracterização depende da escala. Por exemplo, as menores seriam avaliadas em termos qualitativos ou semi-quantitativos (inferidos de características *in situ*) e em escalas médias e grandes acentua-se progressivamente o seu caráter quantitativo.

Os princípios gerais que orientam a elaboração dos mapeamentos geotécnicos são, segundo THOMAS, citado por MENDES (2001), os seguintes:

1. sendo o mapa geotécnico mais complexo do que o geológico, acaba por ser de mais difícil entendimento que este, ainda quando se considera que os seus usuários freqüentemente não estão familiarizados com ao assunto;
2. deve-se considerar o mapa geotécnico como um documento temporário e que é susceptível de ser enriquecido por outras informações após sua realização;
3. o mapa geotécnico nunca deverá ser realizado com o intuito de substituir um reconhecimento local;
4. como o mapa geotécnico não substitui a investigação local, o mapeador deve sempre:
 - reportar-se aos materiais superficiais, examinando se os dados são pontuais e se as extrapolações são válidas,
 - avaliar quais serão os usuários e os limites de utilização, bem como a precisão dos resultados.
5. ao estabelecer os objetivos do mapeamento, deve-se observar as seguintes situações básicas:
 - se o trabalho será realizado para um tipo de usuário específico, visando atender situações básicas;
 - se o trabalho será realizado para um tipo de usuário específico, visando atender situações particulares, ou;

- se a carta será para uma gama mais ampla de usuários, quando então cada usuário selecionará os atributos que desejar;

6. da escolha anterior existe a exigência de realizar uma análise criteriosa dos atributos a serem mapeados, principalmente quanto à validade, ao limite de investigação e precisão dos dados relativamente aos intervalos estipulados.

Segundo COELHO, citado por MENDES (2001), levantamentos feitos através de mapas geotécnicos com aplicação ao planejamento urbano, aparecem na Alemanha em 1913, na Exposição Técnica de Leipzig.

Trata-se de estudos destinados ao planejamento de algumas cidades alemãs importantes, executados por Langen. Acompanha os relatórios desses estudos uma coleção de mapas, instruídos por dados de sondagens e notas explicativas. A informação contida nas cartas refere-se a zonas inundáveis, zonas de lençol freático raso, minas, pedreiras e saibeiros.

Desde 1913 até a atualidade, o mapeamento geotécnico ou cartografia geotécnica tem progredido descontinuamente em vários países. A sua evolução pode ser acompanhada com base em algumas referências de aperfeiçoamento no tocante a seu escopo e metodologia. Verifica-se através dos anos uma diversificação de seus objetivos e o aperfeiçoamento no seu conteúdo e nos meios de tratamento das informações utilizadas.

De acordo com PEJON, citado por MENDES (2001), nos países ocidentais, o mapeamento geotécnico desenvolveu-se de maneira menos sistemática, durante a década de setenta. Um dos países mais desenvolvidos nesta área é a França, que recebeu forte influência das metodologias Tchecas. A cartografia francesa é bastante complexa, envolvendo uma gama bastante grande de cartas a serem elaboradas. Na Inglaterra, devido ao bom nível de conhecimento geológico existente, com cartas em escalas da ordem de 1:10.000 para praticamente todo território, os mapas geotécnicos são mais simples. Nos Estados Unidos o desenvolvimento do mapeamento geotécnico deu-se durante a década de sessenta, estando os trabalhos a cargo do Serviço Geológico Federal, dos serviços estaduais e dos municípios.

As cartas geotécnicas são obtidas por derivação das cartas geológicas convencionais e são divididas em mapas de dados básicos ou fundamentais, mapas de dados derivados e interpretativos e mapas de aptidão. A evolução do conhecimento nos países ocidentais e a necessidade de uma normalização dos mapas geotécnicos ficou evidente no Simpósio sobre Cartografia Geotécnica realizado em Paris em 1970, durante o 1º Congresso da Associação Internacional de Geologia de Engenharia. O grupo de trabalho formado durante esse Simpósio, para estudar e propor as linhas metodológicas de mapeamento geotécnico, veio a publicar em 1976 um guia para preparação de mapas geotécnicos.

Até algum tempo atrás o cartógrafo era responsável, praticamente sozinho, pelas etapas da execução de um original cartográfico. Porém, as fases de trabalho envolvidas na produção cartográfica estão se tornando complexas e com graus de dificuldade e responsabilidade bastante distintos. A evolução da informática nos dias de hoje trás novas tecnologias, o que exige que, cada vez mais, novos e experientes profissionais sejam requisitados. Hoje o trabalho cartográfico não é mais de responsabilidade de alguns profissionais e sim de uma complexa e treinada equipe. São necessários vários profissionais para cada fase da execução de produtos cartográficos, como: supervisores, cartógrafos, topógrafos, niveladores, desenhistas, pilotos, dirigentes de vôo, cadastradores, laboratoriais, fotogrametristas, administradores, geólogos, operadores de computação, auxiliares técnicos e revisores.

O mercado nacional de produção cartográfica exige uma freqüente atualização em termos de equipamentos. A necessidade de apresentar novos produtos ao mercado tem requisitado novos investimentos nas diversas fases que compõem o aerolevanteamento. Uma empresa que executa todas as fases de um levantamento cartográfico necessita possuir uma completa aparelhagem, que possibilite a execução de produtos precisos e de boa qualidade.

A cartografia ainda tem como seu maior usuário o Estado. O governo Federal, Estadual e Municipal e suas empresas são as maiores contratantes de serviços cartográficos.

A evolução tecnológica da cartografia tem criado produtos diferentes dos tradicionais já conhecidos, o que faz com que o setor privado se torne um maior usuário, devido aos novos produtos e ao custo mais baixo que vem sendo ofertado. Empresas do

setor agrícola, mineral e principalmente empresas florestais e do meio ambiente são grandes usuárias da cartografia.

Dentre as finalidades mais comuns da cartografia estão:

- Planejamento urbano e tributação, com elaboração de: levantamento cadastral, boletim cadastral, foto cadastro, mapeamento básico, geoprocessamento;
- Projeto de rede viária: anteprojetos e projetos de malha viária;
- Cadastros Especializados de equipamentos urbanos, tais como: telefones públicos, placas de sinalização e semáforos, árvores, redes existentes de concessionárias de luz, água, esgoto e telefones;
- Indústrias: estudos ambientais e multidisciplinares para seleção de áreas aptas à implantação de áreas industriais e obras afins;
- Projetos de engenharia: ferroviária, aeroportuária, rodoviária, projetos especiais, implantação básica, restauração, obras de arte, supervisão de todas as fases de construção de obras de engenharia rodoviária e ferroviária, ensaios de concreto, ensaios de solo, sondagens rotativas e percussão;
- Cadastros multifinalitários para: desapropriação de faixas de domínio em projetos de engenharia, regularização fundiária, incluindo os aspectos físicos, de utilização agrícola e fiscal, uso de faixas de servidão de linhas da alta tensão e subestações;
- Serviços especiais de infra-estrutura de: irrigação, assentamento e reassentamento, planejamento agro-silvo-pastoril, demarcação, eletrificação rural e desapropriação;
- Recursos energéticos: barragens e usinas hidrelétricas, linhas de transmissão de energia e dutos para combustíveis;
- Cartografia georreferenciada para apoio em projetos de: controle agroambiental, controle à desequilíbrios ambientais, cartografia georreferenciada para projetos de monitoramento e combate à erosão urbana e rural e ao desmatamento.

Para o planejamento urbano e regional e o efetivo gerenciamento dos recursos naturais faz-se imprescindível o reconhecimento dos componentes geológicos e

aspectos geotécnicos das áreas implicadas. SOUZA, citado por MENDES (2001), assevera que o crescimento das atividades antrópicas e o uso inadequado do meio físico, sem uma relação de equilíbrio entre eles, a ocorrência e registros de acidentes com perdas de bens e vidas humanas, decorrentes das construções de grande porte e a urgência em obter o melhor atendimento do meio físico para evitar o entrave causado ao desenvolvimento das explorações econômicas (minério, materiais de construção, etc.), e das expansões regionais e/ou urbanas, são um dos vários motivos que tem feito com que esses estudos se desenvolvam de uma maneira acelerada no decorrer dos últimos 30 anos.

A grande utilidade do mapeamento geotécnico está em fornecer informações essenciais ao planejamento urbano e regional, tais como: seleção do melhor ambiente para instalação urbana; seleção da área mais apropriada à expansão urbana; contribuição na obtenção de um plano urbano e regional que respeite e proteja o ambiente de forma econômica; conhecimento prévio da assistência técnica específica durante as fases de projeto, construção e desenvolvimento de uma cidade ou região. Resumidamente, o grande valor do mapeamento geotécnico está no prévio estabelecimento de um modelo que expresse o conjunto de recursos, de condicionantes e de fenômenos atuantes no meio físico, de modo que os mapas possam ser aproveitados efetivamente em ações disciplinadoras do uso do solo e mesmo em ações preventivas de defesa civil (MENDES, 2001).

A cartografia geotécnica reflete, desde a avaliação dos problemas existentes até a formulação das orientações de uso, uma importante contribuição da geologia de engenharia, na medida em que melhor traduz a orientação entre as múltiplas solicitações/modificações impostas pelas obras e o meio físico afetado, suas potencialidades e limitações (PRANDINI, citado por MENDES, 2001).

Conforme ZUQUETTE (1987), os mapeamentos geotécnicos podem ser usados como fontes de informação para o planejamento regional e urbano e como instrumento de fiscalização, constituindo-se num processo de análise dos componentes do meio físico, tendo por finalidade básica levantar, avaliar e analisar os atributos que compõem o meio físico, sejam geológicos, hidrogeológicos e outros.

Um dos objetivos do mapeamento geotécnico é transferir todas as informações geológicas, de uma determinada região, quanto as características de geologia de engenharia, na forma de um documento de fácil manuseio e entendimento.

Segundo PEJON (1987), a realização do mapeamento geológico-geotécnico em várias escalas, se torna um documento muito importante para fornecer informações sobre o meio físico ao planejador.

Ainda segundo esse autor, os dados que devem constar em tais mapas dizem respeito a estudos das rochas e solos da região, tanto sob o aspecto qualitativo como quantitativo, dependendo da escala em que está sendo realizado, sendo que os mapas em escalas maiores devem conter mais informações de caráter quantitativo. Mesmo em escalas detalhadas, os mapas geotécnicos tem sempre um caráter orientativo, nunca dispensando os estudos locais quando da implantação das obras.

De acordo com ZUQUETTE (1987), alguns documentos de geologia de engenharia, entre mapas e cartas, são aplicados, ou pelo menos são produzidos com maior frequência, para aplicação no planejamento urbano, dentre eles:

- Mapa de documentação: trata-se do mapa de natureza auxiliar mais conhecido e útil para mapeamento geotécnico; geralmente é produzido sobre um mapa já existente e tem como objetivo registrar todos os pontos onde foi possível obter alguma informação, seja qualitativa ou quantitativa, locais onde é possível analisar o perfil, os afloramentos, os pontos de amostragem, as sondagens, as pedreiras, os portos de areia, jazidas de minério, etc; geralmente propõe-se uma simbologia para cada informação em questão.
- Mapa de materiais inconsolidados: encontra-se dentro da classe de mapas básicos fundamentais; conhecido também como mapa de formações superficiais; normalmente não retrata as características com o detalhe qualitativo adequado para o uso em geotecnia; deve apresentar todos os materiais que estão sobre o substrato rochoso. Estes materiais devem ser diferenciados quanto à textura, à origem, à rocha mãe, à espessura (profundidade do substrato) e outras características. São produzidos através de: fotointerpretação associada a um trabalho qualitativo de campo; análise de cortes ou

afioramentos; amostragem para posterior ensaios laboratoriais; levantamento de dados já existentes. Deve-se ressaltar que os mapas de materiais inconsolidados devem simplesmente representar as características e os atributos dos diferentes materiais, nada fornecendo quanto à interpretação, que é função de outros documentos (cartas interpretativas ou derivadas). Os mapas devem manter esta condição para que os usuários possam utilizar livremente as informações contidas.

- Mapa do substrato rochoso: encontra-se dentro da classe de mapas básicos fundamentais. Conhecidos também como mapa do substrato geológico. Mesmo nas regiões mais desenvolvidas, os mapas geológicos estão em escalas menores que 1:250.000. Somente em algumas áreas, onde trabalhos específicos foram realizados, seja por universidades, DNPM ou CPRM, existem escalas maiores. Para o uso em mapeamento geotécnico estes mapas devem registrar litologias. São de grande importância para quase todos os tipos de ocupação do meio físico.
- Carta de declividade: é conhecida também como carta clinométrica ou de isodeclividades. É obtida a partir da interpretação do mapa topográfico com o auxílio da técnica descrita por DE BIASI (1970). Esta proposta, totalmente manual, sugere o uso de gabaritos que se fazem percorrer entre as curvas de nível, definindo-se as declividades. Hoje o processo é todo automatizado com o uso de *softwares* específicos. Nela as distâncias entre as curvas de nível são transformadas em porcentagens de inclinação e representadas por classes. Estas classes servem de limites máximos e mínimos para as diversas formas de ocupação. A principal fonte de informação para a produção deste tipo de carta refere-se aos mapas topográficos, onde os atributos dos elementos planialtimétricos (curvas de nível, pontos cotados, nível d'água) são encontrados.
- Carta de materiais para construção: trata-se de uma carta interpretativa, com a finalidade de dar conhecimento da

possibilidade de uso dos materiais inconsolidados e rochosos da região. Os materiais devem ser analisados e classificados em função das características que limitam os possíveis usos. Devem conter informações de interesse às condições de uso como materiais para transformação (materiais arenosos usados pelas fábricas de vidros e similares, materiais finos como argila e caulim, utilizados no fabrico de cerâmicas e refratários, materiais rochosos usados como ornamentais) e como materiais para agregados (utilizados como parte nos diversos tipos de concretos, nos pavimentos de rodovias, gabiões).

- Carta para obras viárias: estas cartas devem apresentar as informações que podem afetar técnica e economicamente a execução das obras, devendo ser utilizadas nas fases de planejamento regional, inventários e de anteprojeto. Não substituem as sondagens, necessárias na fase de projeto. Além de levar em conta diversos atributos (declividade, áreas inundáveis, áreas instáveis, materiais inconsolidados e suas espessuras, substrato rochoso, contatos geológicos, condições hidrológicas e de drenagens superficiais, estimativa das características geotécnicas), a carta pode ser acompanhada de memorial descritivo.
- Carta de escavabilidade: deve apresentar as condições dos terrenos para que sejam escavados, seja para obras enterradas (tubulações para esgoto, águas pluviais e potáveis) ou para outras finalidades (canais). Deve-se considerar os materiais em classes, levando-se em conta a facilidade de serem escavados, as condições para escavação e os equipamentos exigidos. Deve considerar ainda o tipo de material (inconsolidados ou rochosos), a profundidade do substrato rochoso (quanto mais profundos maior a facilidade de escavação), a profundidade do nível de água (condicionante do uso de equipamentos especiais, principalmente em épocas de chuva) e a declividade (áreas muito íngremes apresentam dificuldade para uso de equipamentos).

- Carta para disposição de rejeitos: considera-se somente os resíduos comuns, excetuando os lixos industriais perigosos, hospitalares ou radioativos. Para estes devem ser realizados estudos específicos. Analisa-se as limitações do meio físico e identifica-se as zonas mais favoráveis e aquelas com restrições, objetivando orientar os possíveis usuários, das variações do meio-físico e a sua interferência na deposição de rejeitos, de forma direta ou indireta, ponderando-se declividade, material inconsolidado (C.T.C, pH, permeabilidade), profundidade do nível de água, profundidade e características do substrato rochoso. Estes atributos são associados e acrescidos de outros atributos, permitindo a obtenção da carta. Cartas deste tipo, com um maior número de informações, permitem que o usuário identifique qual o fator limitante e, em determinados casos, corrigir a limitação.
- Carta do potencial de escoamento superficial: as informações sobre o escoamento superficial são importantes para a implantação de vários tipos de obra de engenharia, como estradas, pequenas barragens e áreas urbanas, pois permitem a obtenção de coeficientes de deflúvio mais realistas e não somente baseados em tabelas como normalmente são obtidos. Apresenta uma graduação das áreas com maior ou menor potencial ao escoamento superficial e também as regiões onde predomina a infiltração. Estas informações são importantes na definição de áreas que devem ser protegidas para evitar a contaminação de aquíferos e para a disposição de rejeitos sépticos. Na elaboração da carta é considerado a profundidade do substrato rochoso, materiais inconsolidados (tipo textural, permeabilidade), feições de armazenamento superficial, profundidade do nível de água, litologia, condições de pluviosidade, ações antrópicas e cobertura vegetal. Atribui-se pesos para os atributos considerados, tanto maiores quanto maior for sua influência no processo de escoamento superficial.

- Carta de erodibilidade: a erodibilidade é a vulnerabilidade do solo à erosão em função das suas características físicas e do seu uso. Este tipo de carta denota a potencialidade de ocorrência da erosão pela ação da chuva. Estas cartas devem apresentar os resultados em classes que significam se os materiais que compõe a área em questão estão sujeitos a altas, médias ou baixa erodibilidade. A natureza dos materiais (compactação, granulometria, capacidade de reter água), o relevo (grau de declividade, forma e extensão da encosta), a cobertura vegetal (atua como interceptora das gotas, sistema radicular influencia nas características mecânicas do solo), a ação antrópica (destruição das condições naturais, ocupação desordenada), os fatores climáticos (volume, duração e intensidade das precipitações), e a ação das águas (o escoamento superficial é o agente erosivo mais atuante) consistem em importantes atributos que interferem diretamente na erodibilidade. Estes diversos fatores intervenientes no processo erosivo são hierarquizados e pontuados, estabelecendo-se assim as classes de suscetibilidade.
- Carta de zoneamento geotécnico geral: este tipo de carta tem sido utilizado por vários autores, em diferentes países e nas mais variadas escalas, visando sempre o planejamento regional. Normalmente são obtidas por simples sobreposição de mapas e cartas básicas fundamentais ou por meio da hierarquização de fatores a serem analisados e avaliados. A maioria das cartas de zoneamento geotécnico geral são produtos de sobreposição simples, onde as novas unidades são representadas pela somatória das informações contidas nas unidades originais com igual peso.
- Carta de potencial de riscos geológicos: o objetivo principal destas cartas está ligado à possibilidade de serem implantadas medidas preventivas. Desastres naturais, tais como: terremotos, erupções vulcânicas e escorregamentos em áreas populosas eram considerados comumente como ocorrências que causavam danos não passíveis de serem evitados. Estudos ao longo das últimas décadas tem levado a

um crescente entendimento das causas, efeitos e condicionantes de acidentes geológicos e a um reconhecimento cada vez mais amplo das medidas que podem ser tomadas para reduzir seus impactos sociais e econômicos. Através da quantificação do risco é possível desenvolver-se uma priorização de ações de controle/mitigação numa determinada área com diferentes situações potenciais para acidentes geológicos. A caracterização da natureza do risco pode ser feita em função do processo envolvido. A definição de escala de representação é função direta dos objetos da carta.

Para ZUQUETTE (1987) os atributos são fundamentais para definir se as áreas são homogêneas ou heterogêneas para fins específicos previstos. A obtenção e observação dos atributos devem ser analisadas tratando do procedimento e local, para que haja validade nos processos de extrapolação e de interpolação.

O primeiro passo na obtenção dos atributos é o levantamento e a análise criteriosa dos trabalhos já realizados e que possuem potencial para fornecer dados para mapeamento geotécnico.

Dentre as fontes de dados de trabalhos já realizados, destaca-se:

- mapas: topográfico, geológico, pedológico, geofísicos e outros;
- sondagens: normalmente realizadas para diversos fins, portanto fornecendo dados diferentes, representadas na sua grande maioria pelo S.P.T., com diversas informações sobre os materiais inconsolidados, profundidade do nível d'água e do substrato rochoso;
- ensaios realizados por empresas públicas e privadas: durante a realização de obras, as empresas executam ensaios relativos à mecânica dos solos e rochas.

É necessário tomar certos cuidados quando do uso das informações obtidas no que diz respeito aos critérios de obtenção, uso previsto e como estão representadas.

Outra técnica muito utilizada para obtenção de informações de interesse para o mapeamento geotécnico é o emprego de fotografias aéreas. O uso de fotografias aéreas pode facilitar a interpretação das mudanças que uma determinada região sofreu

ou está prestes a sofrer. A Tabela 1 apresenta possíveis utilizações das fotos aéreas em função do objetivo.

TABELA 1: Principais usos das fotos aéreas (ZUQUETTE, 1987)

| CAMPO DE ESTUDO | TIPOS DE INVESTIGAÇÃO |
|-------------------------------------|---|
| Solos | Determinação dos limites entre os principais tipos e características |
| Estabilidade | Determinação de falhas, indício de movimento de materiais, quedas de blocos e outros |
| Drenagem | Observação do nível de drenagem, inundação, correntes fortes, sistema de proteção, etc. |
| Materiais | Localização de possíveis jazidas de areias, seixos, argilas, pedreiras e outros |
| Erosão | Áreas com potencial a serem erodidas, desflorestamento, e áreas de sedimentação |
| Água subterrânea | Afloramento de aquíferos, depósitos superficiais, zonas de fraturas, fontes, áreas de recarga |
| Reservatórios e locais de barragens | Geologia das áreas, problemas de erosão, modo estrutural, possível substrato |
| Estradas | Analisar possível obstáculo, terras a desapropriar, lugares de obras de arte, melhores eixos |

Com a finalidade de investigar as condições do meio físico são executados trabalhos de campo. Através de caminhamento por toda a área em estudo, efetua-se trabalhos de superfície, observando a exposição dos materiais em perfis artificiais provocados pela execução de obras, e em afloramentos naturais pela modelagem erosiva. Trabalhos de superfície permitem definir os limites entre os diferentes tipos de materiais, tanto inconsolidados, quanto rochosos.

Utiliza-se também de investigação de subsuperfície, porém deve ser evitada, tanto quanto possível, por ser muito trabalhosa, especializada e conseqüentemente onerosa. Esta investigação deve ser realizada após o trabalho de superfície, em pontos previamente determinados para produzir informações de interesse e muito significativas para o mapeamento geotécnico. Dentre os meios para a execução desta investigação destaca-se: trados manuais, poços e trincheiras, sondagens geofísicas, penetrômetros alternativos.

Qualquer que seja a escala, pressupõe-se que a obtenção das informações deve ser realizada através de observações qualitativas e quantitativas.

As observações quantitativas são normalmente obtidas através de análise de campo, sondagens e ensaios executados sobre amostras indeformadas ou deformadas. No mapeamento geotécnico prevalece o uso das amostras deformadas. As amostragens,

para as devidas observações e ensaios, devem ser realizadas após um estudo preliminar da região, com o objetivo de delinear áreas que possuem homogeneidade ou heterogeneidade, dentro de limites que satisfaçam as necessidades do trabalho.

Uma vez conhecidas as homogeneidades, defini-se as unidades de terreno, compostas pelas diversas áreas homogêneas.

É necessário que a amostragem propicie após análise, resultados que possam ser extrapolados para a região. A extrapolação deve ser executada, qualquer que seja a escala de trabalho, visto que números mínimos de pontos amostrados não têm significado estatístico. Para que a extrapolação tenha validade, é necessário entender que os valores ou informações devem ser atribuídos a uma área e não a situações pontuais.

Diversas metodologias para a elaboração de cartas de geologia de engenharia encontram-se disponíveis nos dias de hoje, fruto da cooperação entre geólogos, engenheiros e outros profissionais relacionados ao meio físico.

ZUQUETTE & NAKAZAWA (1998) destacam as seguintes metodologias estrangeiras:

- Metodologia francesa: mapa de documentação, mapa do substrato rochoso, mapa dos materiais de cobertura, mapa hidrogeológico e mapa geomorfológico formam o conjunto de documentos básicos. Estes documentos gráficos são denominados mapas de fatores e analisam as condições de geologia, geomorfologia e geotecnia. A partir dos mapas de fatores, são geradas cartas de aptidão. Usada para fins regionais e também específicos, para áreas menores de 1.500 km² e escalas maiores de 1:50.000. Não estabelece limites para definir áreas homogêneas.
- Metodologia da IAEG: o mapa geotécnico é um tipo de mapa geológico, que fornece uma representação generalizada de todos os componentes do ambiente geológico, que tenham significado no planejamento e uso de terrenos, em projetos, construção e manutenção aplicado a obras civis e engenharia de minas, devendo conter feições geológicas como o caráter e propriedades das rochas e solos, condições hidrogeológicas, geomorfológicas e geodinâmicas.

Apresenta classificação quanto à finalidade, quanto ao conteúdo, quanto à escala e quanto à litogênese. Quanto a finalidade a carta pode ser especial (aspectos específicos para uma obra) ou multifins (informações variadas, diversas finalidades). O conteúdo da carta pode ser analítico (aspectos individuais) ou compreensivo (analisa todos componentes físicos possíveis, condições geotécnicas e zoneamento geotécnico).

TABELA 2: Classificação de mapas segundo IAEG (ZUQUETTE & NAKAZAWA, 1998)

| CLASSIFICAÇÃO | DESIGNAÇÃO DOS MAPAS | UTILIZAÇÃO |
|---------------|--------------------------|---|
| Finalidade | Finalidade especial | Uso específico |
| | Multifinalidade | Uso geral |
| Escala | Grande, maior 1:10.000 | Mapas detalhados |
| | Média 1:10.000-1:100.000 | Planejamento urbano e regional |
| | Pequena, menor 1:100.000 | Planejamento regional e territorial |
| Conteúdo | Analítico | Avaliar componentes individuais do ambiente geológico |
| | Abrangentes | Engloba mapas das condições geotécnicas e zoneamento geotécnico geral |
| | Auxiliar | Dados objetivos (documentação e contorno estrutural) |
| | Complementares | Mapas Básicos (geológicos, tectônicos, hidrogeológicos) |

- Metodologia da PUCE: (Patterns, Units, Components and Evaluations) o conceito básico da classificação consiste em que qualquer terreno pode ser definido em função de seus atributos naturais (topografia, natureza e estrutura do material, forma de erosão, vegetação e uso atual do solo) sendo que todos os dados levantados devem ser tratados de maneira a se tornarem compatíveis com sistemas computacionais. O sistema para análise dos terrenos começa com um processo de interpretação de fotografias aéreas, seguido por um período de trabalhos de campo. Com isto, determina-se os perfis de alteração dos solos, tipo e formas de relevo, vegetação e outros fatores naturais requeridos para a classificação do terreno em províncias, padrões de terreno, unidades de terreno e componentes do terreno. Tem na província uma área do meio físico

definida como geologicamente homogênea. O modelo ou padrão de terreno é definido com base em critérios geomorfológicos. A unidade do terreno é determinada por uma forma de relevo e sua associação de solos e vegetação. Finalmente, o componente do terreno é definido com base na integração de critérios do meio físico e uso do solo. Cada classe de terreno é documentada nos mapas segundo uma nomenclatura específica.

- Metodologia Espanhola: os trabalhos cartográficos devem servir de auxílio e monitoramento de estudos de planificação e para construção civil. O Instituto Geológico e de Minas da Espanha, através do Programa Nacional de Pesquisa Geotécnica propõe quatro tipos de mapas geotécnicos básicos, conforme Tabela 3.

TABELA 3: Proposta do Instituto Geológico e de Minas da Espanha (ZUQUETTE & NAKAZAWA, 1998)

| TIPO DE MAPA | ESCALAS | BASEADOS EM FATORES | NÍVEIS DE UTILIZAÇÃO |
|-----------------------|----------------------------|---|------------------------------------|
| Geotécnico Geral | 1:200.000 | Litológicos, geomorfológicos, hidrogeológicos e geotécnicos | Nacional e regional |
| Geotécnico Básico | Entre 1:200.000 e 1:25.000 | Geomecânicos e físicos dos solos e rochas | Regional, provincial e urbano |
| Geotécnico Seletivo | Entre 1:25.000 e 1:5.000 | Características de solo e rocha semi-quantificado | Áreas selecionadas para construção |
| Geotécnico Específico | 1:2.000 ou maiores | Quantitativos de características de solo e rocha | Áreas específicas para obras |

- Metodologia Zermos: metodologia aplicada na França (Zonas Expostas a Riscos de Movimentos de Solo). Tem por finalidade básica fornecer detalhes de uma área quanto às condições de instabilidade, sejam potenciais ou reais, correspondentes a movimentos de massa, erosão, abatimentos e sismos. Trabalha com escalas de 1:25.000 e 1:20.000 e maiores. Usa cores (verde - situação tranqüila, laranja - potencial risco, vermelho - áreas instáveis). São acompanhadas de cartas explicativas e não retratam a geologia e sim interpreta instabilidade presente ou futura, através das plantas ZERMOS.

TABELA 4: Classificação dos documentos elaborados pela metodologia ZERMOS (ZUQUETTE & NAKAZAWA, 1998)

| CLASSIFICAÇÃO DOS DOCUMENTOS | ESCALAS | FATORES CONSIDERADOS | FINALIDADE |
|------------------------------------|---------------------------|--|---|
| Cartas ZERMOS “Zoneamento” Simples | entre 1:20.000 e 1:50.000 | Permanentes: Topografia, geologia, etc. Temporais: clima, vegetação | Informação e orientação “alertar” |
| Plantas ZERMOS | maior que 1:5.000 | Os citados acima enfatizando estabilidade de taludes e escorregamentos | Estudos detalhados para ocupação bem definida |

- Metodologia GASP: desenvolvida para as condições particulares da região de Hong Kong, pelo Programa de Estudo Geotécnico da Área. Uma combinação de terrenos escarpados, pesadas chuvas sazonais, profundo desgaste dos terrenos tropicais e intenso uso dos terrenos, tem resultado em uma série de problemas geotécnicos na região. Esta metodologia difere em muitos aspectos importantes de qualquer outro sistema de avaliação de terrenos ou mapeamentos de risco. O sistema de zoneamento empregado é baseado na avaliação geotécnica global das unidades de terrenos e não apenas na identificação dos perigos.

ZUQUETTE & NAKAZAWA (1998) destacam ainda como principais metodologias brasileiras:

- Metodologia do IG-UFRJ: Predominantemente relacionados a movimentos de massa e processos de ocupação. É o grupo do Brasil que reúne maior experiência em trabalhos em escalas maiores que 1:10.000.
- Metodologia do IPT: as cartas geotécnicas, como expressão prática do conhecimento geológico, aplicado ao gerenciamento dos problemas colocados pelos diferentes usos do solo, tem como objetivo a previsão do desempenho da interação entre o meio físico e a sua ocupação, bem como os conflitos entre as diversas formas de uso do solo, além de estabelecer orientações técnicas, preventivas e corretivas, dos problemas identificados, para minimizar custos e riscos nos empreendimentos de uso do solo. Podem ser agrupadas

em categorias, conforme indicado na Tabela 5. As principais etapas e produtos da metodologia do IPT podem ser resumidas conforme representado na Figura 04.

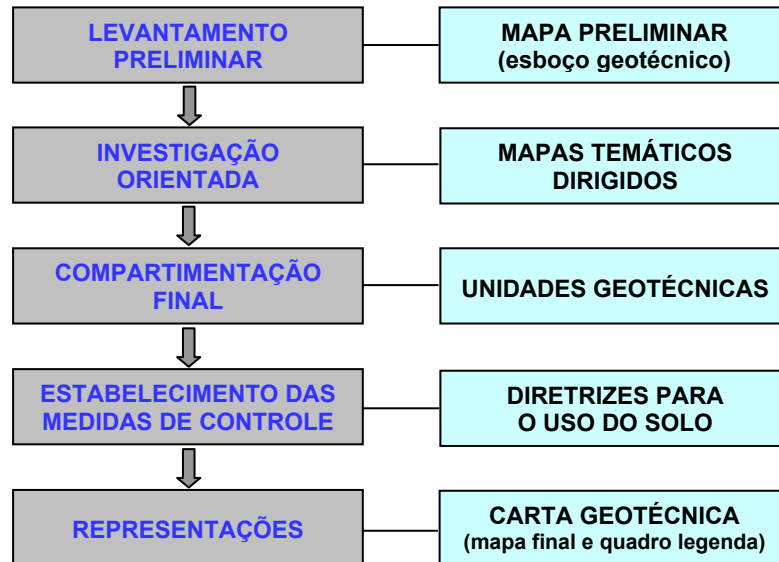


FIGURA 4: Etapas e produtos da metodologia do IPT (ZUQUETTE & NAKAZAWA, 1998)

TABELA 5: Categorias de cartas – IPT (ZUQUETTE & NAKAZAWA, 1998)

| | |
|-----------------------------------|--|
| Cartas geotécnicas | expõe limitações e potencialidades dos terrenos e definem diretrizes de ocupação para um ou vários tipos de uso do solo; |
| Carta de risco | prepondera a avaliação de dano potencial à ocupação; |
| Carta de suscetibilidade | apresentam gradações de probabilidade de desencadeamento de fenômenos naturais ou induzidos pela ocupação; |
| Cartas de atributos ou parâmetros | limitam-se a apresentar a distribuição espacial de uma ou mais características (geotécnica, geológica, etc.) do terreno. |

- Metodologia da EESC-USP: o princípio básico que orientou o desenvolvimento desta proposta metodológica está centrado no procedimento global do processo, desde a obtenção dos atributos até a elaboração de cartas específicas para os usuários, assim como com relação a todas as regras cartográficas e de conteúdo (qualidade). A Tabela 6 reproduz sucintamente esta metodologia.

**TABELA 6: Esquema para elaboração de mapeamento geotécnico – EESC-USP
(ZUQUETTE & NAKAZAWA, 1998)**

| RECOMENDAÇÕES BÁSICAS | TIPOS DE DOCUMENTOS |
|---|--|
| Obtenção dos atributos | Fundamentais básicos |
| Representar as informações em um único documento | Fundamentais de síntese |
| Elaboração de cartas considerando as variações espaciais | Cartas derivadas e interpretativas |
| Elaboração de cartas efetuando associação e superposição das cartas da fase anterior | Analíticos básicos |
| Elaboração de cartas a partir das anteriores (meio físico, meio biótico e meio antrópico) | Prognósticos de riscos |
| Elaboração de cartas a partir dos níveis de riscos e limitações das diferentes zonas | Prognósticos e orientação quanto à ocupação e riscos |
| Documentos elaborados considerando fatores ambientais, sócio-econômicos e antrópicos | Documentos diretos para os usuários |
| Estudo das necessidades futuras quanto ao vetor considerado | Cartas e orientações conclusivas |

Para PELOGGIA (1997), é necessário a tomada de posição conceitual visando aplicar o método como o caminho da descoberta do objeto de estudo, o procedimento a partir do qual o objeto pode ser capturado, e no qual o critério de validade decorra da realidade, e não da sua lógica interna. Para este autor existe uma preocupação no que diz respeito à metodologia geral da Cartografia Geotécnica, uma vez que a maioria das concepções está baseada em modelos de apreensão da realidade previamente formulados, concluindo que nessa concepção, o método decorre do sujeito, não do objeto, fazendo-se necessária uma tomada de posição conceitual, qual seja, encarar o método como o *caminho da descoberta do objeto de estudo*, o *procedimento* a partir do qual o objeto pode ser capturado, e no qual o critério de validade decorra da realidade, e não da sua lógica interna.

KOPEZINSKI (1998) apresenta os resultados obtidos das análises dos procedimentos de mapeamento geotécnico, na escala 1:5.000, no município de Poços de Caldas, Minas Gerais – Brasil, com o objetivo de caracterizar geológica e geotecnicamente uma área degradada por exploração mineral. Em decorrência do processo de mapeamento geotécnico aplicado, foram obtidas informações geológico-geotécnicas relativas a três períodos distintos, ou seja, para o ano de 1952 (anterior ao processo de exploração), o de 1981 (em fase de exploração) e o de 1997 (pós-recuperação). Os principais documentos produzidos são mapas de Landform, Substrato Rochoso e de Materiais Inconsolidados e cartas de Declividade. Também foram

utilizados recursos de MDT (Modelo Digital de Terreno) para analisar as diferentes fases, com a finalidade de auxiliar melhor a visualização das mudanças de declividade. Os resultados obtidos confirmam um processo de mudanças das características físico-químicas dos solos, expondo materiais com índices físicos e químicos diferentes, devido à remoção das camadas superiores, proporcionando a formação de feições erosivas, como uma das conseqüências desses impactos ambientais negativos. A exposição desses solos com índices físicos e químicos diferentes têm contribuído com as modificações atuais do meio físico, principalmente em termos do desenvolvimento vegetal e do ciclo de águas. Algumas mudanças geométricas e volumétricas são visualizadas por meio do recurso Modelagem Digital de Terreno, auxiliadas por cartas e mapas geoambientais.

O desenvolvimento do mapeamento geotécnico da cidade e parte do município de Poços de Caldas, MG, foi apresentado por LIPORACI (1994) na escala 1:25.000, visando o planejamento do uso e ocupação do meio físico, utilizando-se de uma metodologia que leva em consideração as litologias e suas formas de origem, bem como, posteriormente, utilizando-se também da análise baseada em fatores morfo-estruturais. Foram desenvolvidos estudos preliminares com objetivo de selecionar os atributos mais importantes para a caracterização do meio físico em mapeamentos geotécnicos, assim como as formas de obtenção, caracterização e processos cartográficos. Como produto final, elaborou-se dez documentos gráficos, entre cartas e mapas, que são: mapa de concessões de lavra, mapa de recursos hídricos, de documentação, substrato rochoso, materiais inconsolidados e de divisões básicas do meio físico e as cartas de declividade, zoneamento geotécnico geral, de potencial de riscos geológicos e de potencial ao escoamento superficial.

LIPORACI (1999) faz a proposição de uma sistemática metodológica de estudos integrados multitemporais sobre o meio ambiente para aplicação no planejamento do uso e ocupação do solo, visando ao planejamento ambiental, bem como fazer uma aplicação prática no Município de Poços de Caldas (MG). Utilizou-se de sistemas de informações geográficas (SIG – IDRISI), como aplicativo em estudos de escolha e definição de áreas mais favoráveis aos assentamentos humanos, à implantação de indústrias, à disposição de resíduos sólidos, rejeitos de mineração e industriais, bem como outras questões problemáticas, como as de uso e ocupação de encostas, áreas degradadas, suscetibilidades à erosão/assoreamento etc. Para elaboração dos estudos

visando ao planejamento ambiental do Município de Poços de Caldas (MG), utilizou-se o Processo Analítico Hierárquico (PAH), tendo em vista que é uma técnica de tomada de decisões que pode ser usada para análise e sustentação de decisões em que múltiplos atributos ou indicadores e objetivos concorrentes estão envolvidos, ou sendo avaliados em múltiplas alternativas. Além disso, o PAH é também recomendado pela Agência de Proteção Ambiental (EPA-EUA), para comparação entre decisões alternativas referentes ao meio ambiente. A análise e avaliação ambiental Multitemporal foi realizada para as várias categorias de usos e ocupações, com as imagens de satélite TM, bandas 3, 4 e 5 obtidas em 1984,1990 e 1997.

É possível a identificação, embora não seja o principal objetivo deste estudo, de alguns conflitos de uso quando confrontamos as cartas de adequabilidade obtidas com a situação atual do município. A Carta de Adequabilidade dos Terrenos para a Disposição de Resíduos e Implantação de Indústrias indica que o atual aterro controlado localiza-se parte em área com restrições, por compreender região de fundo de Vale (Figura 5).

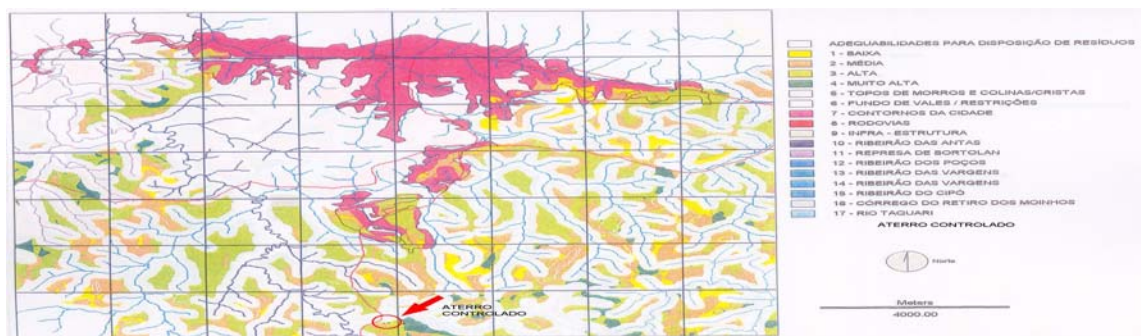


FIGURA 5: Carta de Adequabilidade dos Terrenos para a Disposição de Resíduos e Implantação de Indústrias. Modificado de LIPORACI (1999).

Ainda no mesmo trabalho, a Carta de Adequabilidade dos Terrenos para Expansão Urbana indica baixa adequabilidade em várias áreas hoje ocupadas por loteamentos, caracterizando algum tipo de conflito de uso (Figura 6).

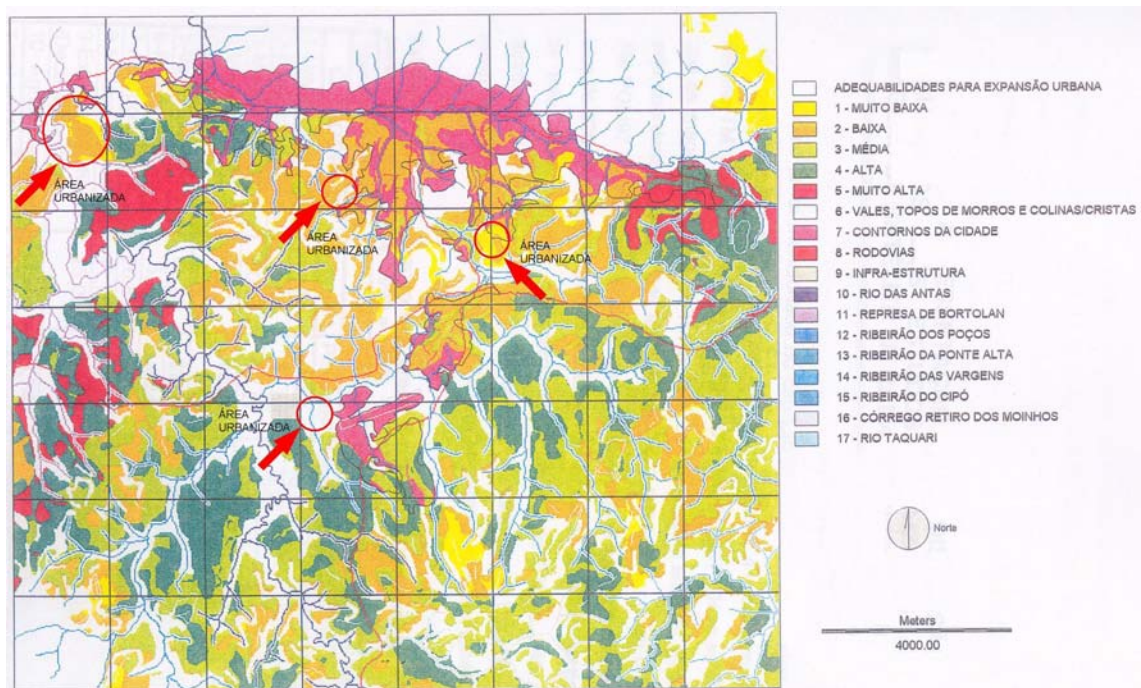


FIGURA 6: Carta de Adequabilidade dos Terrenos para Expansão Urbana . Modificado de LIPORACI (1999).

Outro estudo que evidencia preocupação com o conflito de uso no Município de Poços de Caldas foi desenvolvido por PALMA & ZUQUETTE (2003), com a modelagem de transporte de poluentes na área do lixão. O interesse por esta área é devido à sua localização na bacia do Rio das Antas, sendo esta uma opção de abastecimento de água para a população de Poços de Caldas em médio prazo, visto que há previsão de captação de água em diversos pontos da bacia. Os autores afirmam existirem estudos referentes ao projeto de uma barragem com eixo próximo ao local do lixão. Devido às características geomorfológicas do local, o rebaixamento da cota de inundação ou a mudança da localização do eixo da barragem diminuiriam de forma considerável o volume de água represado, afetando sensivelmente a finalidade do reservatório e a sua potencialidade e, mesmo assim, aquele continuaria sujeito ao escoamento da água superficial e subsuperficial contaminada, oriunda do lixão. Esta

área enquadra-se no caso das usadas para a disposição de resíduos urbanos sem estudo geológico adequados, desde o ano de 1985.

Ao apresentar o mapeamento geotécnico da folha de Aguai, SOUZA (1992), aplica metodologia desenvolvida no Departamento de Geotecnia, da Escola de Engenharia de São Carlos, por ZUQUETTE (1987). A folha de Aguai (IBGE, escala 1:50.000) situa-se no centro-leste do estado de São Paulo, englobando parte dos municípios de Aguai, São João da Boa Vista, Santo Antônio do Jardim, Pinhal e Moji-Guaçu, com as sedes municipais de Pinhal e de Aguai incluídas na área. A região vem recebendo, nas duas últimas décadas, incremento na malha viária, fator estimulador das tendências já observadas de urbanização, industrialização e mecanização da agricultura. Nesta região os componentes do meio físico estão bastante inter-relacionados, atuando um como condicionante do outro, a partir da geologia que define dois grandes domínios: embasamento cristalino, constituído de rochas do complexo Varginha, e sedimentos da bacia do Paraná, representada pelo grupo Tubarão. Dada a diversidade do meio físico na área, adotou-se a compartimentação de unidades de terreno pelo critério de formas de relevo (geoformas), as quais foram caracterizadas através de perfis típicos de alteração. Cada unidade foi avaliada em função de sua suscetibilidade a riscos naturais (hazards), viabilidade de uso e ocupação, e aptidão a recursos.

Sobre o tema central, mapeamento geotécnico, ZUQUETTE (1987) reporta-se aos mecanismos necessários para elaborar adequadamente os documentos que registram os resultados obtidos no mapeamento geotécnico. Apresenta ainda uma ampla revisão bibliográfica das metodologias e sistemáticas mais empregadas no mapeamento geotécnico e dos principais bancos de dados geológicos-geotécnicos. Por fim, apresenta uma proposta metodológica, baseada nos conhecimentos obtidos com a revisão bibliográfica. Nesta proposta as características básicas são: aplicação de baixo custo; investigações de subsuperfície realizadas com equipamentos alternativos e de mecanismos simples; componentes do meio físico caracterizados por atributos que sejam obtidos facilmente.

ZUQUETTE (1993) apresenta proposta de número mínimo de pontos a serem observados na elaboração de mapeamentos geotécnicos com obtenção dos atributos baseada na densidade de informações controlada por malhas regulares, conforme Tabela 7.

TABELA 7: Número mínimo de pontos observados na elaboração de mapeamentos geotécnicos com obtenção dos atributos baseada na densidade de informações controlada por malhas regulares (ZUQUETTE, 1993).

| FINALIDADE DO MAPEAMENTO GEOTÉCNICO | ESCALA | NÚMERO MÍNIMO DE PONTOS OBSERVADOS POR km ² | | | | | | | | |
|-------------------------------------|-----------|--|---|--------------|---|-------|---|------|------|------|
| | | ATRIBUTOS | | | | | | | | |
| | | Qualitativos | | | Quantitativos | | | | | |
| | | Metamórficas e Ígneas | | Sedimentares | | Geral | | | | |
| BÁSICO | 1:250.000 | 1/10 | Distância entre os pontos observados (metros) | 1/10 | Distância entre os pontos observados (metros) | 1/10 | Distância entre os pontos observados (metros) | | | |
| | | | 3162 | | 3162 | | 3162 | | | |
| | | | 4/10 | | 1581 | | 3/10 | 1825 | 2/10 | 2236 |
| | | | 6/5 | | 912 | | 1/1 | 1000 | 3/10 | 1825 |
| REGIONAL | 1:100.000 | 4/10 | 1581 | 3/10 | 1825 | 2/10 | 2236 | | | |
| | 1:50.000 | 6/5 | 912 | 1/1 | 1000 | 3/10 | 1825 | | | |
| | 1:25.000 | 3/1 | 577 | 2/1 | 707 | 4/10 | 1000 | | | |
| DETALHE | 1:25.000 | 5/1 | 447 | 4/1 | 500 | 4/10 | 500 | | | |
| | 1:10.000 | 15/1 | 258 | 15/1 | 258 | 10/1 | 316 | | | |
| | 1:5.000 | 25/1 | 200 | 20/1 | 223 | 15/1 | 258 | | | |
| | 1:2.000 | 40/1 | 158 | 35/1 | 169 | 25/1 | 200 | | | |

Caracterizada por uma região de terras altas, constituída predominantemente por rochas cristalinas, intrusivas básicas e alcalinas, complementada por uma pequena porção da Serra da Mantiqueira, depreendendo alguma similaridade com o Município de Poços de Caldas, a quadrícula de Bragança Paulista teve seu mapeamento geotécnico efetuado por COLLARES (1994). Outro aspecto desta similaridade, diz respeito ao potencial hídrico subsuperficial da região, por ser relativamente reduzido, em decorrência das rochas pouco permeáveis do embasamento cristalino. Neste trabalho, aplica-se os conceitos básicos da metodologia do Departamento de Geotecnia da Escola de Engenharia de São Carlos, adaptando-os às condições específicas do meio físico, situado sobre rochas cristalinas granito-gnáissicas, surgindo assim a necessidade da elaboração de um critério de análise detalhada dos materiais inconsolidados, de forma a permitir uma correta avaliação geotécnica do terreno. O autor preocupa-se ainda com a produção de um documento de fácil compreensão para pessoas não especializadas, que caracterize satisfatoriamente o meio físico, de acordo com a escala proposta, e que possa ser útil à comunidade.

CERRI (1990) apresenta os roteiros metodológicos empregados na elaboração dos três principais tipos de cartas geotécnicas no país, aos quais designa de: “Cartas Geotécnicas Clássicas” (Figura 7), “Cartas de Suscetibilidade” (Figura 8) e “Cartas de Risco” (Figura 9).

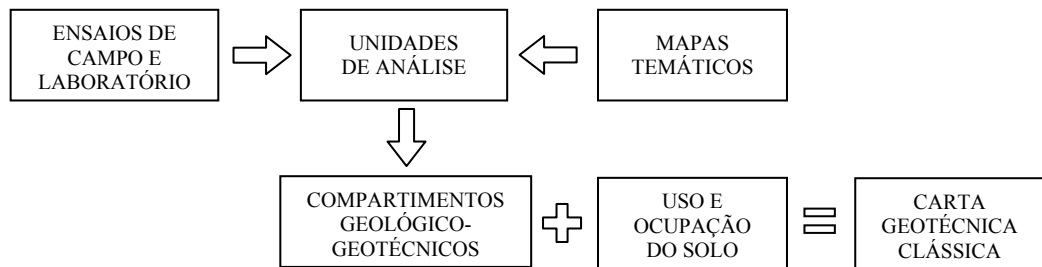


FIGURA 7: Roteiro metodológico para elaboração de “CARTAS GEOTÉCNICAS CLÁSSICAS” (CERRI, 1990).

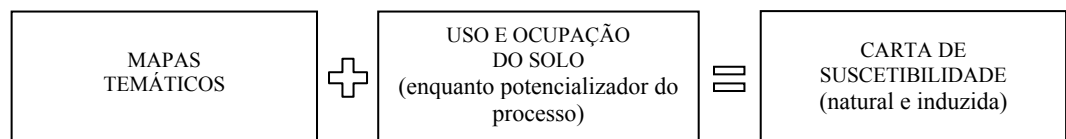


FIGURA 8: Roteiro metodológico para elaboração de “CARTAS DE SUSCETIBILIDADE” (CERRI, 1990).

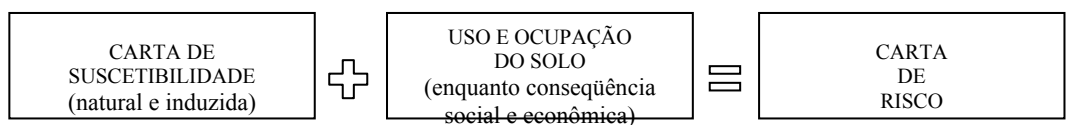


FIGURA 9: Roteiro metodológico para elaboração de “CARTAS DE RISCO” (CERRI, 1990).

Ao discorrer sobre os fundamentos, objetivos, aplicações, terminologia, metodologia e representação cartográfica das cartas brasileiras, CERRI (1990), apresenta contribuições para uma concepção de carta geotécnica voltada às necessidades brasileiras, propondo melhor apresentação dos resultados das cartas, com o intuito de possibilitar a sua efetiva utilização, através de um roteiro metodológico de carta geotécnica denominada “CARTA DE CONFLITO DE USO” (Figura 10).

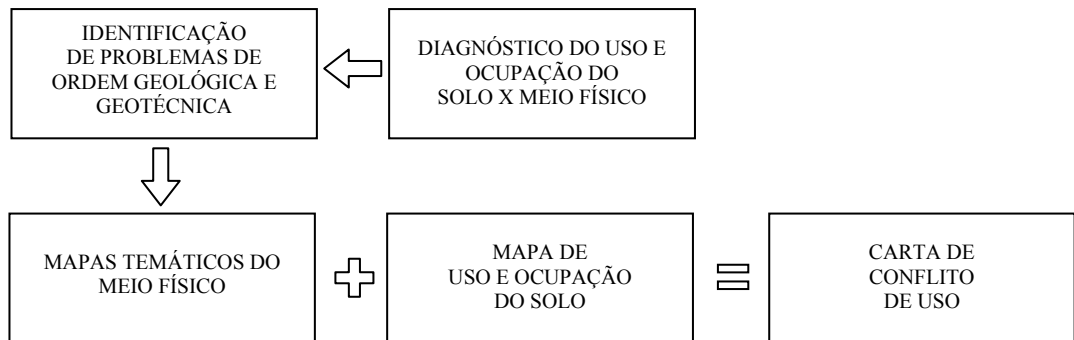


FIGURA 10: Roteiro metodológico para elaboração de “CARTAS DE CONFLITO DE USO” (CERRI, 1990).

Dentre as principais características das Cartas de Conflito de Uso cabe destacar aqui:

- a) rápido diagnóstico do uso urbano do solo, como ponto de partida;
- b) o conflito é definido como um uso prejudicial do solo, do ponto de vista social, econômico ou ambiental;
- c) o principal mapa temático para a elaboração das cartas de conflito de uso é o geomorfológico;
- d) uso de bacias hidrográficas como macro unidade de análise;
- e) escala de apresentação proposta em 1:10.000 (máxima).

PEJON (1992) apresenta estudos desenvolvidos para a seleção dos atributos mais importantes para a caracterização do meio físico em mapeamentos geotécnicos regionais, assim como as formas de obtenção, caracterização e processos cartográficos, a partir dos resultados obtidos com o mapeamento geotécnico na região de Piracicaba, na escala 1:100.000. Neste trabalho, elaborou-se doze documentos gráficos, entre cartas e mapas, que são: mapas de documentação, substrato rochoso, materiais inconsolidados e cartas de declividade, zoneamento geotécnico geral, potencial de escoamento superficial, potencial de risco a erosão acelerada e para disposição de rejeitos sépticos. Um estudo mais detalhado dos materiais inconsolidados foi efetuado, principalmente dos aspectos relacionados a erodibilidade e a caracterização da fração fina pelo método de adsorção do azul de metileno. A carta de zoneamento geotécnico geral foi elaborada com base em cinco atributos (textura, espessura e gênese dos materiais inconsolidados, substrato rochoso e declividade). A combinação da carta de zoneamento geotécnico geral e atributos específicos direcionou

a elaboração das cartas do potencial de escoamento superficial, do potencial de risco a erosão acelerada e para disposição de rejeitos sépticos.

2.2 – Sistemas de Informações Geográficas – SIG

2.2.1 – Banco de dados

Fazendo uma análise detalhada dos principais bancos de dados geotécnicos internacionais e, enfatizando a importância e vantagens de sua utilização, FERREIRA (1988) propõe uma metodologia alternativa aplicada às condições nacionais manipulando grande quantidade de informações através de microcomputadores. O banco de dados proposto nesta pesquisa é gerenciado pelo denominado “Sistema DATAGEO”, que armazena as seguintes informações: Mapa Pedológico; Mapa Geológico; Carta de Declividade; Mapa Pluviométrico; Carta Interpretativa de Fundações; Carta Interpretativa de Escavabilidade; Carta dos Materiais de Cobertura; Carta Interpretativa de Erodibilidade; Carta de Hidrogeologia; Carta de Potencial de Uso e “Logs” de Sondagens.

A averiguação da utilização de sistemas de gerenciamento de dados em mapeamento geotécnico desenvolvida por MOREIRA (1993), apresenta as vantagens que a interdisciplinaridade pode oferecer para o desempenho do mapeamento. Apresenta uma revisão bibliográfica onde são ilustrados diversos sistemas. Analisa-se a criação de uma ficha de campo, a normalização dos dados e programas associados a sistemas. Esta etapa mostra que um SIG é uma ferramenta potencial para a automatização e melhoria do processo de mapeamento geotécnico. Avalia-se então a relação entre a estrutura de um SIG e o processo de mapeamento geotécnico. É identificada a relação entre as etapas de trabalho de mapeamento e as funções e entes (objetos) estruturais de um SIG. Considerando-se que o SIG é hoje a ferramenta melhor desenvolvida para realizar o mapeamento geotécnico, mas que não possui uma base de dados específica, elaborou-se a geobase. Com o objetivo específico de aplicar um SIG para a realização do mapeamento geotécnico, foi utilizado o mips (map and image processing system) para elaboração de um documento cartográfico, o mapa de unidades de terreno. Procedeu-se a execução deste documento dentro do sistema com base nos

procedimentos tomados quando o mesmo foi executado por SOUZA (1992) com recursos manuais. Faz-se uma análise do potencial do mips.

2.2.2 – Modelagem numérica

Um modelo numérico de terreno – MNT, é uma representação matemática da distribuição espacial de uma determinada característica vinculada a uma superfície real. A superfície é, em geral, contínua e o fenômeno que representa pode ser variado (FELGUEIRAS, 2002).

Segundo BURROUGH, citado por FELGUEIRAS (2002), dentre alguns usos do MNT pode-se citar:

- a) Armazenamento de dados de altimetria para gerar mapas topográficos;
- b) Análises de corte-aterro para projeto de estradas e barragens;
- c) Elaboração de mapas de declividade e exposição para apoio à análise de geomorfologia e erodibilidade;
- c) Análise de variáveis geofísicas e geoquímicas;
- d) Apresentação tridimensional (em combinação com outras variáveis).

Ainda segundo o mesmo autor, para a representação de uma superfície real no computador, é indispensável a elaboração e criação de um modelo digital, que pode estar representado por equações analíticas ou uma rede (grade) de pontos, de modo a transmitir ao usuário as características espaciais do terreno.

FIGURA 11: Grade retangular (LOPES, 2002).

A estrutura ideal para um MNT depende do objetivo do uso do dado e de como este pode se relacionar com a estrutura de um modelo. A Figura 12 ilustra as três principais formas de se estruturar um MNT: a) grades regulares; b) grades triangulares (TIN, *triangulated irregular network*); e c) curvas de nível (CÂMARA & MONTEIRO, 2003).

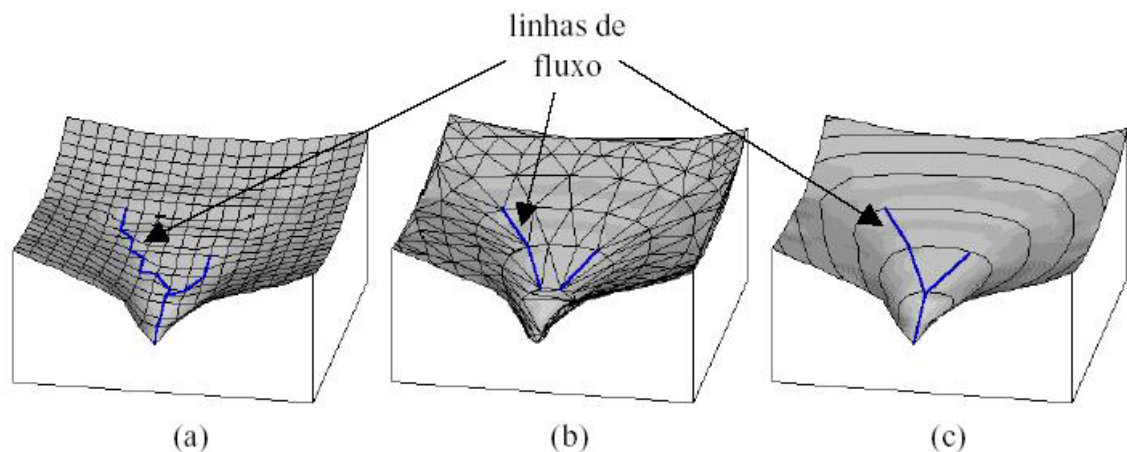


FIGURA 12: Representação do MNT para uma bacia hidrográfica. (a) grade retangular; (b) TIN; (c) curvas de nível (CÂMARA & MONTEIRO, 2003).

FELGUEIRAS (2002) assevera ainda que a criação de um modelo numérico de terreno corresponde a uma nova maneira de enfocar o problema da elaboração e implantação de projetos. A partir dos modelos (grades) pode-se calcular diretamente volumes, áreas, desenhar perfis e secções transversais, gerar imagens sombreadas ou em níveis de cinza, gerar mapas de declividade e aspecto, gerar fatiamentos nos intervalos desejados e perspectivas tridimensionais. No processo de modelagem numérica de terreno podemos distinguir três fases: aquisição dos dados, geração de grades e elaboração de produtos representando as informações obtidas. Os dados de modelo numérico de terreno estão representados pelas coordenadas xyz , onde z caracteriza o parâmetro a ser modelado, sendo $z=f(x,y)$. Estes dados são, usualmente, adquiridos segundo uma distribuição irregular no plano xy , ou seja, não existem relações topológicas definidas entre as posições dos pontos amostrados, ou ao longo de linhas com mesmo valor de z ou mesmo com um espaçamento regular. A aquisição destes dados é geralmente realizada por levantamentos de campo, digitalização de mapas, medidas fotogramétricas a partir de modelos estereoscópicos e dados altimétricos

adquiridos de Sistema de Posicionamento Global - GPS, aviões e satélites. Entretanto, as aplicações ou produtos de MNT não são elaborados sobre os dados amostrados, mas sim a partir dos modelos gerados no formato de grade retangular ou irregular. Estes formatos simplificam a implementação dos algoritmos de aplicação e os tornam mais rápidos computacionalmente.

2.2.3 – Sensoriamento remoto

Sensoriamento remoto é a aquisição de informações à distância, sem que haja contato físico com o material, através do uso de sensores. Estes sensores, a bordo de satélites ou aeronaves, são capazes de coletar energia proveniente de um objeto, converte-la em um tipo de sinal que pode ser registrado e apresentado de forma adequada à obtenção de informações. Essa energia que vai do objeto de estudo ao sensor é a energia eletromagnética proveniente do sol, ou de outra fonte de radiação, como o radar (FONSECA, 2002).

Ainda segundo o mesmo autor, a radiação eletromagnética (fluxo radiante) que não é absorvida ou espalhada pela atmosfera pode atingir e interagir com a superfície terrestre (objeto ou alvo). Há três formas de interação quando a energia atinge a superfície terrestre:

- a) Absorção: quando a energia é absorvida pelo objeto;
- b) Transmissão: quando o fluxo de energia passa através do objeto;
- c) Reflexão: quando o fluxo de energia muda de direção após atingir o objeto.

Cada objeto tem sua cor característica devido à sua reflexão seletiva da luz solar, podendo ser sentida pelos olhos ou fotografada. Para a extração das informações contidas nos produtos de sensoriamento remoto, é de fundamental importância o conhecimento do comportamento espectral de alvos (objetos) sobre a superfície terrestre, ou seja, como as substâncias se comportam na interação com a energia eletromagnética.

Vários satélites equipados com sensores foram lançados nos últimos anos. O sistema mais usado é o LANDSAT, desenvolvido pela *National Aeronautics and Space Administration* (NASA). O satélite LANDSAT 7 conta com sensor ETM+

(*Enhanced Thematic Mapper*) que apresenta 8 bandas com diferentes faixas espectrais, dentre as quais as bandas 3, 4 e 5, que são as mais utilizadas em aplicações de planejamento urbano e regional. A vegetação verde, densa e uniforme, apresenta grande absorção à faixa espectral 0,63 a 0,690 μ m, correspondente à cor vermelha, registrada na banda 3, permitindo bom contraste entre diferentes tipos de cobertura vegetal. É a banda mais utilizada para delimitar a mancha urbana. Os corpos d'água absorvem muita energia na faixa espectral 0,76 a 0,90 μ m, correspondente ao infravermelho próximo, registrada na banda 4, permitindo o mapeamento da rede de drenagem e delineamento de corpos d'água. Esta banda apresenta ainda sensibilidade à morfologia do terreno, permitindo a obtenção de informações sobre geomorfologia. A banda 5 registra a faixa espectral 1,55 a 1,75 μ m, infravermelho médio.

Segundo FONSECA (2002), a imagem digital, obtida a partir dos Sensores Remotos, é uma representação numérica quantizada dos valores de radiancia correspondentes a cada pequena área unitária imageada no terreno, o *pixel* (*picture element*). Estes valores digitais são normalmente referidos como níveis de cinza ou número digital, onde apenas valores inteiros são assumidos. Estes números digitais são dispostos numa forma matricial, onde, além das dimensões espacial e de brilho (radiancia), que representam, o conjunto de dados que compõe uma imagem tem ainda dimensões espectrais e temporais, uma vez que uma mesma cena pode ser observada em várias bandas espectrais e em diferentes datas. Portanto uma imagem digital é uma matriz de várias dimensões que representam uma cena. Os índices das linhas e colunas da matriz da imagem digital identificam as coordenadas X e Y de cada elemento da área imageada no terreno (*pixel*), e o valor numérico de cada elemento da matriz identifica o brilho (radiancia) daquela área.

O Sensoriamento Remoto aliado ao processamento digital de imagens vem a ser uma ferramenta fundamental para os planejadores. No que diz respeito ao planejamento municipal e regional pode-se citar algumas aplicações nos campos do levantamento, mapeamento e monitoramento do uso e ocupação do solo urbano e rural, estradas, acessos, ferrovias, linhas de alta tensão, áreas adjacentes, mananciais de abastecimento e qualidade da água. Ainda no contexto de suporte e apoio, pode-se citar: planos diretores de desenvolvimento integrado, elaboração e atualização de cadastros técnicos urbanos e rurais, manejo integrado de bacias hidrográficas e programas de

saneamento ambiental. Contribui ainda para o mapeamento de superfícies líquidas, a identificação de sistemas de falhas e fraturas, levantamento e caracterização de solos ou identificação e mapeamento de culturas. Recentemente, tem sido dada bastante atenção ao desenvolvimento de técnicas automáticas ou assistidas por computador para interpretação e detecção de mudanças no uso e ocupação do solo (FONSECA, 2002).

FIGURA 13: Imagem sintética da área de estudo, obtida de composição das bandas 4, 5 e 3 do sensor ETM+ do satélite LandSat 7.

2.2.4 – Sistema de Posicionamento Global – GPS

O Sistema de Posicionamento Global – GPS, segundo LOPES (2002), é um sistema de posicionamento baseado em satélites artificiais com órbitas geocêntricas, que permite a determinação de coordenadas tridimensionais precisas, navegação e informação de tempo. O sistema GPS foi desenvolvido pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos com o objetivo fundamental de proporcionar o posicionamento em tempo real para operação de sistemas de navegação.



FIGURA 14: Receptor GPS e antena.

O GPS permite o posicionamento de pontos de forma estática e cinemática. No modo estático o receptor/antena GPS permanece estacionado em um ponto durante o rastreamento dos satélites. No modo cinemático o receptor/antena se movimenta ao longo da trajetória durante o rastreamento. O posicionamento de cada ponto obtido pelos modos estático ou cinemático pode ser referido ao sistema de coordenadas geocêntricas, e nesse caso é chamado absoluto, ou em relação a outro ponto, e então é denominado relativo ou diferencial. As coordenadas de um ponto no modo absoluto são

obtidas com um único receptor, rastreando 4 ou mais satélites. Este modo de posicionamento está mais associado à navegação, onde a posição em tempo real é mais importante que a precisão (LOPES, 2002).

2.2.5 – Geoestatística

Ao abordar Geoestatística, assevera CAMARGO (2002) que, os métodos tradicionais de interpolação espacial, como triangulação, média local das amostras e método da distância inversa, estão amplamente disponíveis em *softwares* de mercado. No caso de dados esparsos, no entanto, tais métodos possuem limitações na representação da variabilidade espacial, porque desconsideram a anisotropia e a continuidade do fenômeno que se pode observar. Modelos inferenciais para este objetivo vêm sendo propostos. A krigagem é um desses modelos, e sua base conceitual está fundamentada na teoria das variáveis regionalizadas.

O termo krigagem é derivado do nome de Daniel G. Krige, que foi o pioneiro em introduzir o uso de médias móveis para evitar a superestimação sistemática de reservas em mineração. O que diferencia a krigagem de outros métodos de interpolação é a estimação de uma matriz de covariância espacial que determina os pesos atribuídos às diferentes amostras, o tratamento da redundância dos dados, a vizinhança a ser considerada no procedimento inferencial e o erro associado ao valor estimado. Além disso, a krigagem também fornece estimadores exatos com propriedades de não tendenciosidade e eficiência (CAMARGO, 2002).

Em linhas gerais o processo de análise geoestatística pode ser dividido nas seguintes etapas:

a) Análise Exploratória:

A análise exploratória dos dados realiza-se através de estatísticas univariadas e bivariadas, servindo de apoio à análise dos dados. São obtidos os seguintes resultados: número de amostras, número de amostras válidas, média, variância, desvio padrão, coeficiente de variação, coeficiente de assimetria, coeficiente de curtose, valor mínimo, quartil inferior, mediana, quartil superior e valor máximo, além de histograma.

b) **Análise da Variabilidade Espacial por Semivariograma:**

Trata-se da etapa mais importante de todo o processo, pois o modelo de semivariograma escolhido é a interpretação da estrutura de correlação espacial a ser utilizada nos procedimentos inferenciais da krigagem. Nesta etapa é gerado o semivariograma.

c) **Modelagem do Semivariograma:**

Uma vez obtido o semivariograma, é preciso ajustá-lo a uma função, ou seja, a um modelo teórico. Este modelo irá representar a tendência espacial das amostras e permitirá uma análise de relação ou dependência espacial entre amostras. O procedimento de ajuste não é direto e automático, como no caso de uma regressão, mas sim iterativo, pois nesse caso é necessário fazer um primeiro ajuste e verificar a adequação do modelo teórico. Dependendo do ajuste obtido novas definições podem ser necessárias até a obtenção de um modelo satisfatório.

d) **Validação do Modelo:**

O principal objetivo do processo de validação do modelo de ajuste é avaliar a adequação do modelo proposto no processo que envolve a re-estimação dos valores amostrais conhecidos.

e) **Krigeagem Ordinária:**

Após a validação do modelo, a etapa final do processo geoestatístico consiste na interpolação de krigagem, encerrando-se os procedimentos geoestatísticos com a geração de uma grade de krigagem.

2.2.6 – Álgebra de mapas

Segundo BARBOSA et al. (1998), uma parcela significativa dos projetos de aplicações ambientais de geoprocessamento utiliza técnicas de integração de dados básicos de várias fontes e formatos, como imagens de satélite, mapas pedológicos, geológicos, de geomorfologia, de vegetação e de clima, com a geração de produtos intermediários, como cartas de vulnerabilidade à erosão e a integração dos dados do

meio fisicobiótico a dados sócio-econômicos. Muitos sistemas de informação geográfica incluem uma linguagem de manipulação de dados espaciais, que permite definir procedimentos complexos de integração de dados. O termo “álgebra de mapas” é usado para indicar o conjunto de procedimentos de análise espacial em geoprocessamento que produz novos dados, a partir de funções de manipulação aplicadas a um ou mais mapas. Esta visão concebe a análise espacial como um conjunto de operações matemáticas sobre mapas, em analogia aos ambientes de álgebra e estatística tradicional. Os mapas são tratados como variáveis individuais, e as funções definidas sobre estas variáveis são aplicadas de forma homogênea a todos os pontos do mapa. A Álgebra de Mapas compõe uma linguagem especializada para realizar operações que tem tanto um sentido matemático quanto cartográfico e espacial. Apresenta ainda o conceito de zonalidade utilizado em operadores de análise espacial, cujas restrições espaciais são definidas por áreas. A importância teórica deste conceito é dupla: permite materializar num SIG os conceitos de unidade de paisagem e área-unidade e permite a ligação entre dados do meio físico-biótico e dados sócio-econômicos, essencial para estudos de ordenação do território. Uma área-unidade é uma partição do espaço geográfico, definida pelo pesquisador em função do objeto de estudo e da escala de trabalho, que apresenta características individuais próprias; estas áreas-unidades seriam a base de um sistema de classificação e organização do espaço. A partir da decomposição do espaço em áreas-unidade, o pesquisador poderá relacionar, para cada uma destas partições, as correspondentes características físicas-bióticas que a individualizam em relação a todas as demais componentes do espaço.

Ao abordar álgebra de mapas, CÂMARA et al. (2002), distingue um SIG de outros tipos de sistemas de informação pelas funções que realizam análises espaciais. Tais funções utilizam os atributos espaciais e não espaciais das entidades gráficas armazenadas na base de dados espaciais e buscam fazer simulações sobre os fenômenos do mundo real. Descreve operações sobre GEO-CAMPOS, que representam a distribuição espacial de variáveis que possuem valores em todos os pontos pertencentes a uma região geográfica, que podem ser classificadas como pontuais, de vizinhança e zonais. Dependendo dos domínios e contradomínios dos mapas de geo-campos, diferentes possibilidades podem ser consideradas: operações unárias, também chamadas operações de transformação, pois a operação equivale a um mapeamento entre os

contradomínios dos campos de entrada e saída, aplicando-se ponderação, reclassificação ou fatiamento; operações booleanas, utilizadas em análise espacial qualitativa e para gerar mapas temáticos a partir de regras aplicadas a geo-campos, onde tais regras especificam o conjunto de condições a serem satisfeitas para cada tema de saída; operações matemáticas, que representam funções aritméticas, logarítmicas e trigonométricas, para geração de mapas temáticos.

Na maioria dos projetos desenvolvidos com auxílio de Sistemas de Informações Geográficas a principal proposta é a combinação de dados espaciais, com o objetivo de descrever e analisar interações, para fazer previsões através de modelos, e fornecer apoio nas decisões tomadas por especialistas. A combinação desses dados multi-fonte permitirá uma redução na ambigüidade das interpretações que normalmente são obtidas através da análise individual dos dados (PENDOCK e NEDELJKOVIC, citado por CÂMARA et al., 2002).

Várias são as técnicas de análise geográfica, no contexto de produção de novos mapas a partir de dados já existentes, que através de diferentes técnicas de inferência espacial promovem a integração dos dados. Estes métodos geram como resultados planos de informação em diferentes formatos. O método Booleano gera dados em formato Temático, sendo a potencialidade expressa espacialmente em forma de polígonos que representam classes (favorável e não favorável). Os outros métodos, Média Ponderada, Fuzzy, Bayesiano e inferência por Redes Neurais, geram dados em formato Numérico sendo a potencialidade expressa de forma numérica (CÂMARA et al., 2002).

Ainda segundo o mesmo autor, do ponto de vista conceitual, os modelos de processos ambientais no contexto de um SIG, podem ser descritos como a combinação de um conjunto de dados de entrada e através de uma função, produzindo um novo dado de saída:

$$\text{Saída} = f(\text{dados de entrada})$$

A função f pode tomar muitas formas diferentes, mas os relacionamentos expressados por esta função são baseados no entendimento teórico de princípios físicos e químicos, ou são empíricos, baseados em dados observados ou ainda na combinação

destes dois tipos anteriores. Modelos baseados em relacionamentos estatísticos ou relacionamentos heurísticos são exemplos de modelos empíricos. Nestes modelos, os relacionamentos espaciais entre variáveis de estudo são estimados por critérios estatísticos, a partir de amostras numa região experimental, ou a partir de um conjunto de classes, onde os limiares destas classes são definidos por especialistas.

3 – O CONFLITO DE USO

Em linhas gerais, podemos identificar o conflito de uso quando as atividades desenvolvidas em uma dada região do espaço ofereçam risco ou resultem em uma degradação da qualidade ambiental e que, direta ou indiretamente:

- prejudiquem a saúde, a segurança e o bem-estar da população;
- criem condições adversas às atividades sociais e econômicas;
- afetem desfavoravelmente a biota;
- afetem as condições estéticas ou sanitárias do meio ambiente;
- lancem matérias ou energia em desacordo com os padrões ambientais estabelecidos.

3.1 – A poluição hídrica

Um dos primeiros elementos naturais a sofrer a consequência do conflito de uso é a água. A qualidade da água é de grande importância para a manutenção da vida. Segundo CANÇADO (2004), a poluição hídrica se caracteriza por qualquer alteração nas características naturais de um recurso hídrico de modo a torná-lo prejudicial para os seres que dele dependem ou que dificulte ou impeça um uso definido a ele. Quando a poluição de um determinado recurso hídrico prejudica a saúde do homem, diz-se que há contaminação. A contaminação pode ser vista como um caso particular de poluição, no qual a água está contaminada com substâncias químicas ou radioativas e microorganismos que podem causar malefícios ao homem.

3.2 – O uso urbano

O esgoto doméstico proveniente das habitações apresenta composição mais ou menos definida, variando em função da concentração, dos hábitos da população, do tipo de sistema de esgotamento e de outras contribuições além das domiciliares.

De acordo com os resultados do mapeamento geotécnico executado no Planalto de Poços de Caldas por LIPORACI & ZUQUETTE (1999), ficou evidente que os materiais de alteração (residual e saprolítico) provenientes das rochas plutônicas, principalmente nefelina-sienitos, são muito mais suscetíveis à erosão, devido ao fato de

apresentarem uma textura argilo-siltosa com enormes bolsões siltosos e caulínicos. Devido ainda ao fato da região ser acidentada, é necessário executar uma terraplenagem severa dos terrenos para a implantação dos loteamentos. Estes cortes, via de regra ficam expostos vários anos, até que se dê a ocupação completa dos espaços vazios. Além disso, os materiais cortados, incluindo rochas, são jogados encosta abaixo (nos seguimentos de declive entre uma rua e outra); isto propicia a remoção dos materiais finos expostos, que são carreados pelas águas das chuvas torrenciais que atingem a região no verão (precipitação média 1.200 mm). Muitas vezes, dependendo da intensidade da chuva (60 mm ou mais) que precipita num curto intervalo de tempo (30 min), podem ocorrer enormes escorregamentos destes materiais, que vão assorear e entulhar as partes baixas da cidade, provocando enchentes e inundações dos cursos d'água, causando impacto ambiental e danos sócio-econômicos.

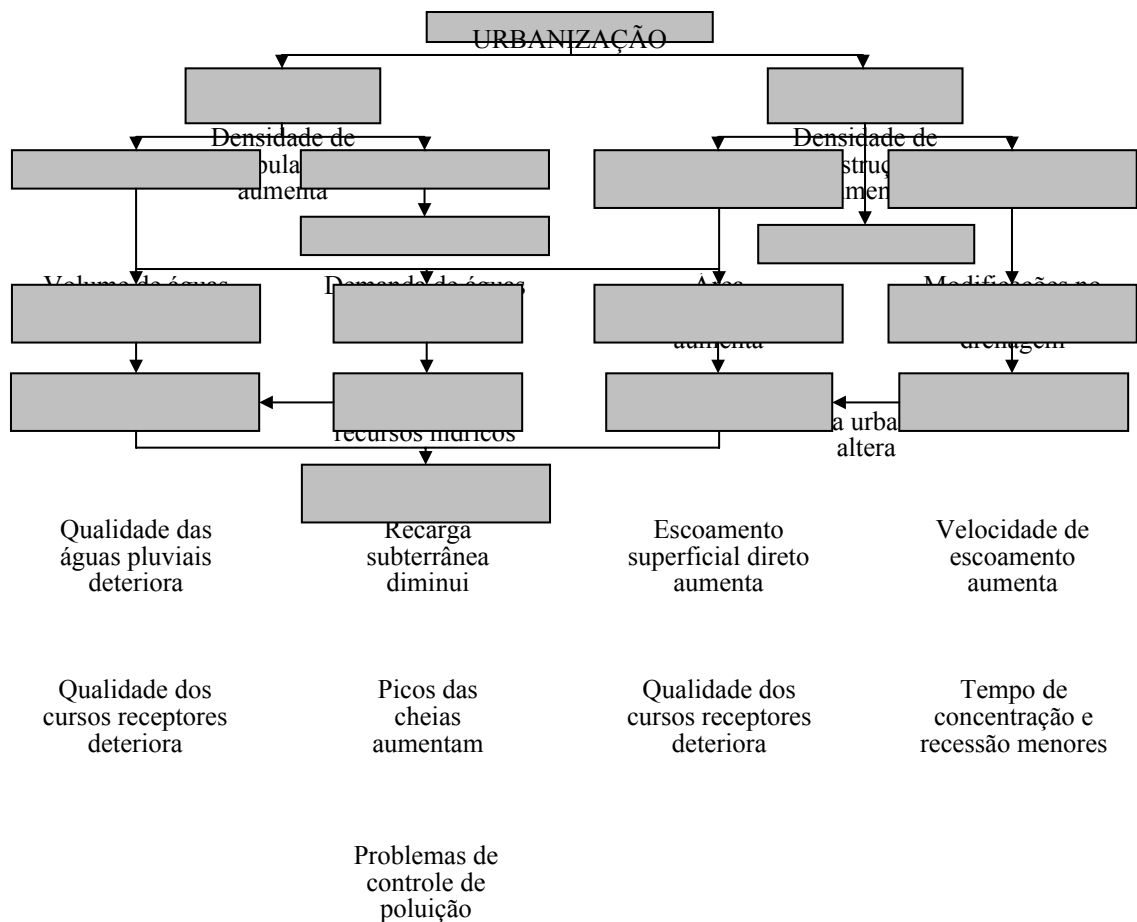


FIGURA 15: Processos ocorridos devido à urbanização (TUCCI, 1993).

A falta de planejamento do uso e ocupação urbano resultam numa série de impactos no solo, conforme esquematizado por TUCCI (1993) e apresentado na Figura 15.

Analisando-se a geração de escoamento de águas das chuvas, tem-se que o processo de urbanização impermeabiliza o solo, dificultando a infiltração das águas pluviais e acelerando o seu escoamento superficial. Dessa forma, apresenta-se imperativo o controle desse escoamento no intuito de se evitar seus efeitos adversos, os quais podem representar desde danos à saúde da população, até afetar a sua segurança e seu bem-estar. Um dos mais sérios problemas gerados pela falta de controle do escoamento das águas de chuva é o fenômeno das inundações (CANÇADO, 2003). Há que se considerar ainda os usos inadequados do solo por atividades antrópicas, caracterizadas pela retirada da cobertura vegetal e conseqüente ocorrência de processos de erosão urbana a partir da remoção e transporte da camada superficial do solo pelas chuvas. A partir deste processo verifica-se o assoreamento de corpos d'água que, aliado ao aumento da vazão pela impermeabilização, culmina em inundações.

Segundo CARVALHO & PRANDINI (1998), as solicitações das cidades ao meio físico, por milênios mantidas em níveis de pouca exigência, ou agrupadas em categorias pouco numerosas, cresceram e diversificaram-se com o advento da Revolução Industrial. Na edificação da cidade, o terreno é solicitado, temporária ou permanentemente, de formas muito variadas. Ainda segundo estes autores, estas solicitações agrupam-se em três grandes categorias:

- alteração do estado de tensão;
- alteração do regime hidrológico;
- alterações diversas em outros parâmetros de qualidade ambiental.

No primeiro grupo, incluem-se as alterações ditadas por operações de terraplenagem e escavações, tanto mais volumosas quanto maior a cidade e mais ondulado o relevo. A execução de aterros em terrenos baixos, mudando o estado de tensão nas partes soterradas, pode conduzir à ocorrências de acidentes graves quando executados sobre formações de baixa consistência. A execução de galerias, túneis e cavernas provoca drásticas e complexas mudanças do estado de tensão no terreno envolvente, podendo conduzir a rupturas catastróficas, a uma vigorosa drenagem do maciço envolvente ou a recalques de variada amplitude na superfície.

No segundo grupo, alteração do regime hidrológico, CARVALHO & PRANDINI (1998) asseveram que o bloqueio à infiltração nas áreas urbanas, tem efeito equivalente ao de uma vigorosa drenagem: à falta de suprimento, o nível freático sofre rebaixamento. As conseqüências desta alteração são muitas, podendo causar prejuízos diretos e indiretos, quer para a economia, quer para o meio ambiente.

Finalmente, o meio físico, envolvendo a cobertura vegetal, como expressão física visível do terreno, pode ser solicitado de diversas formas em seu papel consumidor, depurador ou neutralizador de substâncias estranhas ao meio ambiente natural: esgoto doméstico e industrial; lixo doméstico, hospitalar, industrial e comercial; substâncias aeriformes incorporadas à atmosfera, poluição termal veiculada pelo ar e pela própria água.

3.3 – O uso rural

As atividades rurais, principalmente aquelas praticadas nas grandes propriedades, via de regra envolvem uso de produtos químicos como pesticidas e fertilizantes. Alguns dos elementos químicos que compõe estes produtos são passíveis de serem conduzidos aos cursos d'água ou atingirem aquíferos confinados e aquíferos freáticos. As áreas representadas por estes aquíferos são mais suscetíveis à contaminação, pois estão desprovidos do isolamento por camadas de menor condutividade hidráulica.

O revolvimento periódico da camada superficial do solo associado a áreas com potencial de escoamento superficial elevado pode induzir o assoreamento de cursos d'água próximos às áreas de práticas agrícolas.

Em menor proporção, porém não menos importante, a geração de excrementos de animais pode oferecer riscos à saúde humana, através dos patogênicos encontrados.

Outro procedimento existente nas atividades rurais é a prática da queimada de pastagens. Em algumas áreas esta prática tem induzido o aparecimento de pontos de erosão do solo. Há que se considerar ainda que, na maioria das vezes, esta prática é isenta de qualquer técnica e de meios de contenção, permitindo assim atingir áreas de florestas com danos incalculáveis.

3.4 – O uso industrial

O esgoto industrial varia dependendo do tipo de processamento industrial utilizado, caracterizando-se basicamente por:

- presença de compostos químicos tóxicos;
- temperatura elevada;
- cor;
- turbidez;
- odor;
- nutrientes;
- sólidos dissolvidos;
- óleos e graxas;
- microorganismos patogênicos.

Segundo MORA, citado por CANÇADO (2004), as indústrias mais poluidoras dos recursos hídricos são: fábricas de papel e celulose, açúcar e álcool (usinas), indústrias químicas, aços e metais, têxteis, alimentícias (bebidas e laticínios), curtumes, matadouros e petroquímicas.

O lançamento de gases atmosférico e particulado também pode acarretar uma série de inconvenientes à qualidade do ar, tanto para áreas urbanizadas próximas às áreas industriais como também para outras indústrias.

3.5 – A extração mineral

Os processos mineradores promovem alterações no meio ambiente. Essas alterações se manifestam no meio físico que as abrigam e tendem a continuar se manifestando ao longo da história do uso do solo.

Minerar é uma das atividades mais primitivas exercidas pelo homem como fonte de sobrevivência e produção de bens sociais e industriais. A forma de extrair os bens minerais que a natureza nos oferece tem sido aprimorada nos últimos 50 anos. A mineração deixa um quadro de degradação oneroso freqüente na área que a abriga, quando exercida sem técnicas e controles adequados.

Todo ato de minerar, tanto a céu aberto quanto subterrâneo, modifica o meio ambiente devido ao processo de extração mineral e de deposição de rejeitos. Esse aspecto traz consigo uma dúbia questão, pois se, de certa maneira, a mineração degrada

o meio ambiente, por outro lado é também verdade que este ambiente pode ser reconstruído de forma aceitável, limitando o impacto ambiental negativo a um curto período de tempo.

O impacto ambiental, causado pela mineração dependerá exclusivamente da ação exploratória. A atividade extrativa é que determinará o tipo, a magnitude e as conseqüências da alteração ambiental no meio a ser minerado.

Embora se utilizem técnicas avançadas e modernas para amenizar os aspectos degracionais produzidos, muitos procedimentos necessários para a implantação do empreendimento mineiro não podem ser evitados, ocasionando muitas vezes impactos ambientais negativos ao meio físico.

As ações mais simples em um processo de mineração, como, por exemplo, decapeamento, abertura de trincheira ou poços, cortes, entre outras, causam grandes modificações no meio ambiente, abrangendo vários níveis, tanto de superfícies das camadas, como suas propriedades físicas e químicas, assim como a níveis mais intensos como a perturbação local de microfauna e microflora (KOPEZINSKI, 1998).

Na região de Poços de Caldas, segundo LIPORACI & ZUQUETTE (1999), as condições de origem do Maciço Alcalino, aliadas às condições geológico – estruturais, geomorfológicas e climáticas, propiciaram a ocorrência de vários tipos de mineralizações. Como exemplos de bens minerais economicamente exploráveis pode-se citar: as bauxitas, as argilas refratárias, o urânio, etc.

Poços de Caldas, ainda segundo os mesmos autores, destaca-se, sob o ponto de vista econômico, pela importância de suas jazidas de bauxita. A bauxita que ocorre no Maciço Alcalino tem características peculiares; ela se desenvolve tanto em áreas de relevo mais suave (bauxita de campo), bem como em áreas de relevo mais acidentado, nos topos e encostas de morros e das serras, que constituem os diques anelares (Figura 16). A retirada da camada superficial mineralizada implica em cortes em terrenos geralmente com declividades superiores a 20% e a exposição dos materiais inconsolidados, mais susceptíveis à erosão e aos desmoronamentos, bem como dos materiais com capacidade de suporte muito baixa para a revegetação, implicando em altos investimentos em pesquisas, análises de solos, técnicas de recomposição, de adubação, etc.



FIGURA 16: Área de exploração de bauxita pela empresa Mineração Curimbaba, no Município de Poços de Caldas, coordenadas UTM 7.591.539N e 331.493E (abril/2003).

Têm importância econômica também as argilas aluminosas refratárias, encontradas nas planícies de inundação dos cursos d'água existentes no interior do Planalto de Poços de Caldas. Normalmente a exploração destas ocorrências é feita de maneira predatória. As camadas mineralizadas com maior teor de alumina estão em profundidades maiores, portanto os mineradores precisam remover as camadas superficiais estéreis para retirar o filão mineralizado.

Assevera LIPORACI & ZUQUETTE (1999) que, durante os trabalhos de campo realizados na região, constatou-se que a maioria das áreas de exploração das argilas refratárias encontra-se já exaurida e abandonada, sem a devida recuperação da área minerada, o que acarreta problemas ao meio ambiente, tais como: erosão e facilidade de carreamento dos materiais revolvidos, pelas águas das chuvas; estagnação das águas, propiciando a poluição e contaminação das mesmas. Também causa uma poluição visual que afeta a beleza paisagística, explorada pelo turismo.

3.6 – A disposição de resíduos

Em geral, os resíduos oriundos de atividades antrópicas têm sido dispostos em diferentes locais, alguns selecionados após estudos geológico-geotécnicos, outros simplesmente depositados sem nenhum levantamento ou avaliação de adequabilidade. Em ambas as situações há preocupações com diversos tipos de

problemas ambientais. Dentre eles destaca-se a contaminação das águas superficiais e subsuperficiais e dos materiais geológicos (rochas e materiais inconsolidados). Neste sentido, é fundamental conhecer o comportamento do fluxo de líquidos na área em termos de direção, velocidade, adsorção e outros parâmetros hidrodinâmicos, para prever as extensões que podem ser afetadas e com que intensidades (PALMA & ZUQUETTE, 2003).

Usando de modelagem numérica para avaliar o comportamento do fluxo e transporte dos poluentes no Lixão de Poços de Caldas, os mesmos autores enquadram a área em questão no caso das usadas para a disposição de resíduos urbanos sem estudos geológicos e geotécnicos adequados. Os resíduos urbanos e hospitalares gerados no município são depositados neste local desde 1985, sendo atualmente depositadas 60 toneladas por dia de resíduos urbanos residenciais, 5 toneladas por dia de resíduos decorrentes dos serviços da saúde e 15 toneladas por dia de material proveniente das indústrias comuns e comércio. A área, apresentada na figura 17, ocupa 33.000 m², com um volume aproximado de 250.000 m³. Os resíduos são recobertos por uma camada de poucos centímetros de material argiloso compactado.

FIGURA 17: Lixão do Município de Poços de Caldas (julho/2003).

Em Poços de Caldas não há uma coleta seletiva dos resíduos sólidos; todos os resíduos coletados pelo serviço público são transportados e depositados diretamente sobre o substrato rochoso e/ou sobre uma camada pouco espessa de material inconsolidado residual e/ou saprolítico, sem os devidos cuidados com a impermeabilização da base.

4 – GESTÃO TERRITORIAL

A gestão do território, o uso do solo, as ações de planejamento e a ordenação e monitoramento do espaço físico, devem considerar, em sua análise e no processo de decisão, o maior número de fatores do meio ambiente tais como: fatores físicos, bióticos, a população existente, etc.

A organização territorial visa orientar como devem ser ocupados os espaços de uma determinada região. É uma orientação para os administradores na gestão do território. O objetivo principal é indicar os tipos de atividades certas para cada região levando-se em conta o nível de desgaste provocado por cada atividade e o quanto cada região suporta. Esta filosofia de trabalho colabora com a preservação do meio ambiente e permite aos administradores incentivar o desenvolvimento da região sob seu controle de forma sustentada. Como exemplo de organização territorial podemos citar o mapeamento da capacidade de uso do solo, o mapeamento de áreas com potencial para reflorestamento, zoneamento agroclimático, zoneamento ecológico, etc. A organização territorial tem ganhado força a cada dia, pois os resultados obtidos com esse tipo de trabalho têm servido não só como orientação para os cidadãos e administradores, mas também como base para a implantação de leis (FONSECA, 2002).

Para a obtenção de condições de vida adequadas, com segurança e preservação dos recursos naturais, faz-se imprescindível o estudo das limitações e aptidões do meio físico e dos problemas decorrentes da ação antrópica. Desta forma, tem-se observado ao longo dos anos a elaboração e aplicação de normas, legislações e mecanismos de ocupação territorial com vistas à organização ambiental e ao gerenciamento de ocupações, objetivando principalmente o uso racional do espaço físico e a melhoria da qualidade de vida do homem.

4.1 – Planejamento

Segundo CANÇADO (2004), o planejamento pode ser definido como sendo um procedimento organizado que visa escolher a melhor alternativa para se alcançar um determinado objetivo ou finalidade. O planejamento desenvolve-se através de uma seqüência de etapas, dentre as quais cita-se a formulação de objetivos, levantamento de dados, diagnóstico, elaboração de planos alternativos, comparação de

alternativas, decisão, programação, implementação e controle. O planejamento necessita de uma clara definição da política a ser aplicada em cada nível de decisão, garantindo ampla e livre troca de idéias entre todos os envolvidos nas ações de planejamento.

Segundo SOUZA (1992), o planejamento deve considerar as limitações e potencialidades dos recursos naturais pertencentes ao meio físico, biótico e às condições socioeconômicas. Sua aplicação se dá na ocupação ordenada do meio, na proteção ambiental, no uso agropastoril da terra e nas obras civis. O planejamento deve partir de uma abordagem preventiva, e não corretiva, garantindo a eficiência e a aplicação adequada e otimizada de soluções.

O planejamento pode contar com algumas ferramentas provedoras de informações básicas para o uso adequado do meio físico. Entre estas ferramentas, encontram-se as cartas geotécnicas ou de interesse geotécnico, a carta topográfica, o mapa hidrológico, o mapa climático, a carta de declividade, o mapa de uso e ocupação do solo, fotos aéreas, sistemas de informações geográficas, etc.

Para CARVALHO & PRANDINI (1998) uma cidade é uma obra que nunca termina, não havendo por assim dizer, um momento de desmobilização. Faz-se necessário buscar a correspondência ideal entre funções, ou suas respectivas exigências funcionais, e as aptidões dos diversos compartimentos fisicamente diferenciados do terreno, daí resultando o zoneamento funcional que em tese proporciona o máximo benefício ao mínimo custo de implantação e operação. Muitas cidades surgiram ao improviso. Outras foram objeto de planejamento formal. Nestes casos, critérios econômicos e geopolíticos presidem a escolha da localização no espaço geográfico. A escolha do sítio de implantação já comporta a adoção de critérios baseados em fatores locais, de típica filiação geológica.

5 – BANCO DE DADOS GEOGRÁFICO

As características de bancos de dados para armazenamento de informação, consulta por parâmetros isolados ou combinados, manipulação numérica de dados, etc., têm sido utilizadas com frequência em Geologia de Engenharia. As vantagens são evidentes sobre a alternativa tradicional de arquivamento de dados. A possibilidade de acesso remoto ao banco de dados, através de rede, tem causado, e certamente ainda irá causar, grandes transformações, até nos hábitos de trabalho de muitos profissionais. Geralmente, informações geológicas e geotécnicas estão associadas à localização geográfica da obtenção dos dados.

DATE, citado por GIBOTTI (2002), argumenta que o sistema de banco de dados deve privilegiar várias operações no tratamento e manipulação de coleções de dados, dentre elas:

- adicionar novos registros;
- inserir dados em registros existentes;
- recuperar dados de registros existentes;
- atualizar dados em registros existentes;
- apagar dados de registros existentes;
- remover registros do banco de dados.

Assevera ainda o mesmo autor que, um outro propósito do sistema de banco de dados é possibilitar aos usuários uma visão abstrata dos dados, ou seja, através da abstração o sistema esconde detalhes de armazenamento e manutenção do banco de dados, mantendo performance satisfatória na manipulação e recuperação dos dados. Para tanto, utiliza-se um sistema gerenciador de banco de dados (SGBD), que consiste em uma coleção de dados inter-relacionados e um conjunto de programas, que permitem a diversos usuários acessar e modificar esses dados com o objetivo de propiciarem ambiente conveniente e eficiente para inserir, armazenar e recuperar informações no banco de dados. Este SGBD deve ser responsável pelo armazenamento e pela atualização de dados no banco de dados, deve prover o cumprimento de integridade, verificando se os dados armazenados no banco de dados estão de acordo com restrições de consistência; deve impor requisitos de segurança de acesso aos dados, uma vez que o usuário não necessita ter acesso ao banco de dados; deve controlar a interação entre

usuários simultâneos, preservando a consistência dos dados, e finalmente, deve detectar falhas e recuperar o bando de dados, com procedimentos de recuperação e *backup*.

Um banco de dados consiste em uma coleção de dados estruturados, armazenados em dispositivos computacionais, em meio digital, obedecendo a regras de integridade. Estes dados podem ser gráficos, também denominados localizacionais ou espaciais, informando a localização espacial do fenômeno, ou seja, seu georreferenciamento, associado a propriedades geométricas e topológicas; e não gráficos, também denominados descritivos ou não localizacionais. Os dados gráficos são a representação de mapas analógicos na forma digital. As ocorrências espaciais são produzidas em três formas de notações básicas: pontos, linhas e polígonos.

Os dados geográficos podem ser entendidos como um dado espacial, que denota qualquer tipo de dados que descreve fenômenos aos quais esteja associada alguma dimensão espacial. Denota ainda dados que descrevem fatos, objetos e fenômenos do globo terrestre associados à sua localização sobre a superfície terrestre, num certo período ou instante.

As principais classes de dados geográficos são: mapas temáticos, mapas cadastrais, redes, modelos numéricos de terreno e imagens.

Os Sistemas de Informações Geográficas são capazes de coletar, armazenar, manipular, analisar e apresentar dados espaciais automaticamente utilizando procedimentos e técnicas específicas. Um SIG é caracterizado por 5 elementos: hardware, *software*, recursos humanos, procedimentos e dados. Os dados representam os elementos mais importantes, porém, geralmente estão faltando ou não são disponíveis no formato adequado, estão desatualizados ou se apresentam com má qualidade.

Os SIGs mantêm relações entre os dados gráficos e os não gráficos. O método mais comum de associar os dados é armazenar identificadores ou chaves de ligação simultaneamente com cada conjunto de elementos gráficos e não gráficos.

5.1 – Armazenamento de representações matriciais

Segundo CÂMARA et al. (1996), uma representação matricial nada mais é do que uma matriz, possivelmente de grande dimensão. O método de armazenamento para matrizes mais simples consiste em armazenar, uma linha após a outra (ou uma

coluna após a outra). Este método é adequado para processar operações que exigem visitar elementos da matriz linha a linha, ou sem nenhuma ordem preferencial como, por exemplo, no cálculo de um histograma.

A representação matricial aplica o princípio de relações, baseado em uma malha que define uma relação regular, mas arbitrária, entre polígonos para preservar os dados geográficos. Esta técnica é associada inerentemente a um sistema de coordenadas, sem a necessidade de associações precisas e utiliza-se uma matriz para representar as variações geográficas para o computador. Na representação matricial, o mundo real é simbolizado por uma matriz de células endereçadas pelas intersecções de linhas e colunas, associadas a um valor referente ao seu atributo. Quanto mais fina a malha, maior será a resolução da representação das ocorrências espaciais e conseqüentemente, maior será a precisão das medidas de áreas e distâncias (RÖHM, 2002).

Entretanto, segundo o mesmo autor, quanto maior a resolução maior deverá ser o espaço exigido para armazenar os dados. Quando são representadas áreas grandes com células contíguas de mesmo atributo, ocorrem redundâncias de armazenagem no banco de dados, que podem ser atenuadas com o uso de algumas técnicas desenvolvidas para este fim. Uma das opções para atenuar o consumo de espaço de armazenamento é a codificação da imagem, examinando-se cada linha para identificar a existência de *pixels* com atributos idênticos. Desta forma, as estruturas são compostas pela divisão sucessiva da imagem em partes menores, até que todos os *pixels* que compõe uma parte sejam idênticos. Quando esta condição é satisfeita a divisão é interrompida. Esta informação é armazenada em um registro que contém a sua posição, nível e atributo.

5.2 – Armazenamento de representações vetoriais

A representação vetorial é a mais conveniente quando se necessita armazenar coordenadas com precisão. De forma geral, os pontos, linhas e polígonos que compõe os mapas são definidos através de coordenadas cartesianas x e y . Além de expressar os fenômenos geográficos por meio de coordenadas cartesianas, pode-se também usar princípios de teoria gráfica que envolvem relações topológicas para representar a posição relativa entre os diversos elementos dos mapas. Numerando os

segmentos de retas e associando-os aos nós e aos polígonos à sua direita e sua esquerda, pode-se desenvolver um sistema de notação do mapa básico. Adicionando coordenadas x e y a cada nó, obtém-se um sistema dual para identificação de elementos de um mapa (RÖHM, 2002).

5.3 – Processamento de consultas

Segundo CÂMARA et al. (1996), a eficácia das estratégias de otimização de consultas e dos métodos de armazenamento e indexação das componentes espaciais dos dados geográficos depende fundamentalmente do tipo e frequência das consultas e operações em geral submetidas a bancos de dados geográficos.

Ainda segundo o mesmo autor, pode-se separar de um lado as operações de atualização – inserção, remoção e modificação – submetidas ao banco de dados geográfico, e de outro lado as consultas espaciais em si. Dentre os tipos de consultas espaciais, destacam-se:

- seleção convencional: determinação de todos os dados em um conjunto de dados D que satisfaçam uma restrição definida ρ .
- seleção pontual: determinação de todos os dados em um conjunto de dados D que contêm um dado ponto P .
- seleção por região: determinação de todos os dados em um conjunto de dados D que interceptam ou estão contidos em uma dada região R .
- junção espacial: dados dois pares de dados, D e D' , e definido um relacionamento espacial θ entre pares de dados (por exemplo “estar contido em”), consiste na determinação de todos os pares de dados $(d, d') \in D \times D'$ tais que d e d' satisfaçam θ .

O resultado de consultas de quaisquer um destes tipos retorna um conjunto de dados, ou um conjunto de pares de objetos, retirados do banco de dados geográfico. Existe, no entanto, uma variante importante da junção espacial que não retorna simplesmente pares de objetos:

- superposição de representações: dados dois conjuntos de dados, D e D' , e um critério de superposição σ , consiste na determinação de

todos os pares de dados $(d, d') \in D \times D'$ tais que d e d' se superpõem e crie um novo dado para cada par conforme o critério de superposição σ . O resultado da operação consiste nestes novos dados.

6 – CARACTERÍSTICAS DA ÁREA DE ESTUDO

O Município de Poços de Caldas, que nasceu da povoação que se formou ao redor das fontes termais e hoje ocupa uma área de 544,42 Km², foi emancipado em 1º de setembro de 1888, pela lei nº 3.659, desmembrado do Município de Caldas. Recebeu, anteriormente à denominação atual, os seguintes nomes: Nossa Senhora da Saúde das Águas de Caldas, Nossa Senhora da Saúde de Caldas, Nossa Senhora da Saúde de Poços de Caldas e Águas Virtuosas de Caldas.

A cidade se situa na Região de Planejamento Sul de Minas e é pólo da microrregião Poços de Caldas. Possui IDH de 0,83, sendo considerada o sexto município mais desenvolvido do Estado de Minas Gerais.

Entre as principais atividades do setor industrial desponta a mineração, com a extração de bauxita, argilas refratárias, areia, rochas ornamentais, zircônio e outros bens minerais, e a indústria de transformação mineral, como a ALCOA e a TOGNI Refratários. São secundadas por indústrias químicas, como as de fertilizantes e fibras têxteis e por um bem estruturado setor de confecções. É importante ressaltar que as águas minerais das fontes Pedro Botelho e dos Macacos são utilizados em balneioterapia, não existindo engarrafamento.

6.1 – Localização geográfica

O Município de Poços de Caldas está localizado ao Sul do Estado de Minas Gerais, inserido na microrregião que recebe seu nome, na divisa com o Estado de São Paulo, a 21°50'20" de latitude sul e 46°33'53" de longitude W Gr ou em coordenadas UTM – 7.590.200N e 338.000E, a 1.186 m de altitude, na região Sul de Minas, da qual é pólo sócio-econômico da maior expressão.

Conforme as divisões estabelecidas para planejamento, localiza-se na Região III, Sul de Minas e quanto à Região Administrativa, situa-se naquela denominada Alto Rio Pardo.

A região denominada Planalto de Poços de Caldas localiza-se na borda ocidental da Serra da Mantiqueira, estendendo-se pelos extremos orientais da Bacia Sedimentar do rio Paraná, formando um conjunto morfoestrutural bem caracterizado.

O Município, com área total de 544,42 Km² , dos quais aproximadamente 85,51 Km² formam a zona urbana e 458,91 Km² na zona rural, é composto por um único distrito e tem como limites oito Municípios: ao Norte, Botelhos e Bandeira do Sul; a Leste, Caldas; ao Sul, Andradas e a Oeste os Municípios de Águas da Prata, São Sebastião da Gramma, Caconde e Divinolândia, os quatro últimos no Estado de São Paulo.

A área objeto do estudo de caso está situada entre as coordenadas geográficas 46° 45' 00" e 46° 22' 30" de longitude oeste e 22° 00' 00" e 21° 37' 30" de latitude sul, no Município de Poços de Caldas, no sul do estado de Minas Gerais, Brasil (Figura 18). Ocupa uma área de 544,42 km², abrangendo toda a extensão territorial do município.

FIGURA 18: Localização geográfica da área de estudo.

6.2 – Climatologia

A influência do clima na dinâmica dos eventos geológicos/geotécnicos se evidencia com a identificação de ocorrências de movimentos de terra em algumas encostas e carreamento de solo superficial nos períodos de maiores precipitações.

A região de Poços de Caldas encontra-se em uma faixa de transição entre os climas quentes, das latitudes baixas e os climas frios das latitudes médias, fator determinante no regime de precipitação e na caracterização do clima local como do tipo mesotérmico com inverno seco e verão brando (COMIG, 2001).

Em COMIG (2001) apresenta-se uma análise climatológica da área onde se localiza a cidade de Poços de Caldas, elaborada com base nos dados disponibilizados pelo Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. Os dados utilizados, referentes ao período 1.961/1.985, foram sistematizados pelo Departamento Nacional de Meteorologia.

6.2.1 – Pluviometria

Segundo COMIG (2001), para uma série de dados, no período de 1961 a 1985, considerada a mais consistente, o índice pluviométrico apresentou uma maior intensidade nos meses de dezembro a março, com maior incidência de precipitações nos meses de dezembro e janeiro. Em abril e maio este índice apresenta sensível redução, a qual acentua-se drasticamente nos meses de junho, julho e agosto, voltando a apresentar tendência de crescimento a partir do mês de setembro. O gráfico apresentado na Figura 19 mostra a distribuição anual e o total das chuvas na região de Poços de Caldas, indicando que a área em estudo possui características de clima úmido.

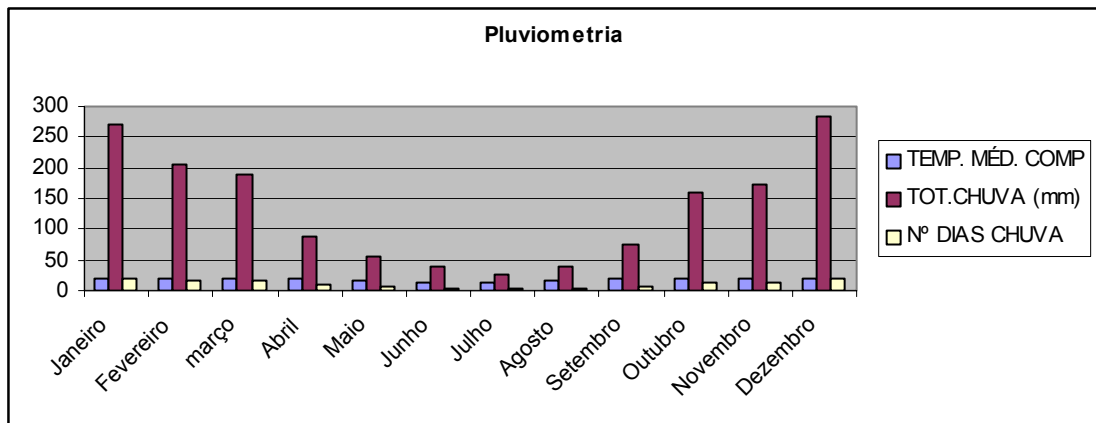


FIGURA 19: Distribuição anual e total das chuvas (COMIG, 2001).

6.2.2 – Evapotranspiração potencial

A evapotranspiração potencial apresenta um valor anual de 828 mm. Entre os meses de janeiro e março a evapotranspiração atinge a 260 mm, sofrendo uma diminuição em sua concentração nos meses de junho, julho e agosto, na estação de inverno, e voltando a apresentar elevação em setembro, que se mantém nos meses subsequentes, conforme gráfico mostrado pela Figura 20 (COMIG, 2001).

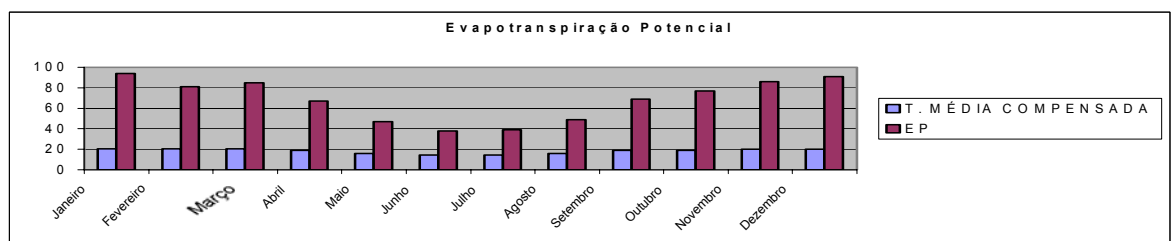


FIGURA 20: Temperatura média compensada e evapotranspiração (COMIG,2001)

6.2.3 – Temperatura

Em COMIG (2001) utilizou-se a temperatura média compensada, no período 1961/1985. O gráfico de temperatura representado na Figura 21 mostra que no período citado, as máximas e mínimas tiveram média anual de 24,3°C e 12,9°C,

respectivamente. A temperatura média do primeiro trimestre do ano, janeiro a março, ficou em 25,9°C, o que é característica de climas com estação bem definida de verão. Os meses da primavera ficam logo abaixo desse patamar. Por sua vez, de abril a agosto a temperatura média foi de 22,7°C, inclusive durante a estação de inverno. A temperatura média compensada anual em Poços de Caldas ficou em 18,2°C.

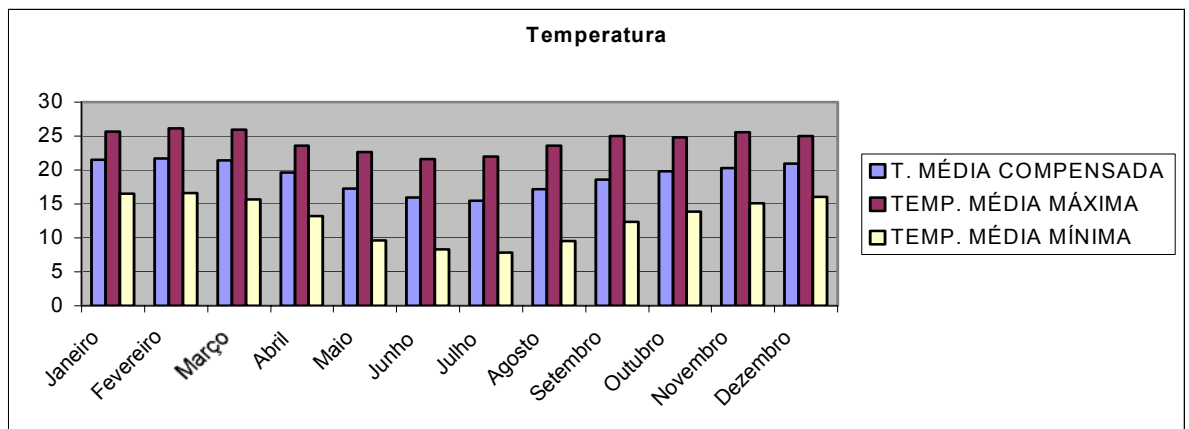


FIGURA 21: Temperaturas médias – compensada, máxima e mínima (COMIG, 2001).

6.2.4 – Balanço hídrico

Em COMIG (2001), com base no balanço hídrico calculado, conclui-se que o clima da região em estudo é do tipo úmido com deficiência hídrica no inverno. Esta deficiência está associada à diminuição ou ausência de chuvas no inverno, fato característico de climas com duas estações bem definidas. O mês de fevereiro apresenta o menor índice de evaporação de todo o período, com valor de 53,5mm, contrário ao volume de precipitação, que é muito expressivo.

Embora haja o período de estiagem no inverno, quando ocorre déficit hídrico nos meses de junho, julho e agosto, com o início das chuvas, no mês de setembro e com picos nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro, este déficit será corrigido repondo a água do solo.

Devido ao volume precipitado entre os meses de novembro e março, o solo apresentará um excedente hídrico bastante significativo, em maior quantidade nos meses de dezembro e janeiro.

Nos meses de julho e setembro o nível de armazenamento não apresenta déficit, ficando abaixo do nível máximo e acima do nível mínimo de armazenamento

permitido para manter a capacidade de água disponível no solo. Somente o mês de agosto apresenta déficit hídrico, com valor de 78 mm.

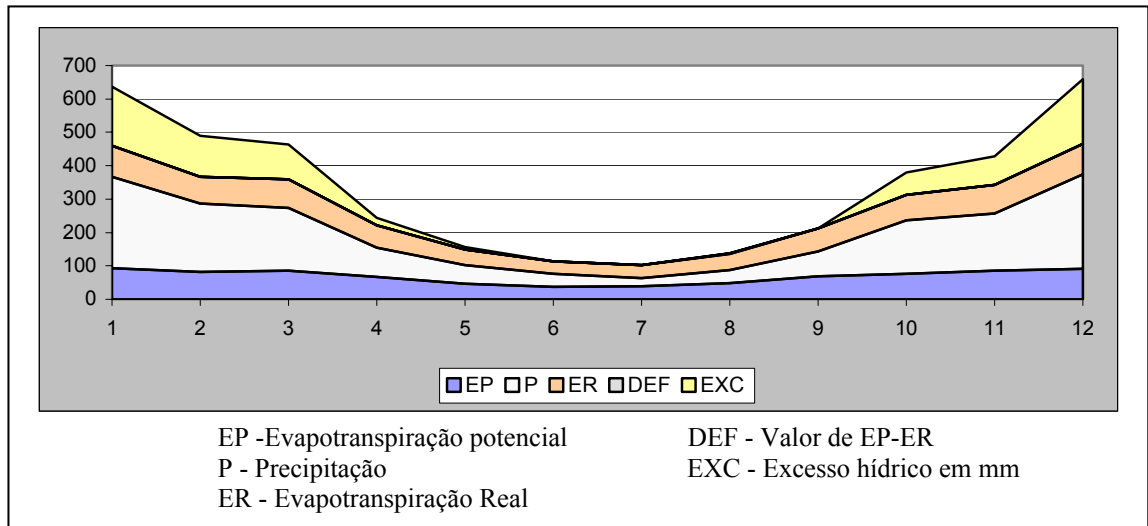


FIGURA 22: Balanço hídrico de Poços de Caldas (COMIG, 2001).

6.3 – Cobertura vegetal

O Município apresenta dois tipos básicos de vegetação natural: campo e floresta tropical.

Os campos são constituídos por gramíneas rústicas e elementos arbustivos baixos, de caule retorcido e casca grossa. Este tipo de vegetação se distribui tanto em topos de morros como em vertentes das colinas, em zona urbana e rural.

A floresta é pouco densa, permitindo a fácil penetração de luz solar, favorecendo o aparecimento de vegetação arbustiva e herbácea. Devido à altitude, há ocorrência de pinheiros (*Araucaria angustifolia*) formando pequenos agrupamentos ou, isoladamente, no meio da mata (PMPC, 1992).

6.4 – Geologia

O denominado Planalto de Poços de Caldas, que abrange diversos municípios, é uma região de origem vulcânica, com intrusão de rochas alcalinas numa superfície de 750 km², sendo que 330,39 km² do Município estão compreendidos no

Planalto, e os 214,03 km² restantes em área de rochas pertencentes ao embasamento cristalino.

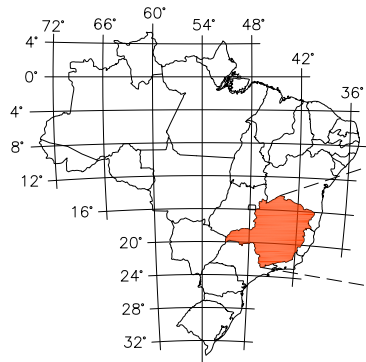
O maciço alcalino de Poços de Caldas é uma estrutura de forma circular, constituído por rochas ígneas plutônicas ou vulcânicas. São rochas da família dos nefelina-sienitos, representados por foiaítos, tinguaítos e fonólitos. Subordinadamente ocorrem brechas aglomeradas e tufos vulcânicos, além de restos de arenito correlacionados à Formação Botucatu (PMPC, 1992).

A área vulcânica é delimitada por um anel de montanhas com altitudes variando de 1.500 a 1.700 metros. A área interna deste anel apresenta altitude média de 1.300 metros. As montanhas circundantes são mais resistentes à erosão, provavelmente devido a um metamorfismo de contato. As rochas do interior do planalto foram submetidas à intensa ação hidrotermal, que alterou profundamente a consistência dessas rochas, resultando numa resposta diferente à ação intempérica (PMPC, 1992).

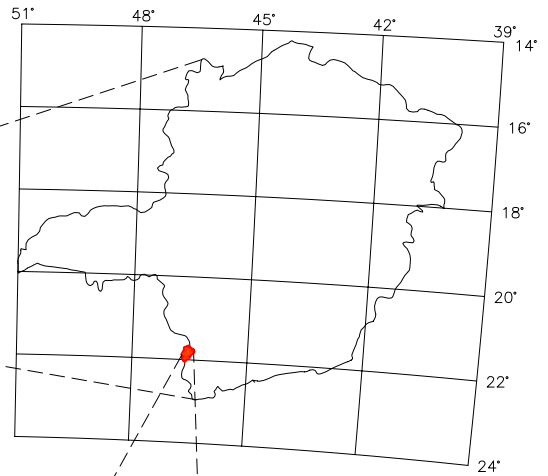
As rochas circundantes são predominantemente granitos, gnaisses e metamórficas de alto grau, pertencentes ao embasamento cristalino.

Segundo Paradella & Filho, citados por KOPEZINSKI (1998), algumas ocorrências de sedimentos são encontradas no interior do Planalto, principalmente em suas bordas. As encaixantes granito-gnaissicas do embasamento, em alguns locais, apresentam-se fenitizadas, próximo ao contato com a intrusão. A Figura 23 esboça melhor a tectônica mencionada.

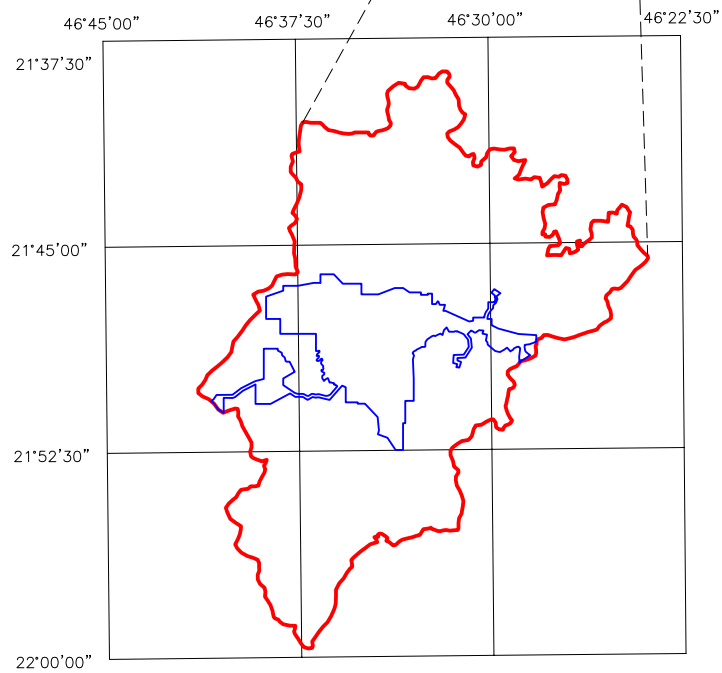
Segundo MOTOKI et al. (1988), pesquisas geológicas realizadas por Bjorneberg em 1956 e Ellert em 1959, preuseram a existência de uma gigantesca caldeira vulcânica no complexo, baseando-se na morfologia, estrutura regional, dique anelar, posicionamento de rochas piroclásticas e sedimentares. Bjorneberg, citado por MOTOKI et al. (1988), descreveu as rochas sedimentares, presentes ao longo da borda deste complexo, como compostas de arenitos eólicos com intercalações secundárias de siltitos, sendo correlacionadas à Formação Botucatu da Bacia do Paraná, anterior ao vulcanismo de magmas alcalinos. Ao mesmo tempo, anotou uma possibilidade de deposição simultânea com rochas piroclásticas. A exposição atual em altitudes variáveis (850 a 1500 m), junto com os mergulhos gerais para o centro do complexo, foi atribuída ao abatimento de caldeira.



Brasil
ESCALA 1:100.000.000

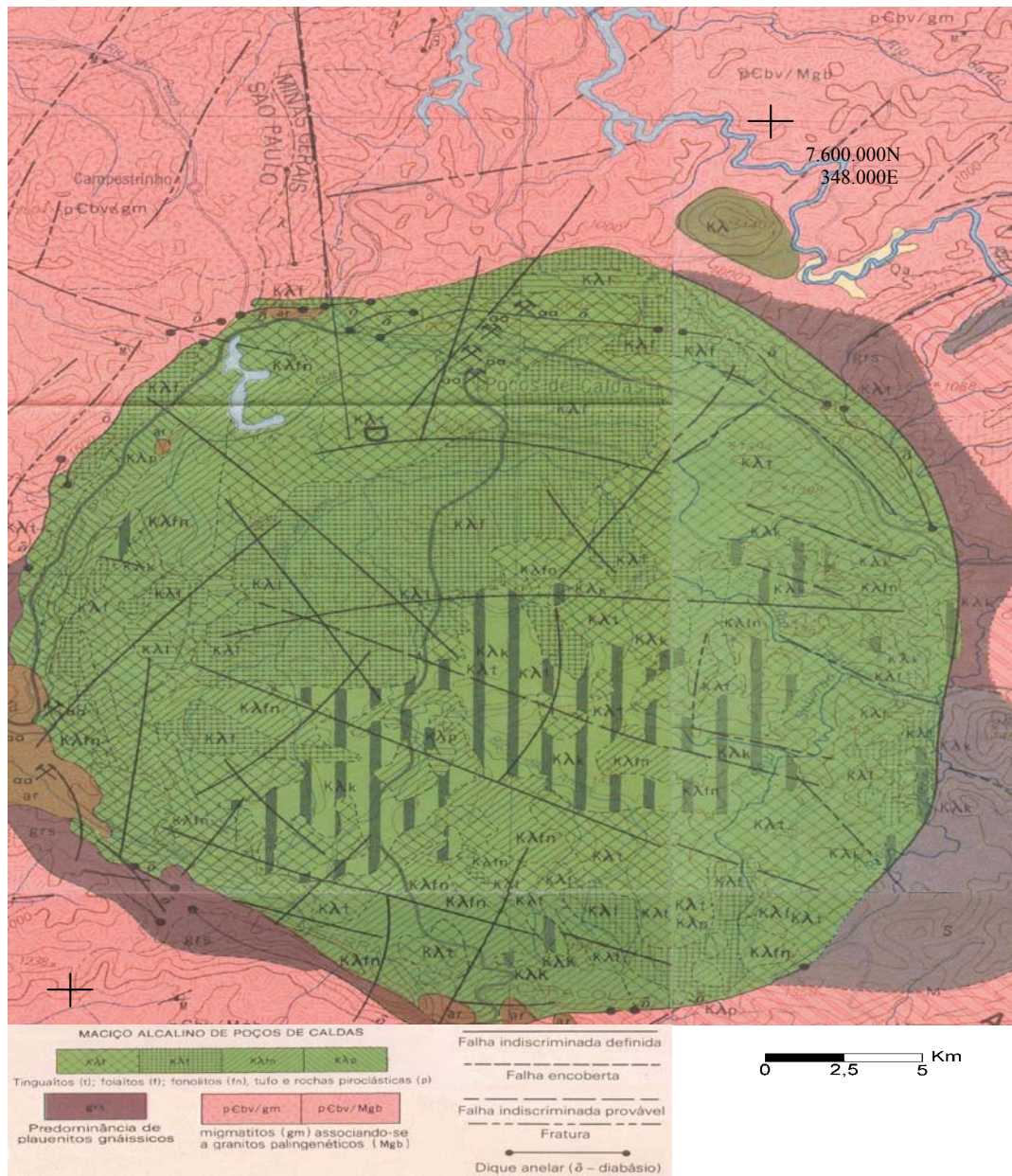


Estado de Minas Gerais
ESCALA 1:20.000.000



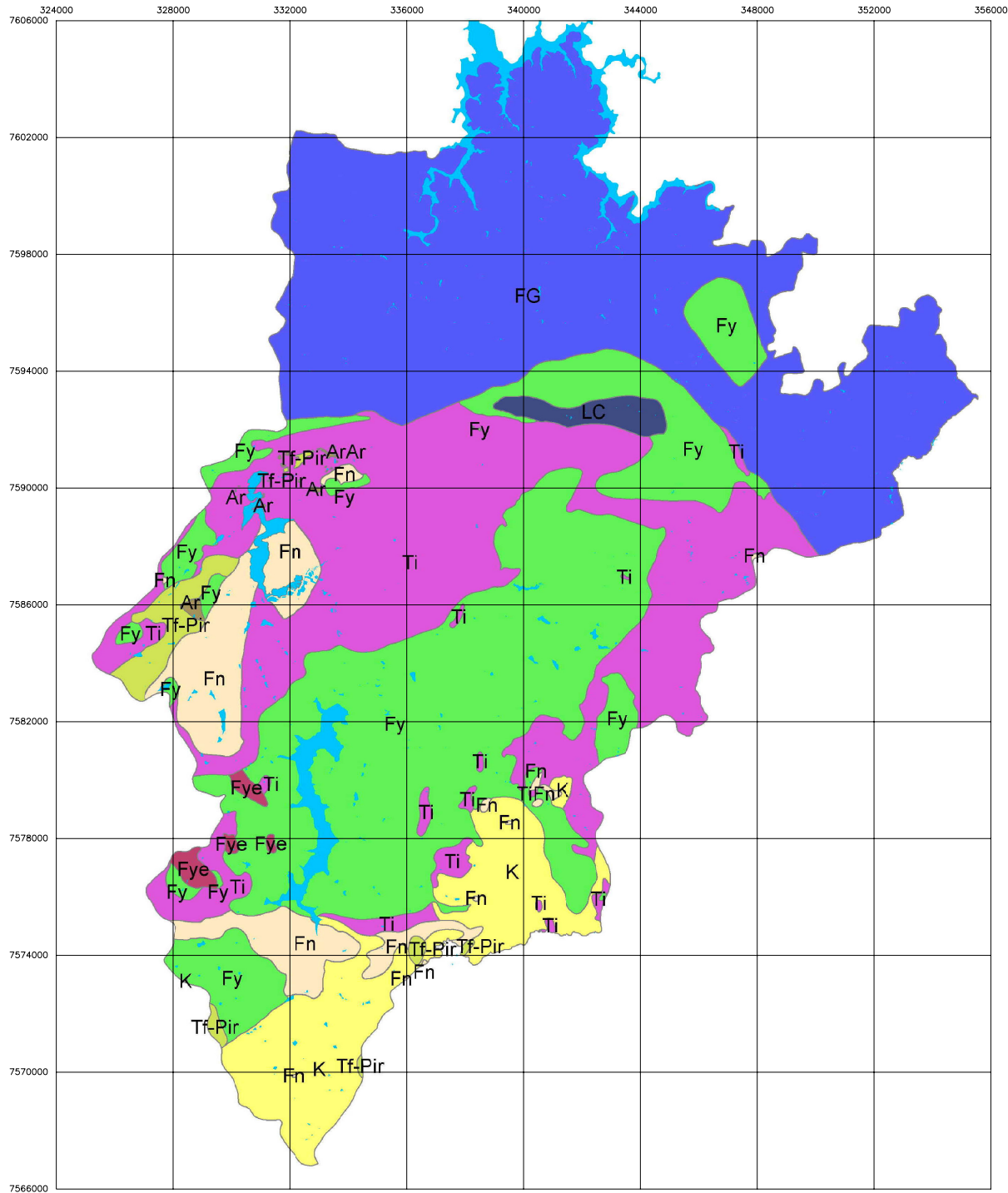
- Área de Estudo
- Perímetro Urbano

Município de Poços de Caldas
ESCALA 1:500.000



7.562.000N
326.000E

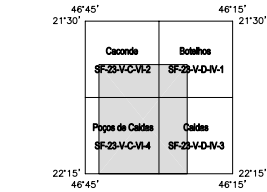
FIGURA 24: Mapa Geológico regional contendo a área de estudo. Modificado de BRASIL-DNPM (1979).



LEGENDA

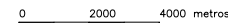
- Arenito
- Fenito e Gnaise
- Foliato
- Foliato com Eudialita
- Fonalito
- Lujaurito e Chibinito
- Rocha Póssica
- Tinguaito
- Tufo - Rochas Piroclásticas
- Lagos

ARTICULAÇÃO DA BASE CARTOGRÁFICA



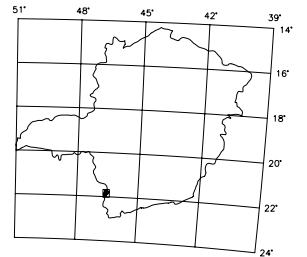
Declinação magnética
 $\delta = 20^{\circ}48'19''W$
 Variação anual: $00^{\circ}10'34''W$
 $\gamma = 00^{\circ}34'09''$
 Jan/1997

Escala: 1:150.000



Equidistância das curvas de nível: 20 metros

LOCALIZAÇÃO DA ÁREA NO ESTADO



Sistema de projeção: Universal Transverso de Mercator - UTM
 Elipse: SAD-69
 Meridiano central: 45° W. Gr.

Mapa produzido a partir da digitalização e vetorização do Mapa Geológico do Município de Poços de Caldas do Plano de Desenvolvimento Integrado de 1970, elaborado por FRAYHA e PARISI.

| | | |
|---|---|-----------|
| | Universidade Federal de São Carlos | |
| Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana | | |
| <i>Proposta de metodologia para elaboração de cartas de conflito de uso baseada em banco de dados geográficos como subsídio à gestão territorial, aplicada ao Município de Poços de Caldas (MG)</i> | | |
| MAPA GEOLÓGICO - MODIFICADO DE FRAYHA E PARISI (1970) | | |
| Misael de Mendonça Orientador: Prof. Dr. Reinaldo Lorandi | | Maio/2005 |

FIGURA 25: Mapa Geológico.

6.5 – Recursos minerais

As jazidas de bauxita se concentram, em sua maior parte no norte do planalto. São jazidas de formas irregulares ocupando, preferencialmente, o topo das elevações ou suas meia-encosta.

Os depósitos de argila são encontrados em baixios e ao longo de cursos d'água, geralmente associados aos depósitos de bauxitas. São argilas aluminosas e refratárias.

O zircônio ocorre no minério denominado caldasita.

O urânio ocorre em extensas áreas do planalto associado a outros elementos. As associações mais importantes são: urânio-zircônio e urânio-molibdênio. Diversos outros elementos como tório, terras raras, molibdênio, vanádio, ferro, ocorrem no planalto pela ação hidrotermal.

OLIVEIRA (1974) assevera que os diferentes tipos de ocorrências radioativas no Planalto de Poços de Caldas aparecem nitidamente subordinados a uma série de fatores geotectônicos, hidrotermais e de intemperismo, como elementos determinantes de suas causas e tipos de associação. Os teores de U_3O_8 e MoO_3 , de acordo com os resultados de análises, são regularmente distribuídos em extensas faixas. A mineralização ocorre sempre de maneira mais significativa até níveis inferiores aos 300 m de profundidade, dependendo de condições tectônicas favoráveis e de uma maior alteração das encaixantes pelos fenômenos hidrotermais e de intemperismo. Em todas as ocorrências molibdo-uraníferas da região de Poços de Caldas já estudadas pela Comissão Nacional de Energia Nuclear – CNEN, os teores médios de urânio variam muito pouco, mantendo-se em geral, por volta de 0,18% de U_3O_8 .

6.6 - Solos

Segundo COMIG (2001), os solos têm suas características condicionadas, principalmente, aos tipos litológicos sobre os quais atuaram os processos pedogenéticos. No Complexo Alcalino se desenvolvem solos com textura areno-argilosa e argilo-arenosa e cores que transicionam do bruno ao vermelho-escuro e ao amarelo-avermelhado. Foram classificados como Latossolos Vermelho-Amarelo e Podzólicos.

Localmente, são solos profundos, sendo largamente utilizados para implantação de culturas de café e pastagens, principalmente com as espécies de *Brachiaria*.

Os litotipos vulcânicos originam solos com textura argilosa de cor vermelho-escura, latossolo vermelho-escuro, que diferem dos latossolos vermelho-amarelo por apresentarem textura mais argilosa e cores mais avermelhadas. Em decorrência de ambiente oxidante nessa região, tais solos são profundos, muito drenados e ocorrem em manchas de extensão significativa, limitadas pelas faixas de lateritas, decorrentes do maior teor de alumina. Nesse caso, o relevo é geralmente mais suave, favorecendo a lixiviação e o empobrecimento do solo. Nas faixas de podzólicos e latossolos avermelhados, o relevo tende a ser mais movimentado e, portanto mais sujeito a focos erosivos, dificultando seu bom aproveitamento agrícola (COMIG, 2001).

São encontrados na região de Poços de Caldas os solos LVa 13 - Latossolo Vermelho Amarelo Álico + Podzólico Vermelho Amarelo distrófico e álico, ambos A moderado, textura argilosa fase floresta subperinifólia, relevo ondulado e forte ondulado. Além desses, também ocorrem, de forma restrita, os solos argilosos de cor escura, em decorrência da matéria orgânica acumulada, localizados nos fundos dos vales, nas zonas embrejadas (COMIG, 2001).

6.7 – Recursos hidrominerais

Os recursos da região são conhecidos de longa data e estão associados à fundação da cidade.

Na área urbana, existem numerosas ocorrências de água na forma de fontes, sendo classificadas como fontes frias e fontes termais.

As fontes frias, com temperaturas inferiores a 25°C, são águas sulfurosas e bicarbonatadas, sódicas, ligeiramente radioativas. São fontes de pequena vazão e estão relacionadas com uma zona aquífera rasa e/ou uma zona aquífera intermediária da ordem de 150 a 200 m de profundidade.

Em COMIG (2001), apresenta-se os estudos hidrogeológicos realizados com o objetivo de se estabelecer uma área de proteção ambiental para a Estância Hidromineral de Poços de Caldas. Faz-se um diagnóstico ambiental integrado da área de abrangência do estudo, considerando a importância do conhecimento do cenário atual,

dos principais e mais relevantes impactos ambientais. A metodologia utilizada para alcançar os resultados constou de:

- interpretação de imagens dos satélites LANDSAT 5 e 7, dos anos 1988 e 2000, respectivamente, à escala 1:50.000 e fotografias aéreas do voo AST – 10, na escala 1:60.000;
- levantamento de campo, com inventário hidrogeológico e identificação de atividades poluidoras na área central da zona urbana;
- mapeamento hidrogeológico, com apoio de imagens aéreas e de sensores remotos, abrangendo todo o complexo geológico-geomorfológico da chaminé alcalina;
- mapeamento hidroquímico, comparando análises químicas de vários estudos anteriores com as coletadas neste trabalho, buscando acompanhar a evolução hidroquímica das águas minerais, dando ênfase ao comportamento do elemento químico flúor, que, naquela região, apresenta uma ampla dispersão nas rochas da chaminé.

Define-se ainda, em COMIG (2001), a forma de recarga dos aquíferos do Planalto de Poços de Caldas, concluindo-se a relação da origem das fontes termais com a interseção de fraturamentos profundos. Na área urbana de Poços de Caldas e adjacências, foram cadastradas as principais fontes com água a temperatura normal e as fontes termais da cidade. O trabalho apresenta também um modelo hidrogeológico conceitual, elaborado para a região do Planalto de Poços de Caldas, que teve por base os dados geológicos, geotectônicos, geotermiais, a composição química e o tempo de residência das águas subterrâneas, além dos dados climatológicos. Conclui-se neste trabalho, que os conflitos causados pela ocupação do solo estão ligados à grande densidade urbana junto das fontes e às atividades da indústria, das minerações e de outros empreendimentos poluidores, localizados nas proximidades da zona urbana.

As fontes termais, com temperaturas da ordem de 40 a 44°C, são águas alcalinas bicarbonatadas, sódicas e sulfurosas.

Diferenciam-se das outras águas mais superficiais pelo aumento do total de sólidos dissolvidos e um pH alto, da ordem de 9 a 10.

A origem destas fontes termais está ligada a uma zona aquífera profunda, relacionada a um extenso sistema de fraturas.

6.8 – Hidrografia

O planalto de Poços de Caldas está situado geograficamente entre os contrafortes da Serra da Mantiqueira e a bacia sedimentar do Paraná. É uma área de rochas vulcânicas, intensamente fraturadas, que controlam o sistema hídrico. Esse sistema é recarregado principalmente pelas águas de chuvas que caem sobre o planalto.

O abastecimento de água do Município é feito hoje, exclusivamente, por captação superficial. A maior parte das águas que caem no Município é escoada através do Rio das Antas, o qual se lança no Rio Pardo.

A bacia do ribeirão dos Antas pertence ao domínio morfoestrutural do Planalto de Poços de Caldas, definido por CHISTOFOLETTI, citado por COMIG (2001), como um “modelado estrutural dômico com diques anelares”. Esses diques, que formam um anel quase completo delimitando as bordas do Planalto, têm expressão topográfica bem proeminente e constituem os limites da bacia do Antas na parte Sul (serra do Caracol) e na parte Norte (serras do Selado, de São Domingos e de Poços de Caldas).

No divisor norte, o ponto de maior altitude é de aproximadamente, 1.300m; a topografia é, em geral, pouco movimentada, com vertentes suaves e topos aplainados e os rios têm declividade média de 4m/km, no Antas e 5,5 m/km, no Cipó. Estas características de relevo são particularmente suavizadas na área de confluência dos ribeirões do Cipó e das Vargens com o ribeirão das Antas, na região do aeroporto e da fábrica da empresa ALCOA, onde se observam várzeas bem desenvolvidas e traçados dos rios acentuadamente sinuosos.

Contrastando com esse relevo mais suavizado, vê-se, no extremo oriental da bacia, uma área onde a topografia é intensamente movimentada. A abrangência desta área extrapola o divisor leste da bacia do Antas, englobando, praticamente, toda a região drenada pelos rios Taquaril e Verde e pelos ribeirões das Campinas e Curimbaba.

Conforme observações de CHISTOFOLETTI, citado por COMIG (2001), verificam-se, nesta parte da bacia, níveis altimétricos mais elevados, em torno de 1.400m, que culminam no morro do Ferro que se eleva a 1.491m; a drenagem mostra vales encaixados, com ruptura de declive, várzeas estreitas e pouco alongadas e vertentes que podem atingir declividades superiores a 20°.

O Rio das Antas é aproveitado atualmente para irrigação de terras situadas nas proximidades de suas margens, bem como para obtenção de uma parte da energia elétrica necessária ao consumo da cidade. No seu trajeto, o Rio das Antas é marcado por várias quedas d'água que constituem pontos turísticos tradicionais do Município.

O Ribeirão Ponte Alta é parcialmente regularizado pela Represa Saturnino de Brito que originalmente construída para a contenção de cheias na cidade, destina-se hoje também ao abastecimento de água.

Existe ainda, a bacia do Ribeirão da Serra, cujos pequenos afluentes descem a Serra de São Domingos, sendo alguns captados para abastecimento, a bacia do Córrego Vai-e-Volta e Ribeirão das Vargens.

6.9 – Condicionamento estrutural e água subterrânea

A ocorrência do magmatismo alcalino de Poços de Caldas foi condicionada à existência e reativação de uma zona de fraqueza do embasamento cristalino. No interior do Planalto, grande número de falhas corta o complexo, prolongando-se até as rochas do embasamento.

As rochas ígneas que constituem o maciço alcalino de Poços de Caldas são densas, compactas, não porosas e pouco permeáveis, condições estas limitantes para armazenamento e circulação de água. As condições para a formação de reservatórios de importância dependem do grau de alteração e do grau de fraturamento dessas rochas.

A ocorrência de água subterrânea na região de Poços de Caldas está condicionada, principalmente, aos sistemas de fraturamento desenvolvidos sobre as rochas do Complexo Alcalino. Especificamente, a circulação e o armazenamento das águas subterrâneas hipotermas e termas estão restritos ao sistema aquífero fraturado ou fissurado, cabendo aos aquíferos granulares superficiais apenas parte da restituição relativa as águas de temperaturas normais. A infiltração, o escoamento e o armazenamento das águas subterrâneas processam-se através das discontinuidades criadas ou reativadas pelos eventos tectônicos que afetaram a chaminé alcalina (COMIG, 2001).

Na área, segundo COMIG (2001), as possibilidades de armazenamento e circulação da água variam com o grau de fraturamento e de meteorização, fatores que influenciam substancialmente na porosidade e permeabilidade secundárias das rochas-reservatório, contribuindo para a formação de aquíferos de relativa importância.

A hidrogeologia local é caracterizada por três zonas aquíferas distribuídas em diferentes níveis de profundidade:

- uma zona aquífera rasa, de pequena profundidade, até um máximo 30 m;
- uma zona aquífera intermediária, que atinge de 100 a 200 m de profundidade;
- uma zona aquífera de circulação profunda, que pode atingir até 2 a 3 milhares de metros.

Ainda segundo COMIG (2001), a maior parte das fontes frias e das captações por poços tubulares estão relacionadas às duas primeiras zonas. A mais superficial, até 30m, comporta-se como um aquífero misto, desenvolvido sobre um manto de alteração das rochas vulcânicas, composto por material argiloso, com siltes e areia secundários, conservando ainda algumas estruturas da rocha original, como fraturas e planos de foliação/acamamento. As zonas intermediária e profunda apresentam o comportamento típico de um sistema aquífero fraturado. As fontes termais estão associadas à última zona. A Figura 26 mostra o esquema proposto por Scudino, citado por COMIG (2001), com ligeiras modificações, para as águas do Planalto.

Segundo COMIG (2001), os tipos de aquíferos encontrados são:

- Aquífero Granular:

Na área do Planalto de Poços de Caldas, as unidades geológicas que apresentam um comportamento de sistema aquífero granular constituem-se em um sistema bastante limitado, sob o ponto de vista hidrogeológico. A porção mais expressiva dessa unidade está relacionada ao manto de alteração resultante da ação do intemperismo sobre as rochas alcalinas. Essas seqüências mostram caráter predominantemente argiloso, que lhes confere um comportamento de litossomas de baixa permeabilidade, praticamente impermeáveis. Assim, geram um sistema aquífero de baixo potencial, podendo ser

comparadas a um aquífero. Os tipos litológicos são constituídos de argilas de cores vermelha e creme, compactadas, as vezes consistentes, provenientes da alteração dos minerais feldspatóides que, quando alterados, geram argilas do tipo caulinita. Os perfis dos poços tubulares inventariados na área revelam que esta unidade mostra uma espessura máxima de 30 metros. Na parte norte do Planalto, sob o domínio das litologias alumino-silicáticas, o manto de intemperismo é mais espesso. Nesse ambiente desenvolveram-se os depósitos de bauxita, com uma mineralogia onde se destacam os minerais aluminosos, como a gibsitita, o diásporo e a boemitha. Tais depósitos apresentam uma distribuição marcante, ocupando invariavelmente a posição topográfica da meia encosta para o topo das elevações. As crostas de bauxita, quando endurecidas, são impermeáveis ou pouco permeáveis, o que não favorece a infiltração e o armazenamento das águas subterrâneas. Os depósitos aluvionares, outra fácies do sistema aquífero granular na área em estudo, são inexpressivos ou inexistentes. Quando ocorrem, têm pequena espessura e composição argilosa. Tais características são próprias de sistemas de baixa permeabilidade. O perfil típico desses depósitos apresenta composição argilosa, onde se intercalam argilas pretas turfáceas e argilas vermelhas. Na área de ocorrência das fontes termais, há referências a um conglomerado ou cascalho, constituído de seixos e fragmentos de rochas envolvidos por uma matriz silicosa ou argilosa. Esse conglomerado foi escavado para construção da estrutura de captação das três nascentes do conjunto Pedro Botelho.

- **Aquífero Fraturado:**

O aquífero fraturado presente na área do Planalto de Poços de Caldas está associado aos processos magmáticos que deram origem à grande chaminé alcalina existente na região.

FIGURA 26: Sistema aquífero fraturado de Scudino, citado por COMIG (2001)

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. Grandes rupturas, abertas e profundas,

interconectadas hidraulicamente, têm circulação mais efetiva e maior capacidade de reservação. Em geral, os fraturamentos são mais intensos e abertos quando mais próximos à superfície, decrescendo progressivamente, em ambos os sentidos, com a profundidade. Entretanto, as zonas de fratura nem sempre são permeáveis, já que podem estar preenchidas por minerais de argila, especialmente em rochas como as do Complexo Alcalino, onde são comuns os processos de cloritização e bauxitização. Por outro lado, os planos de fratura podem estar também preenchidos por materiais provenientes de emanações fluídas ou de processos hidrotermais. Logo, a depender do tipo de material de preenchimento e da energia a que foram submetidos, diques, filões e veios podem atuar como uma capa drenante ou como barreiras impermeáveis.

A contribuição da água subterrânea para a descarga dos rios é bastante elevada. Isto se deve ao fato da bacia hidrográfica ser constituída por rochas ígneas fraturadas, permitindo assim uma grande circulação de água abaixo da superfície. Dessa maneira, surgem fontes nas cabeceiras de drenagem, a maioria de caráter permanente, cuja origem está relacionada com fraturas.

6.9.1 – Evolução físico-química das águas – origem dos constituintes.

As águas subterrâneas ocorrem em nascentes difusas e certo número de fontes pontuais frias ou termais, estas últimas localizadas principalmente na depressão de Poços de Caldas, o que permite identificar: uma zona aquífera rasa, de pequena profundidade; uma zona aquífera intermediária; e uma zona aquífera de circulação profunda. Às duas primeiras zonas estão relacionadas a maior parte das fontes frias e as águas exploradas em poços tubulares; à última zona estão associados as fontes termais (CRUZ & PEIXOTO, 1989).

As águas subsuperficiais do Planalto de Poços de Caldas refletem as condições do clima tropical chuvoso, com pequeno déficit hídrico, em uma bacia pequena, de trânsito rápido, na qual domina um solo eluvial resultante de intenso intemperismo. Nessas condições, as águas superficiais contêm apenas pequenas quantidades de sais provenientes das próprias precipitações, acrescidas de alguns componentes dissolvidos do solo, já bastante lixiviado. O processo de dissolução é comandado pelo conteúdo de CO₂ dissolvido na água. Como este conteúdo é pequeno

nas condições de pressão atmosférica, a capacidade de dissolução é reduzida. Em conseqüência, as águas superficiais têm baixa concentração de sais dissolvidos, dominando o bicarbonato de Na, Ca e Mg, em quantidades que não ultrapassam, em geral, 30 mg/l (CRUZ & PEIXOTO, 1991).

Os mesmos autores afirmam que a partir do momento em que as águas se infiltram, há dissolução de CO₂ e de ácidos húmicos provenientes da matéria orgânica do solo, aumentando sua acidez e conseqüente capacidade de dissolução. As águas subterrâneas da zona superficial, incluindo as nascentes e fontes frias, têm composição influenciada principalmente por este aumento de CO₂. São mais ácidas que as águas superficiais, o que permite o ataque às argilas e rochas alteradas, com incorporação de maior quantidade de Ca²⁺, Mg²⁺ e Na⁺.

Com o aumento da profundidade, ocorre uma lenta e progressiva elevação do pH, enriquecimento em HCO₃⁻, Na⁺, SO₄²⁻ e em sílica, acompanhado de uma alta concentração de fluoreto. Estas modificações, que se verificam com o percurso subterrâneo e com tempo de contato água/rocha, são máximas nas fontes termais de circulação profunda, mas se observa esta tendência desde a zona intermediária até 150 m – 200 m. Na zona intermediária, as águas subterrâneas perdem o caráter ácido e já apresentam francamente alcalinas, com um pH que pode alcançar o valor de 8,4 (CRUZ & PEIXOTO, 1991).

Com o objetivo de verificar o grau de solubilidade ou de reatividade da rocha com a água, CRUZ & PEIXOTO (1989) realizam alguns experimentos, sob condições controladas em laboratório, visando conhecer a contribuição à salinização das águas dos diferentes tipos de rocha do Complexo Alcalino. Além de investigar os processos de solubilização de determinados constituintes das águas subterrâneas, por lixiviação, buscou-se verificar a mobilidade de alguns elementos, especialmente os íons metálicos, e a facilidade com que podem ser incorporados às águas da região.

Quatro tipos de materiais dos mais representativos da área foram coletados – foiaíto, fonólito, tiguaíto brechado e material de preenchimento de veio.

O foiaíto é uma rocha de cor cinza-claro, textura fanerítica, granulação grossa. Os minerais proeminentes são feldspatos alcalinos – sanidina e anortoclásio.

O fonólito é de cor cinza-escuro, duro, compacto, não poroso, de granulação muito fina, textura holocristalina afanítica, constituído de feldspatos e piroxênio.

O tinguaito brechado é de cor cinza passando a esverdeado, granulação fina e de composição mineralógica semelhante à do foiaíto.

O material de preenchimento de veio é heterogêneo, constituído de um agregado fino, alterado, com manchas de óxido de ferro.

Em seguida foram triturados e imersos em água, sob diversas condições de temperatura e pH. As soluções resultantes para diferentes tempos (de 8 a 1.176 horas) foram analisadas a fim de verificar a proporção na qual os vários elementos foram liberados das rochas; quando o equilíbrio entre água e sólido foi alcançado para cada elemento; e se ocorreu contínua ou completa lixiviação da rocha. A composição das soluções experimentais foi, posteriormente, comparada com as das águas subterrâneas, em especial com as águas termais.

Os resultados mostraram que, entre os quatro materiais testados, o foiaíto foi a rocha mais reativa, seguida do tinguaito e em menor proporção o fonólito e o material alterado de preenchimento de veio.

Os referidos autores concluem então que há grande correspondência entre a composição química das águas subterrâneas e a composição das soluções de reações obtidas em laboratório para os quatro tipos de rochas representativas da região de Poços de Caldas. Os processos geológicos que atuaram na formação do complexo alcalino de Poços de Caldas – intrusão alcalina, atividade vulcânica e fase hidrotermal – foram muito favoráveis a uma ampla disseminação de minerais contendo flúor. O enriquecimento em fluoretos das águas subterrâneas com a profundidade deve-se à dissolução da própria rocha e do material das paredes das fraturas, na qual o aumento de temperatura da água contribui para intensificar o processo.

6.10 – Geomorfologia

A chaminé alcalina de Poços de Caldas está inserida em uma grande unidade geomorfológica denominada “Planaltos Dissecados do Sul de Minas”. Trata-se de uma unidade com relevo predominantemente montanhoso, com vales encaixados e de fundo plano, onde se formam extensas várzeas aluviais. As altitudes médias dentro dessa grande unidade variam em torno de 1000m, com elevações que podem alcançar até 1.800m e áreas planas, nas várzeas, com altitudes médias em torno de 800m. Nesse contexto, destaca-se o Maciço Alcalino de Poços de Caldas que, por sua importância econômica e histórica, recebeu a denominação de “Planalto de Poços de Caldas” (Figura 27). 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 o encaixamento da chaminé em uma zona de fraqueza do embasamento. Assim, o maciço é uma estrutura dômica individualizada, que se destaca nos Planaltos Dissecados do Sul de Minas, formado por atividade vulcânica, facilitada por uma zona de fraqueza do embasamento, em área condicionada por fatores estruturais, em terrenos onde predominou uma morfogênese do tipo erosivo, sobre rochas com conspícuas formas estruturais superpostas (COMIG, 2001).

Particularmente, o Planalto de Poços de Caldas possui três ambientes geomorfológicos típicos: uma zona externa formada por terrenos de relevo movimentado, com elevações de topo arredondado e cotas entre 900 e 1000m; uma faixa intermediária, constituída de cristas e serras, disposta em estrutura anelar, que dá forma às bordas da chaminé vulcânica. Esse relevo é resultado do encaixamento do maciço alcalino. Suas elevações podem atingir a 1.700m; finalmente, uma zona interna de relevo montanhoso a suave montanhoso.

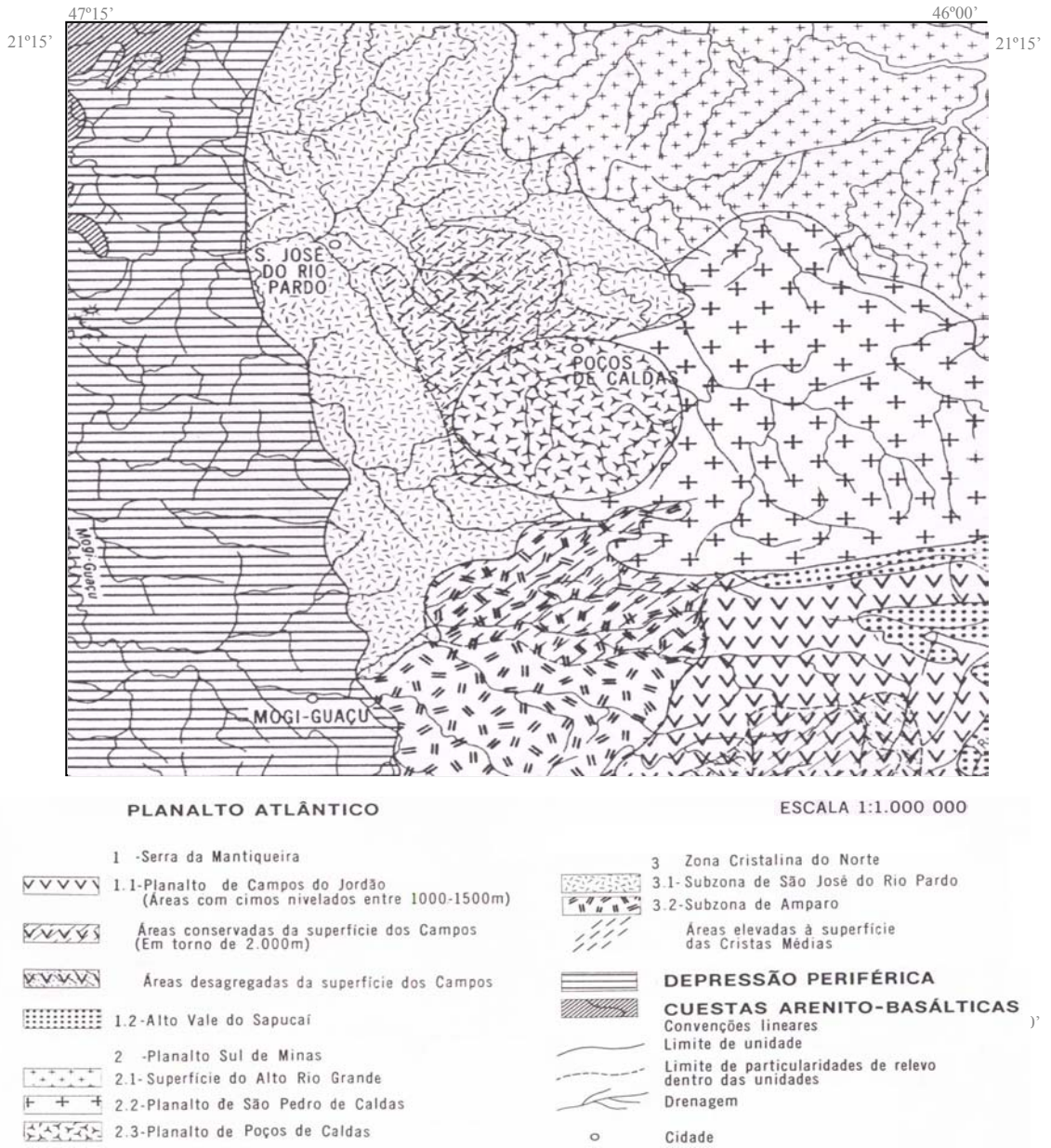


FIGURA 27: Mapa Geomorfológico contendo a área objeto do estudo. Modificado de BRASIL-DNPM (1979).

7 – REPRESENTAÇÕES CARTOGRÁFICAS

7.1 – Modelo digital de terreno

7.1.1 – Levantamento e tratamento dos dados cartográficos já existentes.

O Município de Poços de Caldas dispõe de uma restituição oriunda de levantamento aerofotogramétrico relativamente recente, contemplando toda a área municipal na escala 1:10.000 e a área urbana na escala 1:2.000. As pranchas contendo este levantamento encontravam-se em meio digital, formato DWG, porém articuladas. A unificação dos arquivos para a produção de base cartográfica única foi efetuada com o uso do *software* AutoDesk Map 2002. Diversos níveis de informação não concernentes ao trabalho foram suprimidos. Divergências encontradas nas isolinhas foram corrigidas acessando e reeditando os atributos destas representações vetoriais.

Inicialmente, optou-se por trabalhar apenas com a representação e processamento dos dados inseridos no limite municipal, objetivando minimizar o tempo de execução das tarefas e obter maior performance dos programas e equipamentos. Porém, segundo AMORIM (2003), a experiência do grupo de trabalho de cartografia geotécnica da EESC/USP demonstra que o aumento da superfície digitalizada além dos limites da área de interesse melhoram sensivelmente o resultado alcançado na construção dos MNT's. Isso ocorre porque os interpoladores trabalham com malhas retangulares, assim áreas irregulares, terão seu MNT afetado nas bordas. Desta forma, visando manter os objetivos iniciais sem prejudicar a qualidade dos produtos, procedeu-se à digitalização dos dados contidos além dos limites municipais, obtidos a partir de cartas do IBGE, escala 1:50.000, delimitados externamente por um polígono de ângulos internos menores que 180°. Estes dados, após a digitalização, necessitaram de um tratamento cartográfico, que consistiu na mudança do elipsóide de Córrego Alegre para SAD-69.

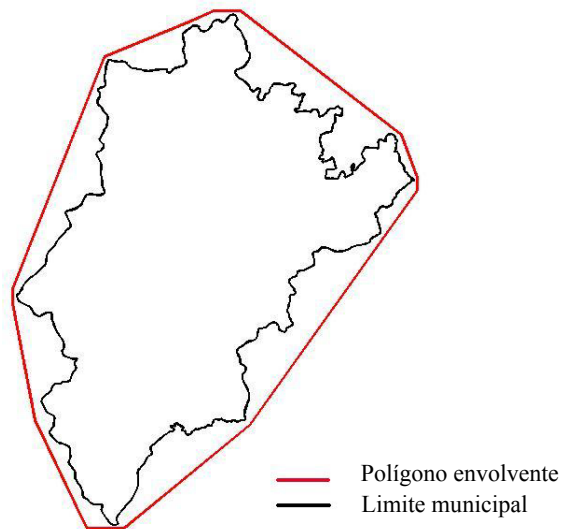


FIGURA 28: Limite municipal e polígono envolvente.

7.1.2 – Geração do modelo numérico de terreno.

Um Modelo Numérico de Terreno (MNT) é uma representação matemática computacional da distribuição de um fenômeno espacial que ocorre dentro de uma região da superfície terrestre. Dados de relevo, informações geológicas, levantamentos de profundidades do mar ou de um rio, informações meteorológicas e dados geofísicos e geoquímicos são exemplos típicos de fenômenos representados por um MNT.

Alguns dos principais usos dos MNT's são:

- Armazenamento de dados de altimetria para gerar mapas topográficos;
- Análises de corte-aterro para projeto de estradas e barragens;
- Elaboração de mapas de declividade e exposição para apoio a análise de geomorfologia e erodibilidade;
- Análise de variáveis geofísicas e geoquímicas;
- Apresentação tridimensional (em combinação com outras variáveis).

Para a representação de uma superfície real no computador é indispensável a elaboração e criação de um modelo digital, que pode estar representado por equações analíticas ou por uma rede de pontos (grade).

A amostragem deve ser representativa do comportamento do fenômeno que se está modelando. Uma subamostragem pode gerar modelos pobres, enquanto que uma superamostragem pode sobrecarregar o sistema.

O tratamento das isolinhas e pontos cotados, devidamente preparados conforme descrito anteriormente, permite a construção do MNT. Para o estudo em questão optou-se pelo desenvolvimento do MNT com o emprego do *software* SPRING.

O método escolhido foi o de gerar inicialmente uma grade irregular triangular – TIN (*Triangular Irregular Network*). O processo de geração compreende a construção de uma malha, regular ou irregular, e a definição de funções interpolantes locais.

Essas funções são definidas para cada elemento da malha. Assim, para cada elemento básico da grade, define-se uma função interpolante que é válida para os pontos internos ao elemento.

Esse processo é conhecido como ajuste de superfície. Cada função de ajuste, geralmente um polinômio, é definida utilizando-se os vértices dos elementos e em muitos casos os vértices dos elementos vizinhos também.

No presente trabalho foi aplicado o critério de triangulação de Delaunay, que é o de maximização dos ângulos mínimos de cada triângulo, ou seja, uma malha final contendo triângulos o mais próximo de equiláteros possível, evitando-se a criação de triângulos com ângulos internos muito agudos. A partir da grade triangular foi gerada uma grade retangular, adotando-se para este estudo uma resolução de 5 metros.

7.1.3 – Geração de imagem de modelo digital de terreno sombreada.

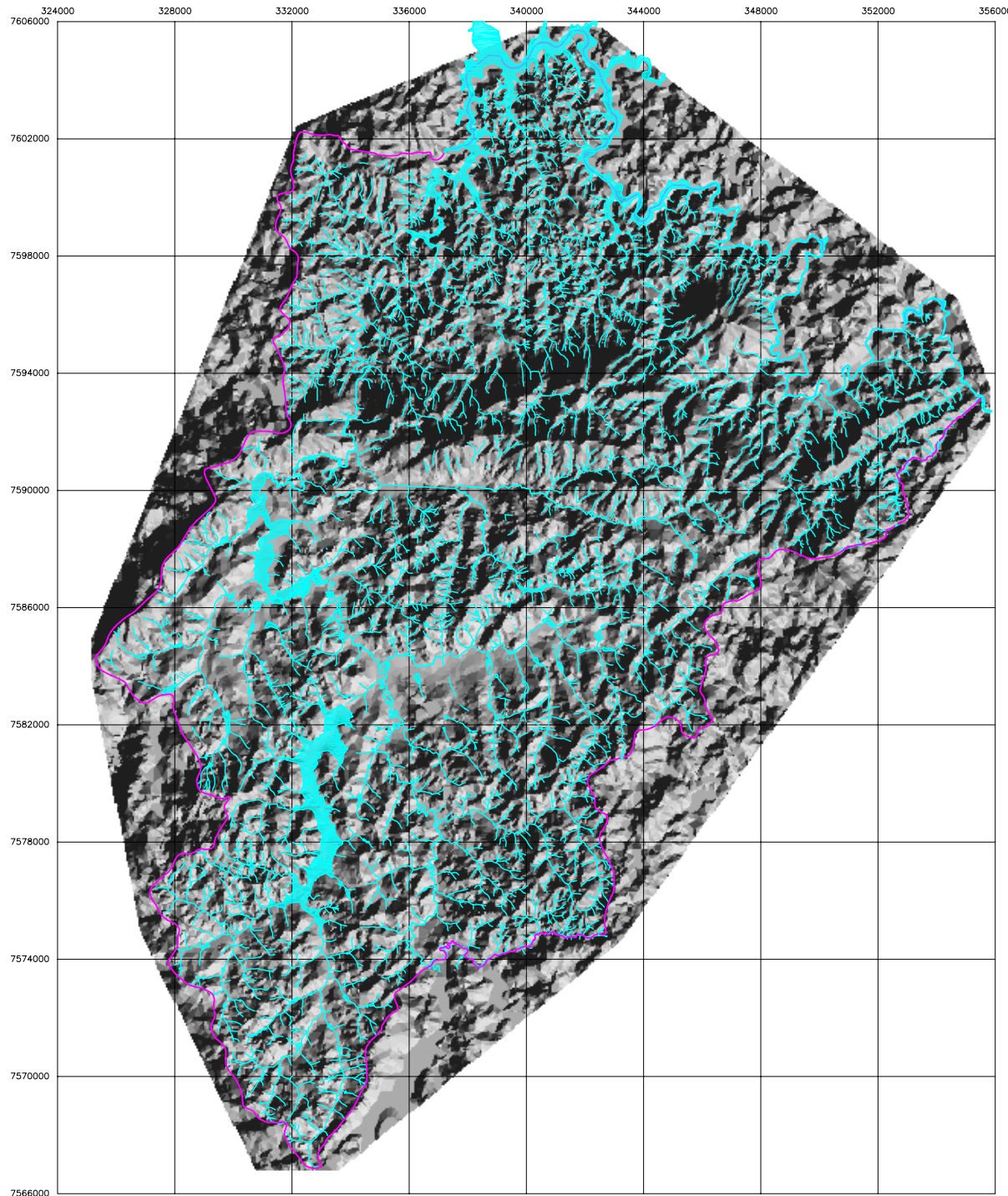
A partir de um MNT pode-se criar imagens digitais em níveis de cinza e imagens sombreadas. Uma imagem digital sombreada é gerada a partir do MNT e do posicionamento, em relação à superfície, de uma fonte de iluminação local. Assim, para cada ponto do modelo pode-se definir um vetor normal a superfície N , e um vetor de iluminação I que parte do ponto da superfície e aponta para a fonte de iluminação. A partir desses dois valores pode-se calcular um valor de intensidade de iluminação.

Uma imagem digital em níveis de cinza é gerada diretamente do mapeamento dos valores de cota do modelo para valores de nível de cinza. Supondo-se

que cada pixel da imagem de nível de cinza é representada por 8 bits, pode-se mapear os valores de cota para valores de nível de cinza de 0 a 255.

Através de um equacionamento os valores de cota do fenômeno representado são mapeados para valores de 1 a 255 da imagem. O valor de nível de cinza igual a 0 é usado em áreas onde não existe definição do valor de cota para o modelo.

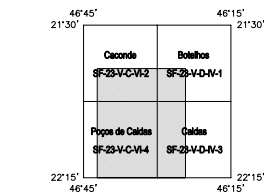
Estes modelos permitem uma percepção qualitativa global da variação do fenômeno representado pelo modelo digital de terreno.



LEGENDA

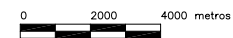
- LIMITE MUNICIPAL
- CURSOS D'ÁGUA

ARTICULAÇÃO DA BASE CARTOGRÁFICA

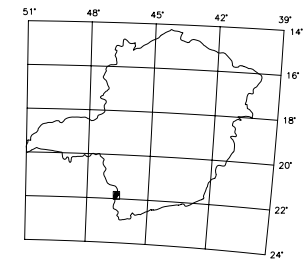


Declinação magnética
 $\delta = 20^{\circ}48'19''W$
 Variação anual: $00^{\circ}10'34''W$
 $\gamma = 00^{\circ}34'09''$
 Jan/1997

Escala: 1:150.000



LOCALIZAÇÃO DA ÁREA NO ESTADO



Sistema de projeção: Universal Transverso de Mercator - UTM
 Elipsóide: SAD-69
 Meridiano central: 45° W. Gr.
 Carta produzida a partir de restituição do levantamento aerofotogramétrico, escala 1:10.000, de voo realizado em 1997, complementado com cartas do IBGE, folhas Caconde, Poços de Caldas, Botelhos e Caldas, digitalizadas e vetorizadas.



| | | |
|--|---|---|
|  | <p>Universidade Federal de São Carlos</p> |  |
| <p>Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana</p> | | |
| <p><i>Proposta de metodologia para elaboração de cartas de conflito de uso baseada em banco de dados geográficos como subsídio à gestão territorial, aplicada ao Município de Poços de Caldas (MG)</i></p> | | |
| <p>IMAGEM DE MODELO DIGITAL DE TERRENO SOMBREADA</p> | | |
| <p>Misael de Mendonça Orientador: Prof. Dr. Reinaldo Lorandi</p> | | <p>Fevereiro/2004</p> |

FIGURA 29: Imagem de modelo digital de terreno sombreada.

7.2 – Carta de Hipsometria

A partir do modelo numérico de terreno descrito no item 7.1.2, foi possível obter a Carta de Hipsometria fazendo-se uso da ferramenta de MNT “fatiamento” do *software* SPRING. O fatiamento de um modelo consiste em se definir intervalos, ou fatias, de cotas com a finalidade de se gerar uma imagem temática a partir do modelo. Assim, cada tema, ou classe, da imagem temática é associado a um intervalo de cotas dentro dos valores atribuídos ao fenômeno modelado.

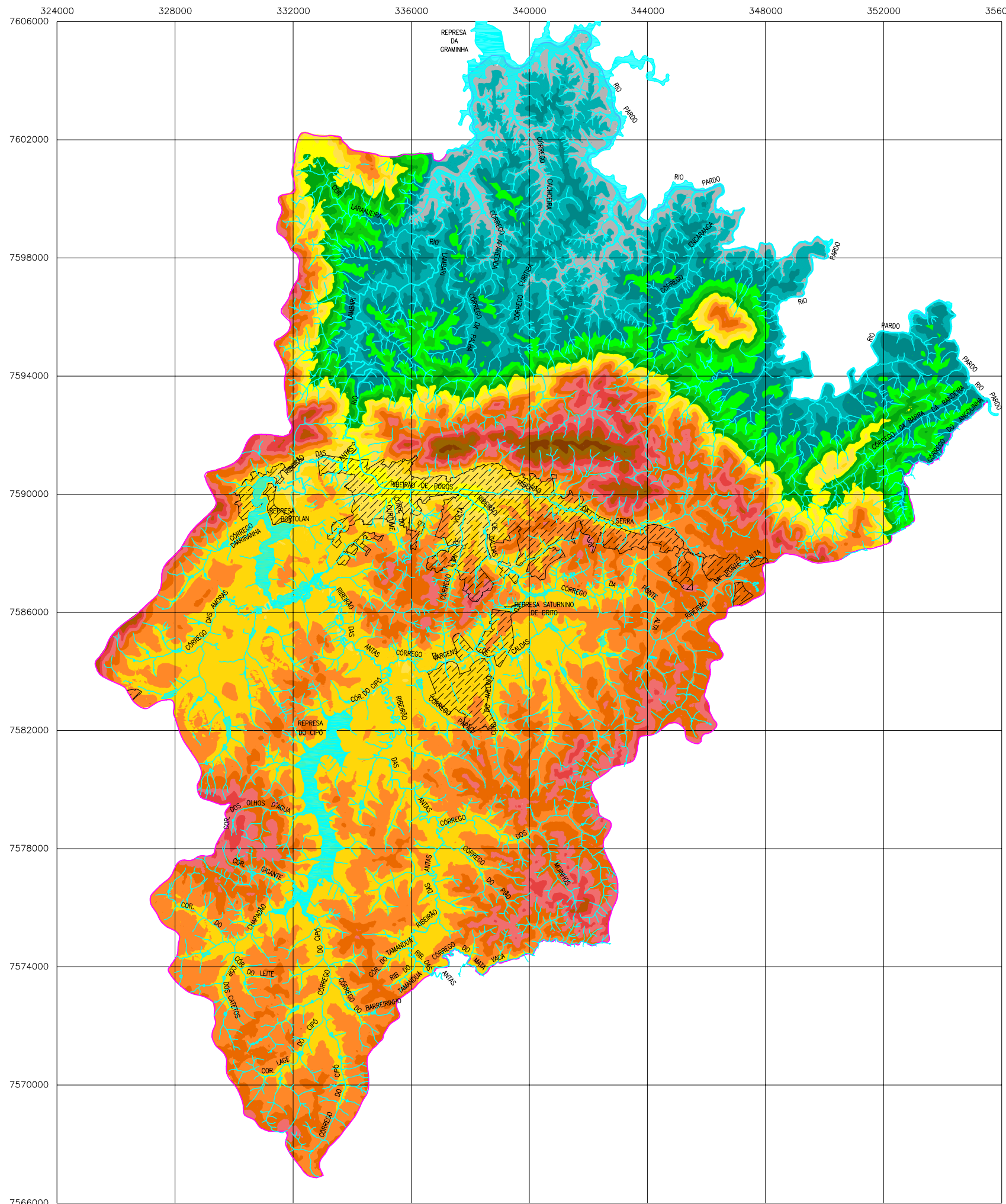
A representação gráfica obtida pertence a uma categoria temática. Assim, foram obtidas 20 classes com amplitude de 50 metros.

Esta carta permite uma rápida percepção da variação das altitudes da área de estudo, além da identificação do percentual de área em cada classe, conforme a Tabela 8.

TABELA 8: Classes hipsométricas.

| Classe (m) | Percentual da área de estudo |
|-------------|------------------------------|
| 850 a 900 | 4,14 |
| 900 a 950 | 8,39 |
| 950 a 1000 | 7,34 |
| 1000 a 1050 | 4,12 |
| 1050 a 1100 | 2,53 |
| 1100 a 1150 | 1,99 |
| 1150 a 1200 | 2,70 |
| 1200 a 1250 | 3,88 |
| 1250 a 1300 | 22,81 |
| 1300 a 1350 | 21,47 |
| 1350 a 1400 | 12,04 |
| 1400 a 1450 | 5,30 |
| 1450 a 1500 | 2,08 |
| 1500 a 1550 | 0,72 |
| 1550 a 1600 | 0,36 |
| 1600 a 1638 | 0,13 |

Identifica-se através da Tabela 8 que a maior parcela de áreas do município se encontra entre 1250 e 1400 metros de altitude e que se concentram na porção centro-sul do município.



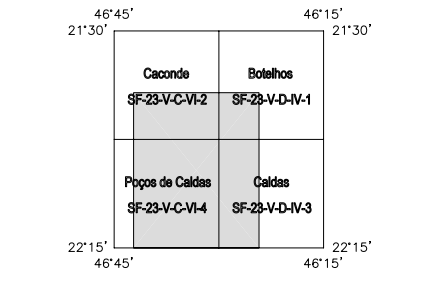
LEGENDA

- LIMITE MUNICIPAL
- ÁREA URBANA
- CURSOS D'ÁGUA

CLASSES HIPSONÉTICAS

- 850 a 900 m
- 900 a 950 m
- 950 a 1000 m
- 1000 a 1050 m
- 1050 a 1100 m
- 1100 a 1150 m
- 1150 a 1200 m
- 1200 a 1250 m
- 1250 a 1300 m
- 1300 a 1350 m
- 1350 a 1400 m
- 1400 a 1450 m
- 1450 a 1500 m
- 1500 a 1550 m
- 1550 a 1600 m
- 1600 a 1638 m

ARTICULAÇÃO DA BASE CARTOGRÁFICA

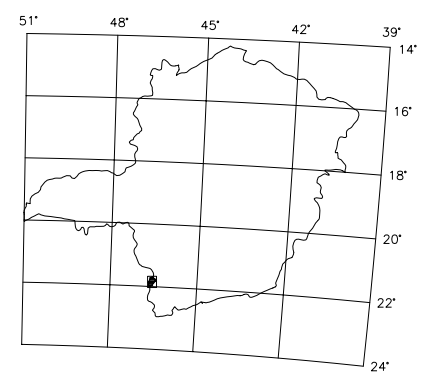


Declinação magnética
 $\delta = 20^{\circ}48'19''W$
 Variação anual: $00^{\circ}10'34''W$
 $\gamma = 00^{\circ}34'09''$
 Jan/1997

Escala: 1:150.000

Equidistância das curvas de nível: 20 metros

LOCALIZAÇÃO DA ÁREA NO ESTADO



Sistema de projeção: Universal Transverso de Mercator - UTM
 Elipsóide: SAD-69
 Meridiano central: 45° W. Gr.

Carta produzida a partir de modelagem numérica de terreno obtida com isolinas com equidistância de 20 metros e pontos cotados, empregando-se o software SPRING.

| | | |
|---|---|-------------|
| | Universidade Federal de São Carlos | |
| Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana | | |
| <i>Proposta de metodologia para elaboração de cartas de conflito de uso baseada em banco de dados geográficos como subsídio à gestão territorial, aplicada ao Município de Poços de Caldas (MG)</i> | | |
| CARTA DE HIPSONETRIA | | |
| Misael de Mendonça Orientador: Prof. Dr. Reinaldo Lorandi | | Agosto/2003 |

FIGURA 30: Carta de Hipsometria.

7.3 – Carta de Declividades

Segundo BRASIL-INPE (2004), declividade é a inclinação da superfície do terreno em relação ao plano horizontal. Considerando um modelo numérico de terreno (MNT) de dados altimétricos extraídos de uma carta topográfica e traçando um plano tangente a esta superfície num determinado ponto (P), a declividade em P corresponderá a inclinação deste plano em relação ao plano horizontal.

Em algumas aplicações geológicas e geomorfológicas é necessário encontrar regiões pouco acidentadas ou regiões que estejam expostas ao sol durante um determinado período do dia. Para responder estas questões a declividade conta com duas componentes: o gradiente e a exposição. O gradiente é a taxa máxima de variação no valor da elevação, e pode ser medido em grau (0 a 90°) ou em porcentagem (%). No SPRING é referenciado como declividade, e a exposição é a direção dessa variação medida em graus (0 a 360°) (BRASIL-INPE, 2004).

Verifica-se a multiplicação das cartas topográficas obtidas a partir dos levantamentos aerofotogramétricos, o que sem dúvida tem facilitado a elaboração de cartas de declividade para uso no planejamento regional.

Objetivando a melhor visualização das declividades de vertentes e ao maior realce das áreas de declividades homogêneas, DE BIASI (1970) apresenta uma técnica para transformação de uma carta topográfica em carta de declividade, onde primeiramente deve-se estabelecer as classes de declividade em função do tipo de relevo, da precisão que se queira dar ao trabalho, das características que se deseja destacar. Desta forma, DE BIASI (1970) sugere a construção de um ábaco das declividades, onde estarão representadas as classes, o qual dependerá da equidistância e do espaçamento das curvas de nível. Deslocando-se o ábaco entre duas curvas de nível procura-se qual o segmento do ábaco coincidirá com a distância entre as duas curvas de nível. A superfície da carta compreendida entre duas curvas de nível e duas linhas de maior declive corresponde aos limites das classes.

Embora esta metodologia ainda seja empregada por alguns profissionais, que afirmam ser um procedimento isento de erros ainda existentes em processamentos computacionais, além de uma maior reconhecimento da área de estudo, o método computacional reveste-se de algumas vantagens:

- rendimento: considerando que muitas bases cartográficas já se encontram em meio digital, pode-se processar grandes áreas em um prazo curto;
- utilização em processos de álgebra de mapas: objetivando, junto com outros mapas temáticos, obter outros produtos cartográficos, uma vez que o produto do método computacional é uma imagem matricial;
- utilização de pontos cotados: muito comuns nas cartas topográficas, os pontos cotados aumentam a precisão de um modelo numérico de terreno, conferindo uma reprodução mais próxima da situação real;
- fácil reprodução;
- fácil quantificação das áreas de cada classe.

Desta forma, neste trabalho, além das vantagens relatadas, acrescenta-se o fato de que a proposta é de um banco de dados geográfico, tendo sido aplicada ferramenta “declividade” disponível no *software* SPRING.

Este recurso é utilizado a partir de uma prévia elaboração de um modelo numérico de terreno. Defini-se a resolução e unidade dos dados de saída, obtendo como resultado um novo modelo numérico, representado por uma matriz, ou seja, uma grade retangular, com valores distribuídos sobre toda a área com correspondência no modelo numérico inicial.

O modelo numérico contendo os valores de declividade é então submetido a um fatiamento em classes pré-definidas, resultando em uma representação gráfica temática passível de integração com outros mapas e cartas, através de procedimentos de álgebra de mapas, produzindo novas cartas, como por exemplo, a Carta de Potencial de Escoamento Superficial.

O reconhecimento da declividade reveste-se de fundamental importância no estabelecimento dos tipos de uso para uma região. ZUQUETTE (1987), após consultas a várias referências bibliográficas sobre o assunto, apresenta uma série de tabelas que representam os valores de declividade que limitam as diversas ocupações do meio físico:

TABELA 9: Declividade e tipo de ocupação segundo CROFTS, citado por ZUQUETTE (1987).

| Declividade (%) | Tipo de ocupação |
|-----------------|---|
| 1 | Aeroportos internacionais |
| 2 | Aeroportos locais e redes ferroviárias principais |
| 4 | Estradas principais |
| 5 | Maquinaria agrícola de plantio e colheita – início erosão |
| 8 | Residências, estradas, desenvolvimento urbano e industrial |
| 9 | Máximo absoluto para ferrovias |
| 10 | Desenvolvimento industrial e urbano em grande escala Máquinas e tratores pesados |
| 15 | Tratores padrões |
| 20 | Absoluta para residências, máquinas e estradas |

TABELA 10: Limites de declividade utilizados pelo *Geological Survey*, citado por ZUQUETTE (1987).

| Declividade (%) | Tipo de ocupação |
|-----------------|---|
| 1 a 2 | Aeroportos |
| 1 a 15 | Uso urbano geral |
| 10 | Máximo para rede do sistema de saneamento |
| 25 | Máximo para estruturas de engenharia |
| 15 | Máximo para residências convencionais |
| 3 | Máximo para ferrovias |
| 4 | Máximo para rodovias interestaduais |
| 12 | Máximo para estradas em perímetro urbano |
| 5 | Máximo para centros comerciais |
| 1 a 50 | Uso como áreas de recreação |
| 45 | Máximo para operar veículos tracionados |

TABELA 11: Limites de declividade propostos por COOKE & DOORNKAMP, citado por ZUQUETTE (1987).

| Declividade (%) | Tipo de ocupação |
|-----------------|---|
| 1 | Aeroportos internacionais |
| 2 | Estradas de ferro de passageiros e cargas, máximo para veículos de carga sem reduzir velocidade, aeroportos locais, e menos que este valor problemas com drenagem |
| 4 | Estradas principais |
| 5 | Máquinas agrícolas, erosão começa a ser significativa, e densidade elevada de ocupação com habitações |
| 6 | Habitações e estradas, declive excessivo para o desenvolvimento urbano, e áreas de recreio intensivo |
| 9 | Máquinas agrícolas pesadas e projetos industriais de grandes dimensões |
| 15 | Desenvolvimento local e tratores com esteiras |
| 20 | Habitações individuais |

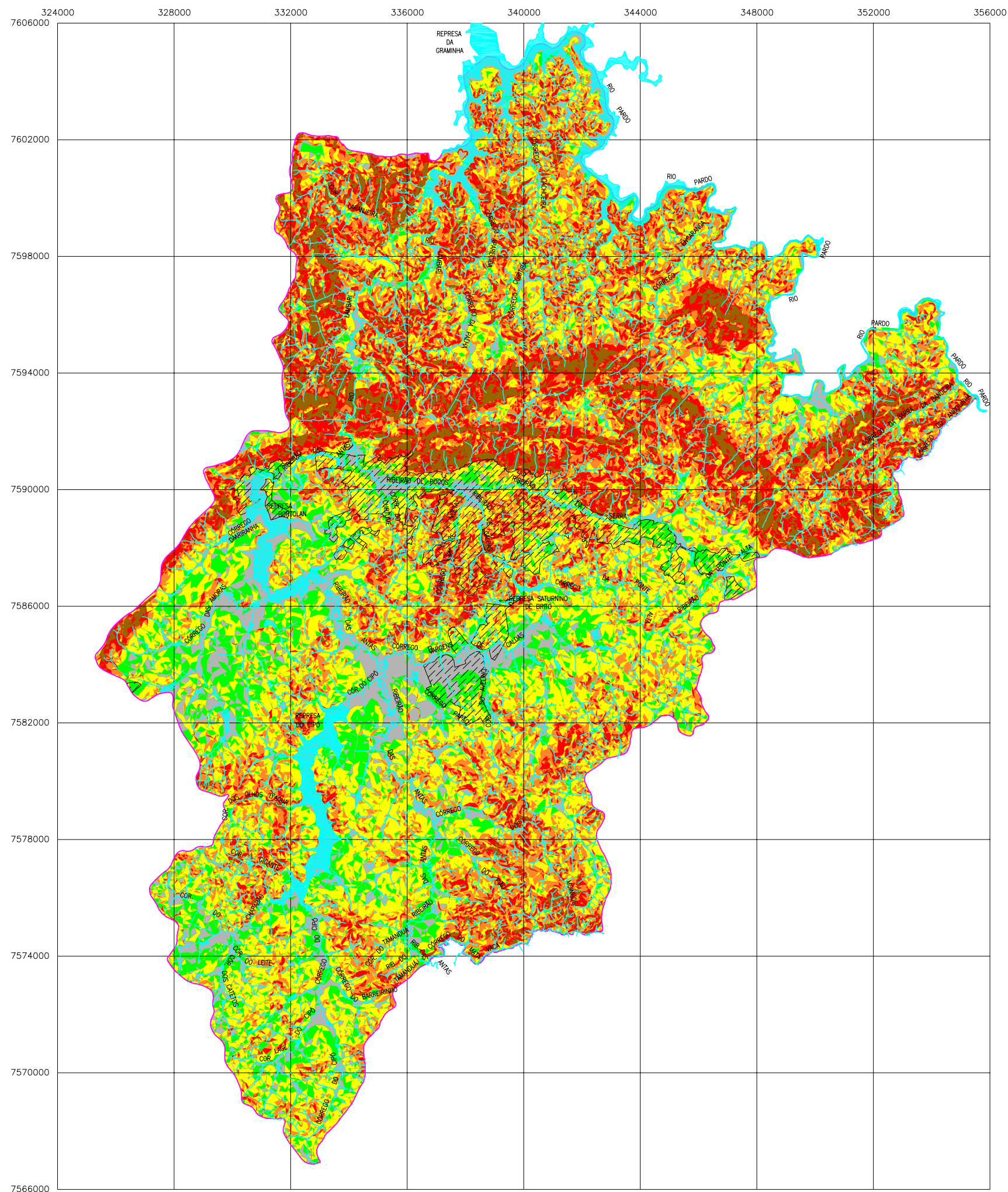
No Brasil, a legislação ambiental estabelece como de preservação permanente áreas com declividade superior a 45%. A legislação urbanística do

município de Poços de Caldas estabelece faixas de declividade para fixar a área mínima de lotes e a categoria das vias de circulação. Em se tratando da área objeto de estudo, foram adotadas as classes estabelecidas pela legislação municipal, conforme Tabela 12.

TABELA 12: Classes de declividade e percentual de área ocupada.

| Classe de declividade | Total de área ocupada (%) |
|-----------------------|---------------------------|
| 0,00 a 5,00 % | 18,93 |
| 5,01 a 10,00 % | 10,26 |
| 10,01 a 20,00 % | 25,80 |
| 20,01 a 30,00 % | 21,46 |
| 30,01 a 45,00 % | 16,10 |
| > 45,00 % | 7,45 |







Em uma rápida análise da Tabela 12 é possível identificar a predominância de declividades entre 10% e 30%, estabelecendo-se então a importância deste documento cartográfico no que diz respeito às limitações das possíveis ocupações.



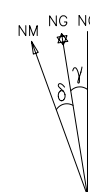
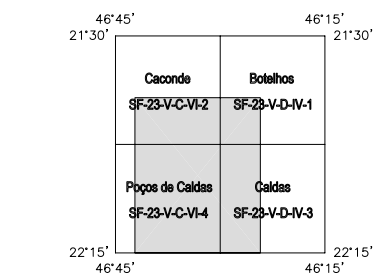
LEGENDA

-  LIMITE MUNICIPAL
-  ÁREA URBANA
-  CURSOS D'ÁGUA

CLASSES DE DECLIVIDADE

-  0,00 a 5,00 %
-  5,01 a 10,00 %
-  10,01 a 20,00 %
-  20,01 a 30,00 %
-  30,01 a 45,00 %
-  > 45,00 %

ARTICULAÇÃO DA BASE CARTOGRÁFICA



Declinação magnética
 $\delta = 20^{\circ}48'19''W$
 Variação anual: $00^{\circ}10'34''W$
 $\gamma = 00^{\circ}34'09''$
 Jan/1997

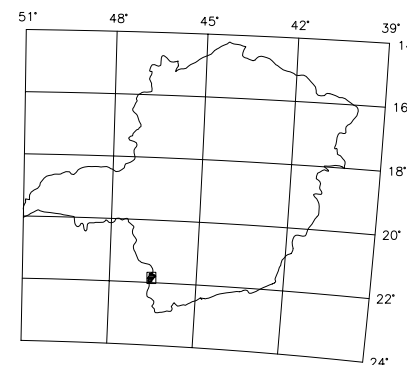
Escala: 1:150.000

0 2000 4000 metros



Equidistância das curvas de nível: 20 metros

LOCALIZAÇÃO DA ÁREA NO ESTADO



Sistema de projeção: Universal Transverso de Mercator - UTM
 Elipsóide: SAD-69
 Meridiano central: 45° W. Gr.

Carta produzida a partir de modelagem numérica de terreno obtida com isolinas com equidistância de 20 metros e pontos cotados, empregando-se o software SPRING.



| | | |
|---|------------------------------------|---|
|  | Universidade Federal de São Carlos |  |
| Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana | | |
| <i>Proposta de metodologia para elaboração de cartas de conflito de uso baseada em banco de dados geográficos como subsídio à gestão territorial, aplicada ao Município de Poços de Caldas (MG)</i> | | |
| CARTA DE DECLIVIDADES | | |
| Misael de Mendonça Orientador: Prof. Dr. Reinaldo Lorandi | Março/2004 | |

FIGURA 31: Carta de Declividades.

7.4 – Mapa de Rede de Drenagem e Recursos Hídricos

O sistema de drenagem de uma bacia é constituído pelo rio principal e seus afluentes tributários, sendo que, o estudo das ramificações e do desenvolvimento do sistema de drenagem é importante, pois ele indica a maior ou menor velocidade com que a água deixa a bacia hidrográfica (FONTES, 2004).

Segundo CHRISTOFOLETTI, citado por FONTES (2004), uma bacia hidrográfica é definida como sendo a área drenada por um determinado rio ou por um sistema fluvial, constituída por um conjunto de canais de escoamento inter-relacionados que compõe a drenagem fluvial. A quantidade de água que atinge os cursos fluviais depende do tamanho da área ocupada pela bacia, da precipitação total e seu regime e das perdas devidas à evapotranspiração e à infiltração. A análise morfométrica de uma bacia hidrográfica inicia-se pela ordenação dos canais fluviais com a finalidade de estabelecer a hierarquia fluvial. Os padrões de drenagem referem-se ao arranjo espacial dos cursos fluviais que podem ser influenciados em sua atividade morfogenética pela natureza e disposição das camadas rochosas, pela resistência litológica variável, pelas diferenças de declividade e pela evolução geomorfológica da região.

FONTES (2004) assevera ainda que em 1987 o engenheiro Otto Pfafstetter desenvolveu uma metodologia com o objetivo de compartimentar e codificar bacias hidrográficas, sejam elas de qualquer tamanho. Inicialmente foi utilizado pela Secretaria Nacional de Irrigação, sendo adotado no Cadastro Nacional de Irrigantes. Em 1998 a Secretaria de Recursos Hídricos realizou projeto objetivando elaborar uma base digital de classificação das bacias hidrográficas brasileiras, com a participação do IBAMA e apoio técnico do *United States Geological Survey* – USGS. A importância e utilidade do método foram reconhecidas pelo USGS, que atualmente desenvolve um projeto específico para as Nações Unidas de codificação das bacias hidrográficas para os diversos continentes, com o objetivo de atender às necessidades de estruturação de uma base de dados hidrológica digital sistemática.

Segundo Otto Pfafstetter, citado pela mesma autora, esta metodologia consiste na compartimentação e codificação de bacias hidrográficas, onde, através do estudo do sistema de drenagem, é feita uma distribuição entre o rio principal e os seus principais afluentes. A partir daí, são individualizados os quatro maiores tributários, de acordo com o critério da área drenada, classificados como bacias e que recebem os

algarismos pares 2, 4, 6 e 8, na ordem em que são encontradas de jusante para montante, ao longo do rio principal. Em seguida, os demais tributários do rio principal são agrupados nas áreas restantes, classificadas como regiões hidrográficas (interbacias), que recebem na ordem em que são encontradas de jusante para montante ao longo do rio principal, os algarismos ímpares 1, 3, 5, 7 e 9. Estas unidades podem ser submetidas a uma nova compartimentação. Para tanto, é assumido como foz o ponto de descarga da bacia a ser dividida. A análise é realizada sempre da foz para montante, identificando todas as confluências e distinguindo o rio principal de seus tributários. O rio principal é aquele curso d'água que drena a maior área, e os tributários, os demais que drenam áreas menores. Às novas subdivisões são adicionados ao primeiro código atribuído, os algarismos conforme a classificação da unidade em bacia ou interbacia.

Desta forma, o Conselho Nacional de Recursos Hídricos, usando de suas atribuições legais, considerando a importância da redefinição da sistemática de codificação de bacias hidrográficas para a Política Nacional de Recursos Hídricos e a necessidade de se adotar uma metodologia de referência que permita procedimentos padronizados de subdivisões e agrupamentos de bacias e regiões hidrográficas, define, através da Resolução nº 30, de 11 de dezembro de 2002, que será adotada para efeito de codificação de bacias hidrográficas no âmbito nacional, a metodologia de compartimentação e codificação de bacias hidrográficas definidas pelo engenheiro Otto Pfafstetter.

Pires & Santos, citado por AMORIM (2003), ressalta que as abordagens do planejamento do uso do solo baseada em critérios econômicos clássicos tem falhado por não reconhecer o conflito entre metas de desenvolvimento econômico e a capacidade de suporte dos ecossistemas. A bacia de drenagem funciona como unidade de planejamento e gerenciamento, pois integra os aspectos ambientais, econômicos e políticos.

Partindo-se do pressuposto que as bacias hidrográficas podem ser caracterizadas de forma a permitir uma análise quanto às restrições, potencialidades e impactos no que se refere aos diferentes tipos de uso, seja urbano, agropecuário ou extrativista, e que os horizontes menos profundos de solo estão bastante sujeitos à dinâmica superficial nestas bacias, adotou-se a subdivisão da área de estudo em

unidades de áreas menores, compostas pela subdivisão das bacias e interbacias contidas total ou parcialmente na área maior.

A definição destas unidades hidrográficas compostas por subbacias foi possível através da identificação dos divisores de águas dos principais cursos a partir da integração da representação topográfica e hidrográfica, bem como levantamento de campo com auxílio de GPS.

7.4.1 – Mapa de Mananciais

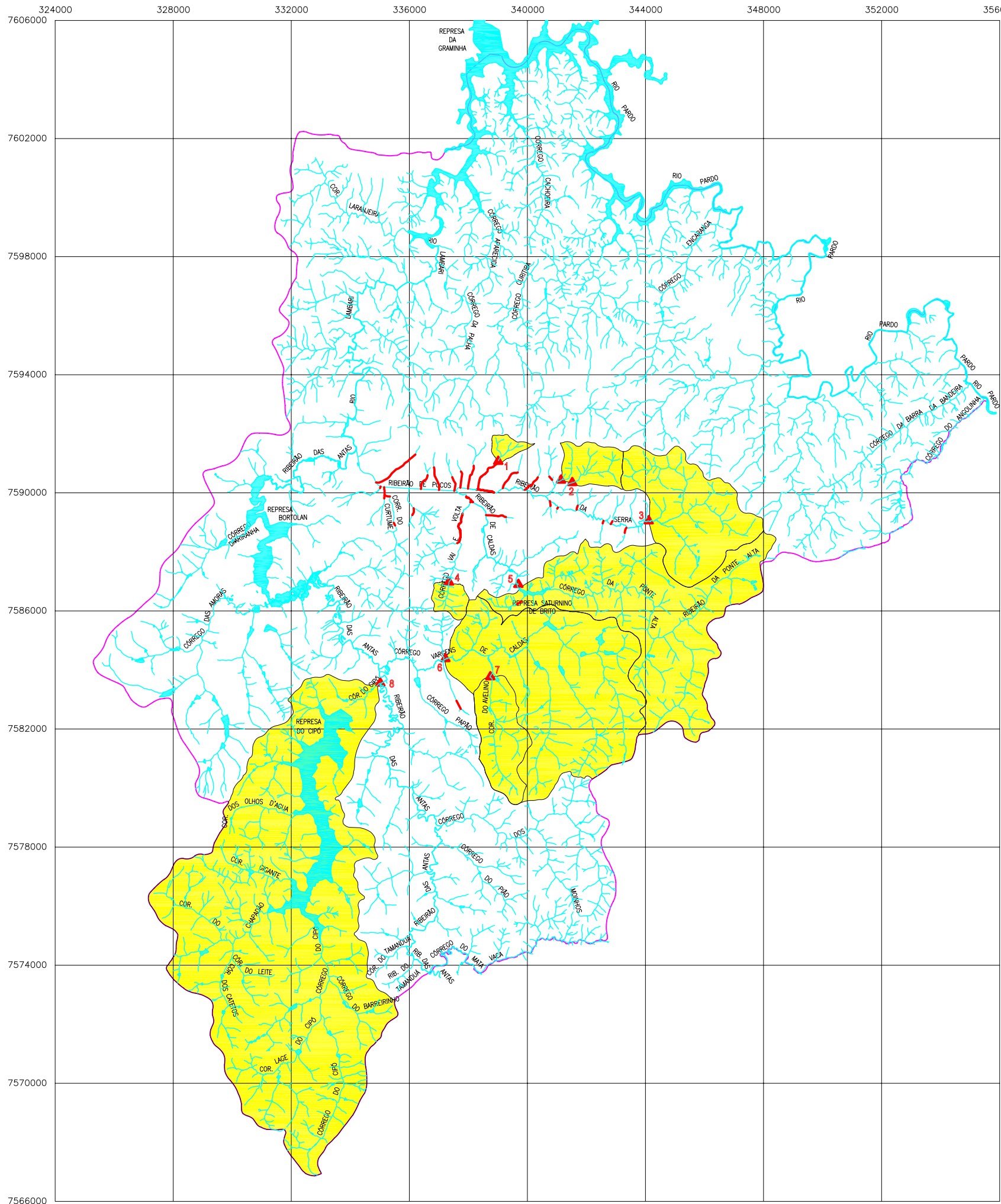
Os mananciais atualmente utilizados pelo sistema de abastecimento de água existente são: ribeirão da Serra, represa Saturnino de Brito, córrego do Machado, Marçal Santos, córregos José Avelino, Vai e Volta, Várzea de Caldas e ribeirão do Cipó.

Alguns desses mananciais encontram-se comprometidos em função de suas baixas capacidades, diversos problemas de assoreamento, localização indevida (regiões urbanizadas), dentre outros.

A definição das áreas de mananciais foi feita delimitando a bacia de contribuição a partir do ponto de captação.

A identificação dos pontos de captação e da área que representa a bacia do respectivo manancial reveste-se de fundamental importância considerando o abastecimento de água como um dos principais fatores para a manutenção da qualidade de vida urbana.

Este mapa merece especial atenção com relação à dinâmica de atualização e incremento de novas informações, como por exemplo, a extensão dos limites das áreas de mananciais até as áreas consideradas de recarga de aquífero, mesmo pertencentes a outras bacias, uma vez que o fluxo subterrâneo muitas vezes difere do fluxo superficial.

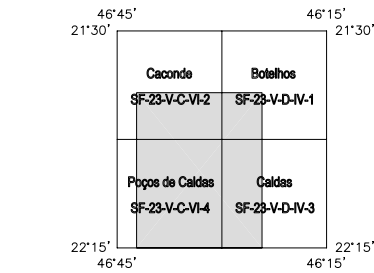


LEGENDA

- LIMITE DA ÁREA DE MANANCIAS
- ÁREA DE MANANCIAS
- CURSOS D'ÁGUA
- CURSOS D'ÁGUA CANALIZADOS

- 1 CAPTAÇÃO JOSÉ ALVES
- 2 CAPTAÇÃO MARÇAL SANTOS
- 3 CAPTAÇÃO RIBEIRÃO DA SERRA
- 4 CAPTAÇÃO CÓRREGO VAI E VOLTA
- 5 CAPTAÇÃO SATURNINO DE BRITO
- 6 CAPTAÇÃO CÓRREGO VARGENS DE CALDAS
- 7 CAPTAÇÃO CÓRREGO JOSÉ AVELINO
- 8 CAPTAÇÃO DO CIPÓ

ARTICULAÇÃO DA BASE CARTOGRÁFICA

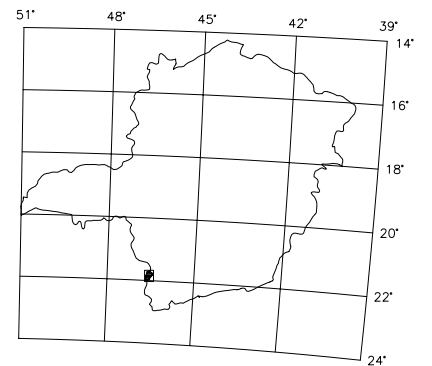


Declinação magnética
 $\delta = 20^{\circ}48'19''W$
 Variação anual: $00^{\circ}10'34''W$
 $\gamma = 00^{\circ}34'09''$
 Jan/1997

Escala: 1:150.000



LOCALIZAÇÃO DA ÁREA NO ESTADO



Sistema de projeção: Universal Transverso de Mercator - UTM
 Elipsóide: SAD-69
 Meridiano central: 45° W. Gr.

Carta produzida a partir de restituição do levantamento aerofotogramétrico, escala 1:10.000, de voo realizado em 1997, complementado com cartas do IBGE, folhas Caconde, Poços de Caldas, Botelhos e Caldas, digitalizadas e vetorizadas.

| | | |
|--|---|--|
| | Universidade Federal de São Carlos | |
| Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana | | |
| <i>Proposta de metodologia para elaboração de cartas de conflito de uso baseada em banco de dados geográfico como subsídio à gestão territorial, aplicada ao Município de Poços de Caldas (MG)</i> | | |
| MAPA DE MANANCIAS | | |
| Misael de Mendonça Orientador: Prof. Dr. Reinaldo Lorandi | Abril/2005 | |

FIGURA 33: Mapa de mananciais.

7.5 – Mapa de Documentação

Trata-se do mapa de natureza auxiliar mais conhecido e útil para mapeamento geotécnico.

O mapa de documentação foi produzido a partir da restituição de levantamento aerofotogramétrico do município de Poços de Caldas, na escala 1:10.000, de vôo realizado em 1997. Encontra correspondência com as folhas SF-23-V-C-VI-2, SF-23-V-C-VI-4, SF-23-V-D-IV-1 e SF-23-V-D-IV-3 do IBGE.

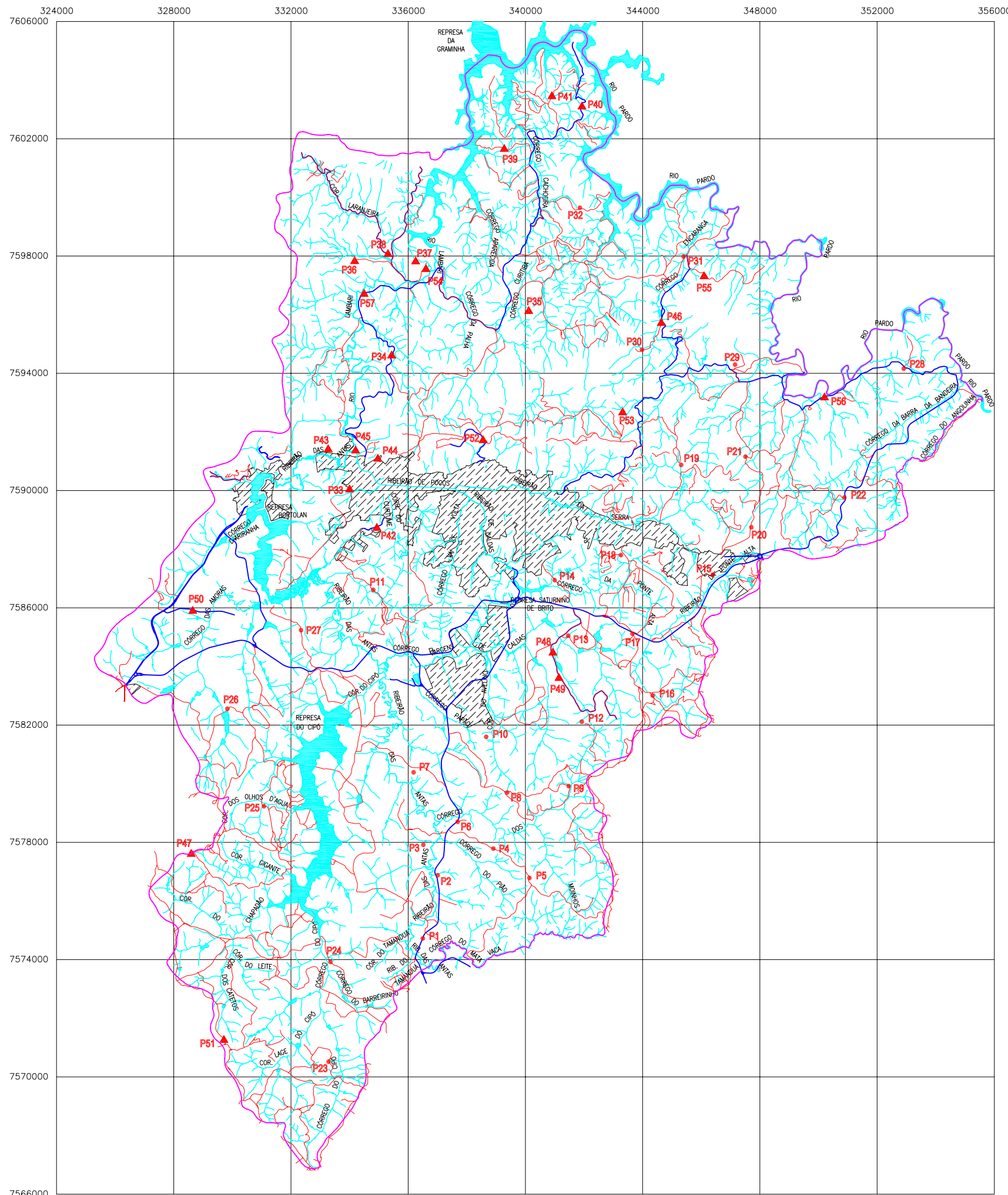
O Sistema de projeção utilizado foi o Universal Transverso de Mercator – UTM, sendo adotado o elipsóide SAD-69 com meridiano central 45° WGr.

Encontram-se indicados neste documento os pontos de amostragem de solo, que também serviram de pontos de observação, embora estes últimos representem um número muito maior, não indicado em sua totalidade. Os pontos puderam ser inseridos pela obtenção das coordenadas com auxílio de receptor GPS, durante o procedimento de amostragem.








Consta ainda do mapa de documentação os pontos de amostragens de pesquisas anteriores, que apresentam atributos do solo empregados na determinação dos fatores dos mapas temáticos.

O planejamento dos pontos de amostragem foi efetuado sobre este mapa, com auxílio de mapa de bacias.

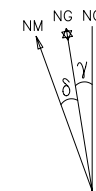
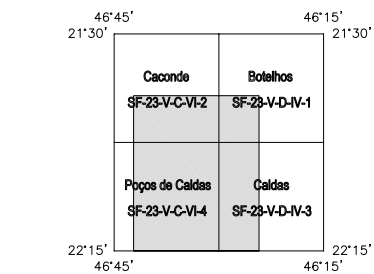
Este documento apresenta ainda as principais vias rurais, a área urbanizada e os corpos d'água, elementos estes de grande auxílio na obtenção de pontos de controle para o georreferenciamento das imagens de sensor remoto para posterior obtenção da carta de uso e ocupação.



LEGENDA

-  LIMITE MUNICIPAL
-  VIA PAVIMENTADA
-  VIA NÃO PAVIMENTADA
-  PONTOS AMOSTRADOS
-  PONTOS OBTIDOS (PESQUISAS ANTERIORES)
-  ÁREA URBANA
-  CURSOS D'ÁGUA

ARTICULAÇÃO DA BASE CARTOGRÁFICA

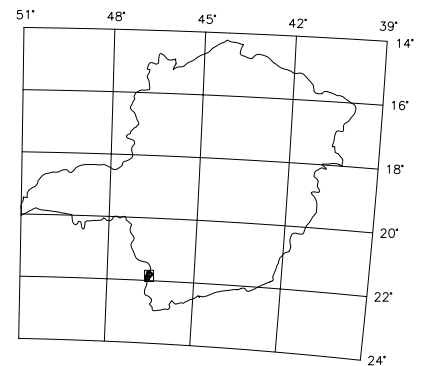


Declinação magnética
 $\delta = 20^{\circ}48'19''W$
 Variação anual: $00^{\circ}10'34''W$
 $\gamma = 00^{\circ}34'09''$
 Jan/1997

Escala: 1:150.000



LOCALIZAÇÃO DA ÁREA NO ESTADO



Sistema de projeção: Universal Transverso de Mercator - UTM
 Elipsóide: SAD-69
 Meridiano central: 45° W. Gr.

Carta produzida a partir de restituição do levantamento aerofotogramétrico, escala 1:10.000, de voo realizado em 1997, complementado com cartas do IBGE, folhas Caconde, Poços de Caldas, Botelhos e Caldas, digitalizadas e vetorizadas.



| | | |
|---|---|---|
|  | Universidade Federal de São Carlos |  |
| Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana | | |
| <i>Proposta de metodologia para elaboração de cartas de conflito de uso baseada em banco de dados geográficos como subsídio à gestão territorial, aplicada ao Município de Poços de Caldas (MG)</i> | | |
| MAPA DE DOCUMENTAÇÃO | | |
| Misael de Mendonça Orientador: Prof. Dr. Reinaldo Lorandi | Dezembro/2004 | |

FIGURA 34: Mapa de Documentação.

7.6 – Mapa de Uso e Ocupação do Solo

Para este estudo foram utilizadas imagens do sensor ETM+ do satélite Landsat 7 de 25/05/03, com resolução espacial de 30 metros. A sena original é de 185 x 185 km, porém reduziu-se a imagem à área de abrangência de estudo, resultando em imagem cobrindo uma extensão de 45,9 x 59 km, através de uma matriz de 1377 colunas e 1770 linhas. Face aos tipos de uso que se objetivava identificar, as bandas escolhidas foram: 3, 4 e 5. Foram utilizadas também fotos aéreas na escala 1:30.000 de vôo realizado em 1997.

7.6.1 – Leitura das imagens.

As imagens se encontravam originalmente em formato TIFF. Como o *software* escolhido para o processamento das imagens foi o SPRING, fez-se necessário a conversão para o formato GRIB, específico para este *software*. Para tanto foi utilizado o *software* Impima 4.1 do INPE.

7.6.2 – Registro das imagens.

O registro é uma transformação geométrica que relaciona coordenadas das imagens (linha e coluna) com coordenadas geográficas (latitude e longitude) de um mapa. Essa transformação elimina distorções existentes na imagem, causadas no processo de formação da imagem, pelo sistema sensor e por imprecisão dos dados de posicionamento do satélite (LOPES, 1999).

O registro foi executado com o *software* SPRING 4.1, através da ferramenta “Registro de Imagem”. Foram escolhidos 30 pontos de controle entre feições possíveis de serem identificadas de modo preciso na imagem e no mapa de documentação. Os pontos foram adquiridos via teclado, ou seja, fornecendo as coordenadas x e y para cada ponto. Aplicou-se equação matemática de mapeamento de segundo grau para a reamostragem dos pixels. O processo de interpolação adotado foi o Bilinear. O interpolador bilinear faz com que o nível de cinza a ser atribuído ao “pixel” da imagem corrigida seja determinado a partir do valor dos 4 “pixels” vizinhos. Como resultado, há alteração do valor do nível de cinza, considerando a sua vizinhança. É

aplicado nas regiões da imagem onde há heterogeneidade nos níveis de cinza dos “pixels”.

7.6.3 – Processamento das imagens.

As imagens foram submetidas a filtros para **suavizar** detalhes da imagem e minimizar efeitos de ruído.

As técnicas de filtragem são transformações da imagem “*pixel*” a “*pixel*”, que não dependem apenas do nível de cinza de um determinado “*pixel*”, mas também do valor dos níveis de cinza dos “pixels” vizinhos, na imagem original.

O processo de filtragem é feito utilizando-se matrizes denominadas máscaras que são aplicadas sobre a imagem.

O *software* SPRING 4.1 provê algumas máscaras pré-definidas para a aplicação de cada tipo de filtro. No caso da filtragem linear estão disponíveis máscaras para os filtros passa-baixa e passa-alta.

Neste estudo foi utilizado o filtro passa-baixa com uma máscara 3x3. O efeito visual de um filtro passa-baixa é o de suavização da imagem e a redução do número de níveis de cinza da cena. As altas frequências, que correspondem às transições abruptas são atenuadas.

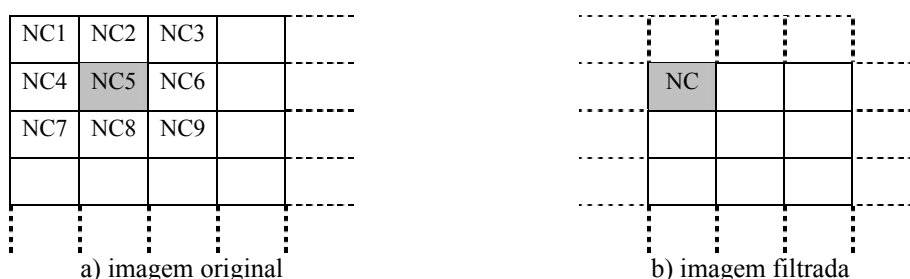


FIGURA 35: Máscara 3x3 (BRASIL-INPE, 2002).

A aplicação da máscara com centro na posição (i, j) , sendo i o número de uma dada linha e j o número de uma dada coluna sobre a imagem, consiste na substituição do valor do “pixel” na posição (i, j) por um novo valor, o qual depende dos valores dos “pixels” vizinhos e dos pesos da máscara. A operação matemática realizada no processo de filtragem linear é denominada convolução. Nessa operação projeta-se a máscara do filtro sobre a imagem submetida ao processamento e desloca-se a máscara

linha a linha substituindo o valor do pixel central original pela soma ponderada de seus vizinhos.

7.6.4 – Classificação das imagens.

O objetivo do processo de classificação digital de imagens é associar “pixels” a classes informativas de cobertura da terra em função do valor de sua resposta espectral. Os classificadores digitais utilizam o espaço de atributos para a delimitação das fronteiras de decisão, de acordo com as características espectrais, que separam as categorias a serem classificadas na imagem (FONSECA, 2002).

O resultado final de um processo de classificação é uma imagem digital que constitui um mapa de regiões classificadas, compostas por um conjunto de “pixels”, representadas por cores diferenciadas.

O processo de classificação foi executado com o *software* SPRING 4.1. O tipo de classificação adotado neste estudo foi o de regiões, que utiliza atributos espectrais e geométricos extraídos de regiões “homogêneas” da imagem, com o objetivo de incorporar novas informações e melhorar os resultados da classificação.

Neste processo a imagem é submetida a uma **segmentação**, que é a divisão da imagem em regiões compostas por um conjunto de “pixels” contíguos que se espalham bidirecionalmente e que apresentam alguma uniformidade.

O agrupamento dos dados foi efetuado utilizando-se a técnica de **crescimento de regiões**, na qual somente as regiões espacialmente adjacentes podem ser agrupadas.

Inicialmente, este processo de segmentação rotula cada “pixel” como uma região distinta. Calcula-se um critério de similaridade para cada par de região adjacente espacialmente. O critério de similaridade baseia-se em um teste de hipótese estatístico que testa a média entre as regiões. A seguir, divide-se a imagem em um conjunto de sub-imagens e então realiza-se a união entre elas, segundo um limiar de agregação definido (LOPES, 1999).

Vários parâmetros de similaridade foram testados, objetivando encontrar aquele que mais se adequasse à imagem, de forma a possibilitar uma segmentação em regiões representativas das classes a serem obtidas. A medida de similaridade está baseada na distância Euclidiana entre os valores médios dos níveis de cinza de cada

região. Assim, duas regiões são consideradas distintas se a distância entre suas médias for superior ao limite de similaridade escolhido. Regiões com área menor que o mínimo escolhido são absorvidas pelas regiões adjacentes mais similares a estas.

A classificação efetuada foi executada com supervisão, ou seja, com treinamento, que é a obtenção de amostras sobre a segmentação, obtida em número suficiente para representar as variações das diferentes classes. Foram obtidas 317 amostras sobre a composição RGB das bandas 4, 5 e 3, contemplando as classes de uso mais representativas da área de estudo, indicadas na Tabela 13. A Figura 38 apresenta algumas amostras de classes de uso e ocupação na composição de bandas 4-5-3.

Após a classificação, efetuou-se o mapeamento para classes temáticas. O tema assim obtido foi submetido a ajustes e correções através de edição matricial, tendo como base ortofotocartas coloridas, escala 1:2.000, obtidas em vôo realizado no ano de 2001, fotos aéreas na escala 1:30.000, de vôo realizado no ano de 1997, e observações de campo com auxílio de GPS.

TABELA 13: Classes de uso e percentual de área ocupada.

| Classe de uso | Total de área ocupada (%) |
|-------------------------|---------------------------|
| campo cerrado/pastagens | 50,74 |
| mata | 16,03 |
| culturas diversas | 9,30 |
| café | 8,77 |
| eucalipto | 5,90 |
| urbano | 5,74 |
| corpos d'água | 2,89 |
| indústria | 0,47 |
| mineração | 0,14 |
| aterro sanitário | 0,01 |

7.6.5 – Tipos de uso

7.6.5.1 – Campo cerrado/pastagens

Corresponde às vegetações rasteiras, pouco densas e de médio porte. Representam o maior percentual de ocupação do território, sendo destinada em parte à pecuária bovina.

Inclui-se aqui o cerrado que, segundo FERNANDES et al. (2003), corresponde à vegetação do tipo savana gramíneo-lenhosa, campo cerrado, sobre solos

álidos, característicos da região, e distróficos, pouco desenvolvidos. Esta cobertura vegetal ocorre no interior do planalto circular de Poços de Caldas.

Ainda segundo o mesmo autor, o cerrado e o campo estão associados ao cambissolo, adaptados à falta de nutrientes com árvores baixas e esparsas, sem a formação de dossel. O campo cerrado é o mais expressivo, caracterizando-se pelo domínio de estrato graminóide, entremeado por plantas lenhosas e raquíticas. A gramínea predominante nesse tipo de vegetação é o capim “barba-de-bode” (*Aristida pallens*), gramínea perene, cespitosa e ereta. Este se distribui tanto em topos de morros como em vertentes das colinas, em zona urbana e rural.

Com a devastação da vegetação nativa, segundo FERNANDES et al. (2003), tem-se a surgência da paisagem de campos sujos, nas quais acabaram por formar uma vegetação secundária denominada capoeira. A capoeira se caracteriza por uma cobertura vegetal variável em processo de regeneração, apresenta-se muito complexa e dominada por plantas lenhosas que podem atingir até 5 metros de altura. Uma espécie arbórea, de folhas prateadas, conhecida popularmente como “embaúba-branca” (*Cecropia hololeuca*) dá à paisagem uma pigmentação característica que indica que a mata primitiva foi cortada e substituída por uma mata secundária.

Neste trabalho não foi efetuada a diferenciação entre campo cerrado e pastagens que, embora representem ocupações distintas, são de complexa separação por métodos de classificação de imagens de sensor remoto.

7.6.5.2 – Mata

Representa as áreas ocupadas por mata cerrada e ciliar. Existem diversas ocorrências de mata preservada. A mata ciliar apresenta-se bastante escassa.

A cobertura vegetal apresenta expressiva importância na redução dos processos de perda do solo, através da redução da energia cinética da chuva e redução do volume d’água que chega ao solo. Contribui ainda para a agregação das partículas do solo através do fornecimento de matéria orgânica, além do efeito mecânico das raízes aumentar a estabilidade do solo.

De acordo com FERNANDES et al. (2003), o município de Poços de Caldas apresenta uma diversificada cobertura vegetal, onde são perceptíveis contatos transacionais da floresta estacional semidecidual à floresta ombrófila mista. O mesmo autor assevera ainda que é importante alertar que a cobertura vegetal remanescente está

sobre Cambissolos, que predominam no município e que o desflorestamento desencadeará processos erosivos e degradação ambiental.

FERNANDES et al. (2003), apresenta os três principais tipos de florestas que ocorrem na região de Poços de Caldas:

- Floresta estacional semidecidual: é também conhecida como floresta subcaducifólia tropical, floresta latifoliada tropical, floresta estacional tropical pluvial, mata mesófila ou semicaducifólia. É tida como estacional mediante influência climática marcada por duas estações, uma chuvosa e outra seca. Devido a essa alternância climática, a vegetação adapta-se à deficiência hídrica à baixa temperatura.
- Floresta ombrófila mista: também conhecida como Mata Atlântica, caracteriza-se pelo encontro da floresta temperada australásica e floresta tropical amazônica. Ocorre em patamares altimétricos de aproximadamente 800 metros, comumente inseridas em ambientes compreendidos por formas do interior do planalto de Poços de Caldas.
- Floresta Montana: apresenta ocorrências das espécies *Drimys brasiliensis* (casca-d'anta) e *Podocarpus lambertii* (pinheiro-bravo), que são arbóreas perenifólias, heliófitas, pioneiras, característica de matas de altitude. A casca-d'anta ocorre também em matas ciliares e lugares úmidos. As árvores pinheiro-bravo e a araucária são classificadas como dióicas, possuem um porte que varia de 8 a 14 metros de altura, sendo dotadas de troncos de diâmetro que oscilam entre 30 e 60 centímetros. São tidas como plantas ornamentais utilizadas no paisagismo local e, também, empregadas em reflorestamentos heterogêneos destinados à recomposição de áreas degradadas e de preservação permanente.

7.6.5.3 – Culturas diversas

Também responsável pela ocupação de expressivo percentual do território, correspondendo principalmente ao cultivo de milho, que representa cerca de 7% da renda agropecuária do município e a batata, representando 21%.

Este uso encontra-se distribuído por toda a região centro sul do município, com ocorrências também ao norte, porém em menor intensidade.

A produção nas grandes propriedades quase sempre se vincula ao uso de fertilizantes e pesticidas. Não raro estão implantadas muito próximas dos corpos d'água e, mesmo não havendo um estudo dos efeitos do eventual carreamento de compostos químicos nesta região, representa um expressivo risco à qualidade das águas.

Neste tipo de uso há que se considerar ainda a mecanização. Em algumas áreas onde o potencial de escoamento superficial se apresenta mais elevado, o revolvimento do solo em estações chuvosas pode representar o carreamento de sólidos e assoreamento de cursos d'água.

7.6.5.4 – Café

Representa as áreas ocupadas com culturas de café em diferentes estágios. No caso da área em estudo, este uso ocupa predominantemente a região norte do município.

A cafeicultura, dentro do agronegócio, é a principal atividade, representando cerca de 37 % da renda agropecuária do município. Na sua fase de colheita, gera cerca de 500 postos de trabalho extras (FERNANDES et al., 2003).

7.6.5.5 – Eucalipto

Representa as áreas ocupadas por florestas artificiais, homogêneas compostas por plantações de eucalipto, cuja finalidade é o uso industrial.

Embora existam ocorrências deste tipo de uso por todo o território do município, a maior concentração está localizada no sudoeste da área de estudo. A área ocupada por este tipo de uso chega a ser superior à área ocupada pelo uso urbano.

Conhecido por seu largo emprego na produção de móveis, na produção de diversos tipos de papel e na indústria farmacêutica, o eucalipto é o foco de pesquisas realizadas pela Universidade Estadual do Norte Fluminense (UENF) que busca formas alternativas de cultivar a espécie com a máxima produtividade e o mínimo de impacto ambiental.

A tese de que o eucalipto é uma cultura danosa ao meio ambiente, vem sendo rebatida, considerando-se que toda espécie vegetal com vigor de crescimento

tende a absorver grande volume de água e nutrientes em certa fase de seu desenvolvimento.

Para FROUFE (2005), é um “mito” a idéia de que o eucalipto seja necessariamente uma cultura danosa ao meio-ambiente. Existem mais de 600 espécies de eucalipto, com características diferenciadas quanto às suas necessidades nutricionais e hídricas. O problema é que a exploração econômica encurta o ciclo natural da espécie, inibindo o restabelecimento do equilíbrio do sistema. O eucalipto é uma árvore, ou seja, uma planta com ciclo, o que a impossibilita de crescer e envelhecer no período de um ano. Em condições normais, o ciclo de produção é de 30 a 40 anos. Por isso o seu manejo deveria ser de no mínimo 15 anos, tempo necessário para a espécie devolver ao ecossistema a água e os nutrientes que retirou do solo, mas devido a grande comercialização o ciclo é encurtado para 7 anos.

7.6.5.6 – Área urbana

Compõe as zonas urbanas, residencial e comercial, caracterizada pela concentração de edificações, vias pavimentadas e presença pouco pronunciada de áreas vegetadas.

No caso da área em estudo o espaço ocupado por uso urbano representa 5,74% do total da área do município. É importante observar que a atual linha do perímetro urbano do Município de Poços de Caldas apresenta uma área de 85,51 km², ou seja, 15,71% do total da área do Município. Assim, é possível identificar que hoje apenas 31,25 km², ou seja 36,55% da área que integra o perímetro urbano é ocupada para fins urbanos.

7.6.5.7 – Corpos d’água

Classe composta por rios, represas e lagos. A maior concentração de área ocupada por corpos d’água encontra-se distribuída numa faixa que vai da porção sudoeste do município até a região norte.

Dentre os corpos d’água artificiais oriundos de represamento por barragens destacam-se três represas:

- Represa Lindolpho Pio da Silva Dias (barragem do Cipó): localizada na região sudoeste do município, apresenta uma área de espelho d’água de 4,93 km².

- Represa Bortolan: localizada na região oeste do município, apresenta uma área de espelho d'água de 2,30 km².
- Represa Saturnino de Brito: localizada na região central do município, apresenta uma área de espelho d'água de 0,09 km².

7.6.5.8 – Indústria

Representa as áreas ocupadas por indústrias de médio e grande porte, cuja delimitação foi efetuada com auxílio de fotos aéreas georreferenciadas.

Encontram-se distribuídas ao longo dos principais eixos viários no município, nas imediações da área urbanizada, com ocorrências dentro do perímetro urbano.

Dentre as indústrias locais, as principais atividades são: metalurgia, fertilizantes, fibras têxteis, materiais refratários, alimentícia (carne e derivados do leite) e beneficiamento de minérios.

7.6.5.9 – Mineração

Classe composta pelas áreas onde ocorre exploração mineral, principalmente de bauxita, empregada na indústria de alumínio.

As áreas correspondentes a este tipo de uso encontram-se principalmente nas extremidades leste e oeste do município.



1,83m

FIGURA 36: Área de exploração de bauxita pela empresa Mineração Curimbaba, no Município de Poços de Caldas, coordenadas UTM 7.591.598N e 331.473E (abril/2003).

De acordo com FERNANDES et al. (2003), o Planalto de Poços de Caldas possui cerca de oitenta milhões de toneladas de bauxita, sendo que 90 % desta, encontrada no município. As reservas de bauxita encontradas são do Grupo Itabira. As jazidas de bauxita apresentam-se dispersas e de forma irregular, ocupam comumente os cumes e encostas íngremes. São observadas em maior proporção na região central e no norte do município.

7.6.5.10 – Aterro Sanitário

Representa a área ocupada pelo único aterro controlado existente no território, cuja delimitação foi efetuada com auxílio de fotos aéreas georreferenciadas e restituição de levantamento aerofotogramétrico.

O Município objeto do estudo ainda não apresenta um aterro sanitário, porém algumas medidas têm sido aplicadas na área do lixão para mantê-lo como aterro controlado. Encontra-se na região sul do município, a uma distância aproximada de 3 km da área com ocupação urbana, porém muito próximo a corpos d'água.

FIGURA 37: Aterro controlado do Município de Poços de Caldas (agosto/2004).

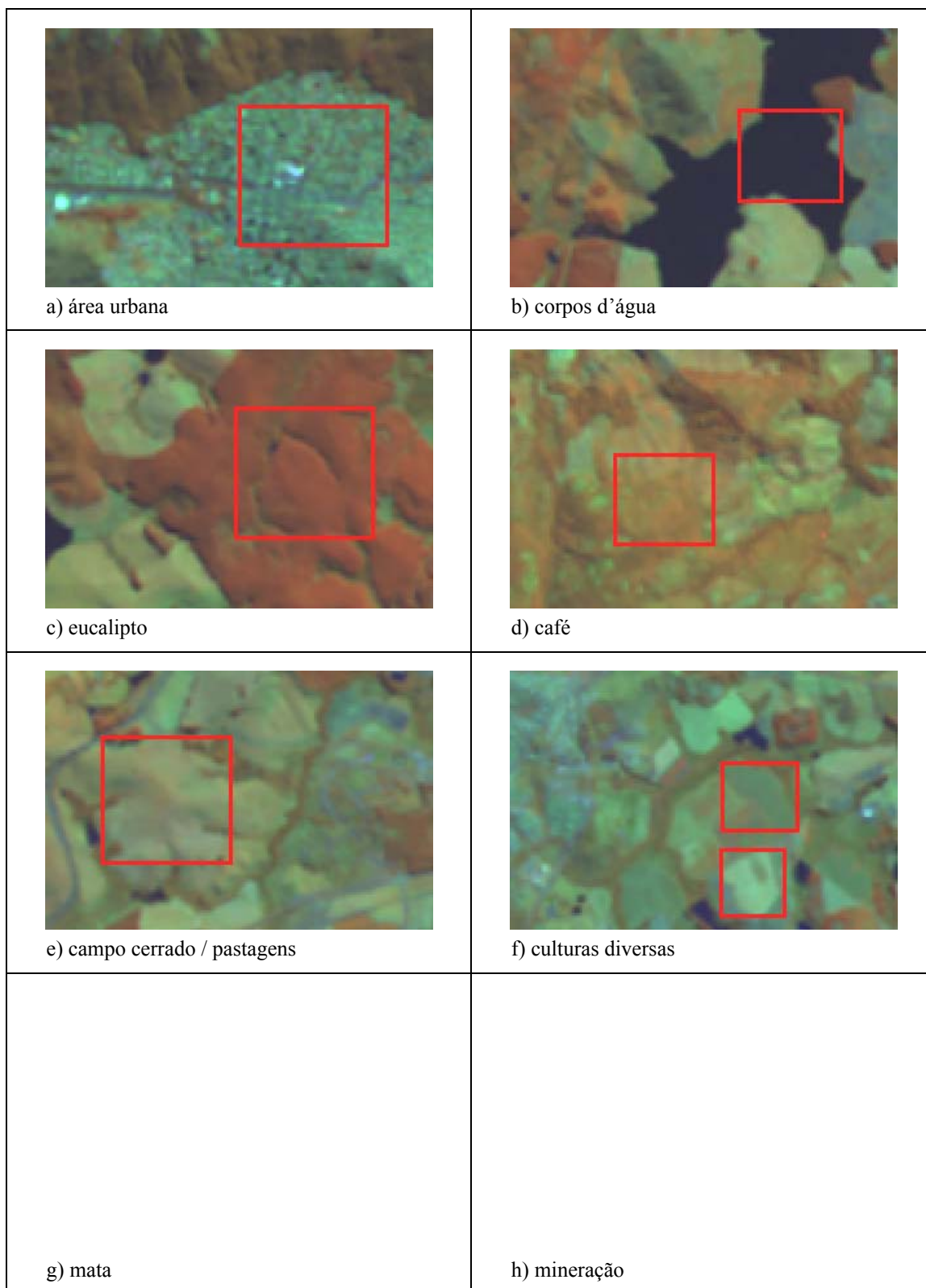
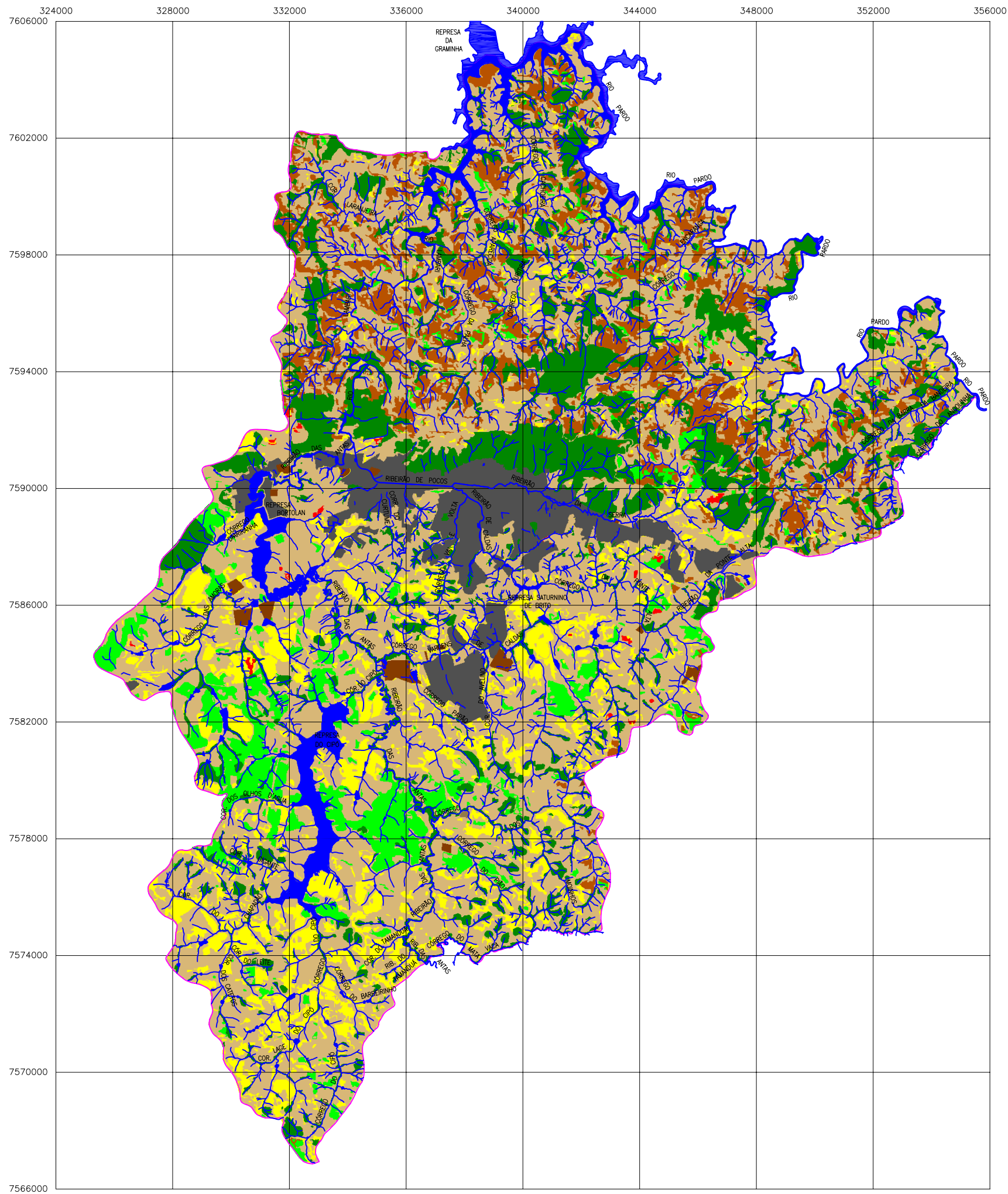


FIGURA 38: Amostras de classes de uso e ocupação na composição de bandas 4-5-3.



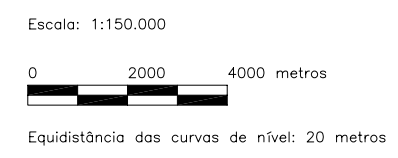
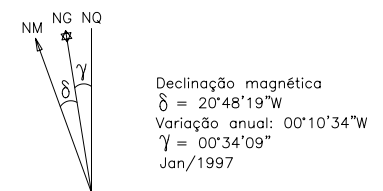
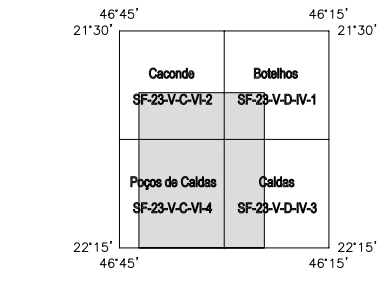
LEGENDA

- LIMITE MUNICIPAL
- CURSOS D'ÁGUA

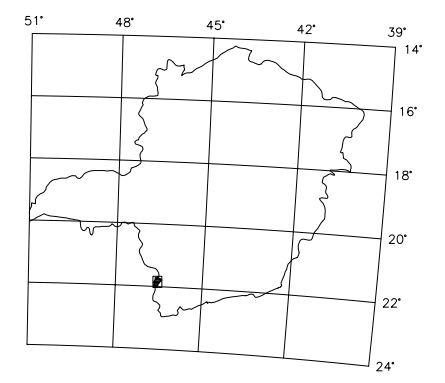
USO E OCUPAÇÃO

- OCUPAÇÃO URBANA
- CORPOS D'ÁGUA
- MATA
- INDÚSTRIA
- MINERAÇÃO
- CAFÉ
- EUCALIPTO
- CULTURAS DIVERSAS
- CAMPO CERRADO/PASTAGEM
- ATERRO SANITÁRIO

ARTICULAÇÃO DA BASE CARTOGRÁFICA



LOCALIZAÇÃO DA ÁREA NO ESTADO



Sistema de projeção: Universal Transverso de Mercator - UTM
 Elipse: SAD-69
 Meridiano central: 45° W. Gr.
 Carta produzida a partir da classificação de imagem do sensor ETM+ do satélite Landsat 7, de 25/05/2003, com resolução espacial de 30 metros e dimensão original de 185 km x 185 km, na composição de bandas 4, 5 e 3.

| | | |
|--|------------------------------------|-----------|
| | Universidade Federal de São Carlos | |
| Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana | | |
| <i>Proposta de metodologia para elaboração de cartas de conflito de uso baseada em banco de dados geográfico como subsídio à gestão territorial, aplicada ao Município de Poços de Caldas (MG)</i> | | |
| MAPA DE USO E OCUPAÇÃO | | |
| Misael de Mendonça Orientador: Prof. Dr. Reinaldo Lorandi | | Maio/2005 |

FIGURA 39: Mapa de Uso e Ocupação.

7.7 – Carta de Potencial de Escoamento Superficial

Os aspectos relativos às condições de escoamento superficial e de infiltração normalmente não são estudados, tornando-se difícil a avaliação das modificações que podem ocorrer quando da ocupação. Mesmo nos trabalhos de mapeamento geotécnico, onde são estudados vários aspectos do meio físico que estão relacionados ao fenômeno de escoamento superficial e infiltração, os dados obtidos não são analisados de maneira a se obter uma carta de potencial ao escoamento superficial e infiltração. As informações sobre o escoamento superficial são importantes para a implantação de vários tipos de obra de engenharia, como estradas, pequenas barragens e áreas urbanas, pois permitem a obtenção de coeficientes de deflúvio mais realistas e não somente baseados em tabelas como normalmente são obtidos. A carta do potencial de escoamento superficial apresenta uma graduação das áreas com maior ou menor potencial ao escoamento superficial e também as regiões onde predomina a infiltração. Estas informações são importantes na definição de áreas que devem ser protegidas para evitar a contaminação de aquíferos e para a disposição de rejeitos sépticos (PEJON, 1992).

Neste trabalho, a elaboração da carta do potencial de escoamento superficial é desenvolvida a partir da atribuição de pesos aos atributos do meio físico. Os pesos conferidos aos atributos considerados são tanto maiores quanto maior for sua influência no processo de escoamento superficial. Os atributos considerados na elaboração desta carta são:

- declividade;
- materiais inconsolidados:
 - espessura;
 - permeabilidade;
 - textura;
- densidade de drenagem;
- feições de armazenamento;
- morfologia e solo.

O resultado da graduação dos atributos para a área estudada foi obtido a partir de uma seqüência de operações, conforme proposto por COOK, citado por PEJON (1992), composta de:

- a) análise da variação de cada atributo na área estudada;
- b) estabelecimento de classes, para cada atributo, de acordo com sua variação;
- c) ordenamento das classes de forma crescente quanto à sua influência no potencial de escoamento superficial;
- d) análise do conjunto obtido pela associação das classes e definição da pontuação mínima e máxima para cada atributo refletindo a importância de cada um no potencial ao escoamento;
- e) atribuição de pontos para as classes intermediárias de cada atributo.

7.7.1 – Obtenção dos atributos

7.7.1.1 – Levantamento de dados de amostragens pré-existentes

Estudos acadêmicos contendo dados de sondagens foram efetuados em algumas regiões do município objeto de estudo por LIPORACI (1994), KOPEZINSKI (1998), AMORIN (2003) e FONTES (2004). Embora estes estudos não contemplem todos os atributos necessários à consecução desta pesquisa, procedeu-se adequação de alguns dos resultados para aproveitamento dos mesmos.

7.7.1.2 – Planejamento de distribuição dos pontos de observação e amostragem

Como já apresentado anteriormente, os dados pré-existentes, além de não cobrirem toda a área de estudo, não contemplam todos os atributos necessários. Neste caso, a abordagem se deu de duas maneiras distintas. A primeira abordagem se refere às áreas nas quais efetivamente não existem dados preliminares. Para estas áreas, arbitrou-se uma distribuição de pontos distantes entre si em no máximo 3.000 metros em função da capacidade de amostragem e de ensaios, limitada pelo período da pesquisa. Foram amostrados 32 pontos, identificados no Mapa de Documentação (Figura 34). Estes pontos estão distribuídos em diferentes topografias e diferentes posicionamentos em relação às formas de relevo. A segunda abordagem se refere às áreas que continham dados pré-existentes, para as quais efetuou-se um menor número de amostragens.

Adotou-se para a amostragem o procedimento apresentado por ZUQUETTE (1987), que consiste em cravar no solo um cilindro de 100 mm de

diâmetro e 50 mm de altura. A amostra assim retirada permite a determinação da massa específica seca de campo. O mesmo material foi utilizado para o ensaio de granulometria conjunta e determinação da massa específica dos sólidos (ρ_s).

7.7.1.3 – Análise granulométrica conjunta

Classificação dos solos de acordo com sua composição textural representando, em porcentagem, a distribuição granulométrica a partir de ensaio de peneiramento para a fração mais grossa e sedimentação para a fração mais fina, conforme NBR-7181/1984.

A partir da curva da distribuição granulométrica foi identificado o diâmetro equivalente D_{50} , que posteriormente foi empregado no cálculo para a estimativa do índice de permeabilidade, conforme Tabela 17.

7.7.1.4 – Massa específica dos sólidos (ρ_s)

Os dados de massa específica dos sólidos (ρ_s) foram empregados nos cálculos do ensaio de granulometria conjunta.

7.7.2 – Declividade.

Consiste no atributo mais importante a se ponderar no processo de escoamento superficial. A partir das classes definidas e identificadas na Carta de Declividades foram atribuídos pesos considerando que a medida em que ocorre o aumento da declividade, aumenta também sua importância no processo de escoamento.

Para a menor classe de declividade atribuiu-se um número de pontos equivalente a duas vezes o mínimo de pontos do atributo permeabilidade. Da mesma forma, para a maior classe atribuiu-se um valor maior que o máximo de pontos dos demais atributos considerados no escoamento superficial. As classes intermediárias receberam pontuações distribuídas em proporção aproximadamente linear, conforme mostra a Tabela 14.

TABELA 14: Sistema de pontuação para classes de declividade.

| Classe de declividade | Número de pontos |
|-----------------------|------------------|
| 0,00 a 5,00 % | 10 |
| 5,01 a 10,00 % | 25 |
| 10,01 a 20,00 % | 50 |
| 20,01 a 30,00 % | 80 |
| 30,01 a 45,00 % | 125 |
| > 45,00 % | 150 |

7.7.3 – Materiais Inconsolidados.

Na região de expansão urbana são identificadas áreas com grande concentração de solo saprolítico proveniente dos nefelina-sienitos, com grande heterogeneidade dos materiais.



FIGURA 40: Solo saprolítico proveniente dos nefelina-sienitos, coordenadas UTM 7.586.861N e 337.880E.

Na parte norte, externa ao planalto, ocorre solos residuais decorrentes da alteração dos migmatitos, gnaisses e granulitos pertencentes ao Complexo Varginha, com textura argilo-arenosa. Apresentam coloração marrom clara e espessuras que variam de 2 metros a valores superiores a 6 metros. É comum observar perfis deste tipo de solo com veios de quartzo preservados.



FIGURA 41: Linha de seixo com presença de quartzo, separando solo residual e solo transportado, coordenadas UTM 7.596.767N e 344.765E.

7.7.3.1 – Espessura

A espessura dos materiais inconsolidados foi inicialmente obtida com base na espacialização apresentada no Mapa de Landforms elaborado por FONTES (2004). Neste mapa são apresentados vários sistemas, porém, para este estudo foram inicialmente considerados somente aqueles que contemplam o Município de Poços de Caldas.

Para a região objeto do estudo obteve-se então cinco classes de espessura dos materiais inconsolidados. As regiões com predominância de materiais inconsolidados pouco espessos são mais favoráveis ao escoamento, portanto devem receber uma pontuação maior no processo de ponderação. As regiões com predominância de materiais inconsolidados mais espessos apresentam maior tendência à infiltração, devendo receber menor pontuação na ponderação do processo de escoamento superficial. Em virtude da grande generalização, que resulta em apenas 7 grandes regiões, optou-se por substituir esta fonte de informação pelas informações contidas na carta de caracterização de ecossistemas.

Ainda assim, esta informação foi preservada no banco de dados geográfico para posterior revisão da distribuição espacial das classes e eventual melhoria da generalização.

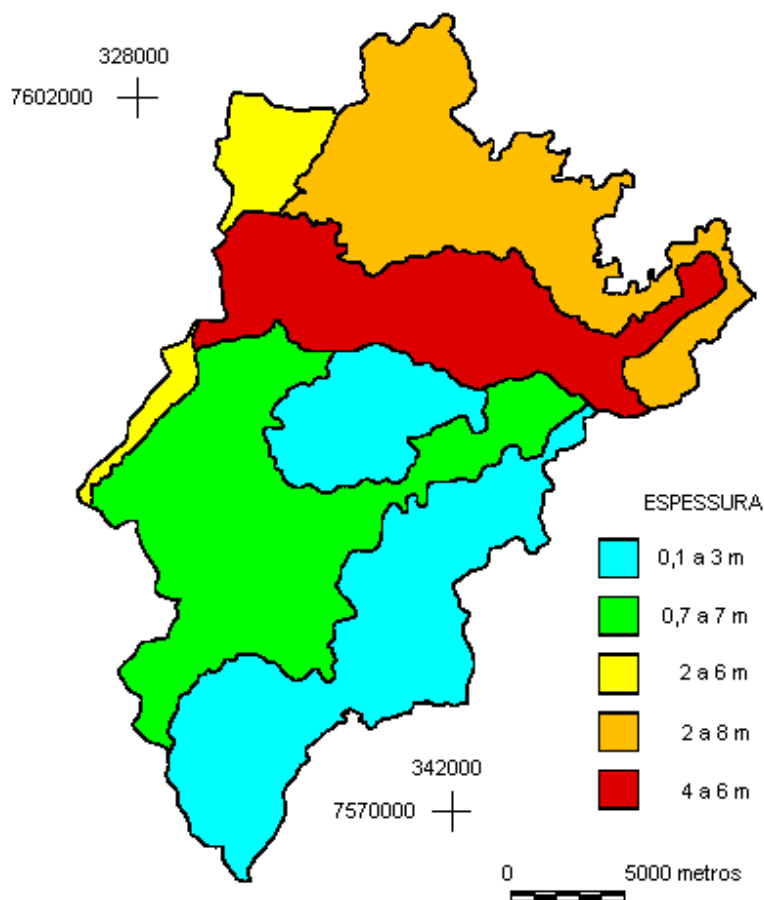


FIGURA 42: Espessura dos materiais inconsolidados. Modificado de FONTES (2004).

7.7.3.2 – Permeabilidade.

Usualmente a determinação do coeficiente de permeabilidade (k), expresso pelo volume de fluxo por área da seção, por unidade de tempo, é efetuada empregando-se o método direto, através de permeâmetro.

A determinação do coeficiente de permeabilidade em laboratório apresenta uma série de dificuldades que, se não forem contornadas, poderão alterar o resultado do ensaio. Segundo Stancati, citado por MENDES (2001), a montagem do corpo de prova no permeâmetro, e a conseqüente impermeabilização da área do mesmo, não ocupado pelo corpo de prova, a saturação do corpo de prova e a utilização da água deaerada durante o ensaio, são as principais dificuldades a serem vencidas, e que alteram subitamente os resultados do coeficiente de permeabilidade.

O coeficiente de permeabilidade pode ser obtido como uma propriedade estimada através da correlação proposta por Honorato & Mackenna, citado por MENDES (2001):

$$k = 14,266 \cdot (D_{50}^{2,19735}) / \rho_d^{8,50784}$$

A partir da curva de distribuição granulométrica foi possível obter o diâmetro equivalente (D_{50}) que, conjuntamente com os dados de massa específica seca de campo (ρ_d), permitiu a estimativa da permeabilidade, conforme Tabela 17.

A permeabilidade do solo é uma variável regionalizada permitindo assim o uso de técnicas de geoestatística para analisar e inferir os valores distribuídos no espaço de estudo. A análise geoestatística realizada seguiu um conjunto de procedimentos, conforme indicado na Figura 43. Após várias simulações, o modelo que mais se adequou para o caso deste trabalho foi o exponencial.

A partir da grade de krigeagem, utilizando ferramenta de SIG sobre o modelo numérico gerado, foi efetuado o fatiamento em 6 classes distintas, indicadas na Tabela 15, com posterior obtenção de categoria temática relativa à distribuição das classes no espaço de estudo.

Áreas com valores baixos de permeabilidade proporcionam maiores condições de escoamento, portanto contribuem para o aumento do potencial de escoamento superficial. Já os materiais com valores altos de permeabilidade proporcionam menores condições de escoamento, portanto, contribuem para a diminuição do potencial de escoamento superficial.

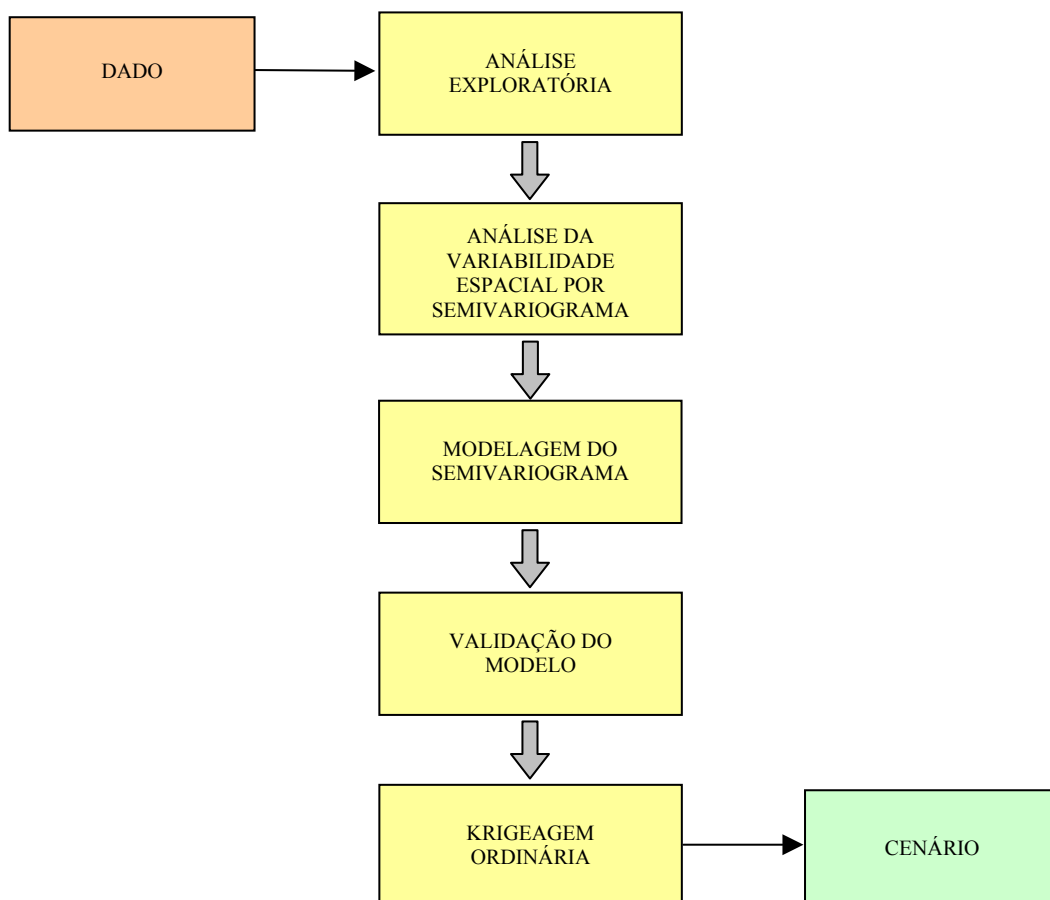


FIGURA 43: Etapas da análise geostatística (CAMARGO, 2000).

TABELA 15: Sistema de pontuação para classes de permeabilidade.

| Classe de permeabilidade (ordem de grandeza) m/s | Número de pontos |
|--|------------------|
| $<10^{-5}$ | 30 |
| 10^{-5} a 10^{-4} | 25 |
| 10^{-4} a 10^{-3} | 20 |
| 10^{-3} a 10^{-2} | 15 |
| 10^{-2} a 10^{-1} | 10 |
| $> 10^{-1}$ | 5 |

7.7.3.3 – Textura.

Os materiais inconsolidados foram submetidos a uma classificação textural de acordo com os teores de argila, silte e areia, obtidos na análise granulométrica conjunta das amostras, fazendo-se uso do diagrama triangular de Feret,

obtendo-se então texturas distintas para cada ponto de amostragem, conforme Tabela 17. Porém fazia-se necessário a espacialização dos resultados.

A partir dos resultados obtidos na análise granulométrica conjunta das amostras coletadas, bem como dos dados obtidos em estudos anteriores foi efetuada análise geoestatística, conforme descrito na Figura 43, gerando uma grade de krigeagem para o teor de argila, uma para o teor de silte e uma para o teor de areia.

Através de rotina desenvolvida no *software* SPRING 4.1, em Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico – LEGAL, implementando uma expressão condicional a partir de sucessivas expressões booleanas, os três modelos numéricos, representados pelas grades de krigeagem dos teores argila, silte e areia, foram simultaneamente analisados, dentro dos parâmetros do diagrama de Feret, retornando como resultado final a classificação textural.

O diagrama triangular de Feret permite obter a seguinte classificação: areia, areia siltosa, silte arenoso, areia argilosa, silte, silte argiloso, argila arenosa, argila siltosa e argila. Os ensaios realizados nas amostras coletadas, e os resultados obtidos em estudos anteriores, permitiram identificar as seguintes classes de textura: areia siltosa, areia argilosa, argila arenosa, argila siltosa e argila.

FIGURA 44: Diagrama de Feret.

De acordo com PEJON (1992), a textura fina proporciona maiores condições de escoamento, em se tratando de solos pouco evoluídos. Sendo assim, os materiais com predomínio de silte na fração fina recebem maior pontuação. Os materiais argilosos, em geral espessos, apresentam-se bastante evoluídos e com alta porosidade, tendo boas condições de infiltração da água. São menos favoráveis ao escoamento que os anteriores. Já os materiais arenosos, com quantidades pequenas de finos contribuem para um potencial de escoamento superficial menor ainda.

TABELA 16: Sistema de pontuação para textura.

| Classe textural | Número de pontos |
|-----------------|------------------|
| areia siltosa | 10 |
| areia argilosa | 25 |
| argila arenosa | 40 |
| argila | 55 |
| argila siltosa | 70 |

TABELA 17: Atributos de amostras de solo.

| Ponto | Coordenadas UTM | | argila (%) | silte (%) | areia (%) | γ_d (g/cm ³) | D ₅₀ (mm) | K (m/s) | textura |
|-------|-----------------|-----------|------------|-----------|-----------|---------------------------------|----------------------|------------|----------------|
| | E | N | | | | | | | |
| 1 | 336.500 | 7.574.723 | 52 | 29 | 20 | 0.970 | 0.0018 | 1.72E-05 | argila |
| 2 | 337.008 | 7.576.878 | 38 | 41 | 22 | 1.122 | 0.0090 | 1.71E-04 | argila siltosa |
| 3 | 336.516 | 7.577.917 | 33 | 34 | 33 | 0.937 | 0.0230 | 6.24E-03 | argila arenosa |
| 4 | 338.906 | 7.577.788 | 48 | 34 | 18 | 1.219 | 0.0027 | 6.00E-06 | argila siltosa |
| 5 | 340.136 | 7.576.786 | 61 | 23 | 16 | 1.113 | 0.0010 | <1.47x10-6 | argila |
| 6 | 337.689 | 7.578.702 | 58 | 20 | 21 | 0.877 | 0.0010 | <1.11x10-6 | argila |
| 7 | 336.183 | 7.580.389 | 45 | 32 | 22 | 1.039 | 0.0031 | 3.17E-05 | argila siltosa |
| 8 | 339.378 | 7.579.700 | 52 | 29 | 19 | 0.994 | 0.0017 | 1.23E-05 | argila |
| 9 | 341.477 | 7.579.918 | 66 | 24 | 11 | 0.867 | 0.0010 | <1.23x10-5 | argila |
| 10 | 338.661 | 7.581.599 | 31 | 28 | 40 | 0.945 | 0.0033 | 8.14E-05 | argila arenosa |
| 11 | 334.807 | 7.586.614 | 55 | 15 | 31 | 1.054 | 0.0010 | <2.33x10-6 | argila |
| 12 | 341.925 | 7.582.116 | 53 | 27 | 20 | 1.023 | 0.0023 | 1.88E-05 | argila |
| 13 | 341.461 | 7.585.048 | 38 | 38 | 24 | 1.167 | 0.0110 | 1.91E-04 | argila siltosa |
| 14 | 340.999 | 7.586.947 | 39 | 44 | 17 | 1.290 | 0.0120 | 9.83E-05 | argila siltosa |
| 15 | 346.396 | 7.587.128 | 48 | 34 | 18 | 1.131 | 0.0034 | 1.88E-05 | argila siltosa |
| 16 | 344.343 | 7.583.007 | 61 | 23 | 16 | 1.066 | 0.0010 | <2.12x10-6 | argila |
| 17 | 343.651 | 7.585.118 | 10 | 15 | 75 | 1.043 | 0.2200 | 3.58E-01 | areia siltosa |
| 18 | 343.257 | 7.587.800 | 15 | 13 | 72 | 1.094 | 0.0190 | 1.10E-03 | areia siltosa |
| 19 | 345.315 | 7.590.876 | 8 | 12 | 79 | 1.072 | 0.4200 | 1.17E+00 | areia siltosa |
| 20 | 347.710 | 7.588.749 | 9 | 13 | 78 | 1.088 | 0.3100 | 5.31E-01 | areia siltosa |
| 21 | 347.507 | 7.591.158 | 11 | 22 | 67 | 1.182 | 0.1500 | 5.32E-02 | areia siltosa |
| 22 | 350.884 | 7.589.764 | 10 | 20 | 70 | 1.400 | 0.1600 | 1.45E-02 | areia siltosa |
| 23 | 333.284 | 7.570.521 | 65 | 6 | 29 | 1.158 | <0.0010 | <1.05E-06 | argila |
| 24 | 333.349 | 7.573.922 | 49 | 35 | 16 | 0.946 | 0.0021 | 2.99E-05 | argila siltosa |
| 25 | 331.077 | 7.579.232 | 46 | 28 | 26 | 0.886 | 0.0024 | 7.00E-05 | argila siltosa |
| 26 | 329.829 | 7.582.556 | 60 | 15 | 25 | 1.227 | 0.0021 | 3.27E-06 | argila |
| 27 | 332.344 | 7.585.236 | 20 | 14 | 66 | 0.908 | 0.0021 | 4.24E-05 | areia siltosa |
| 28 | 352.908 | 7.594.158 | 8 | 27 | 65 | 1.130 | 0.4500 | 8.72E-01 | areia siltosa |
| 29 | 347.154 | 7.594.296 | 59 | 3 | 38 | 0.940 | 0.0017 | 1.98E-05 | argila |
| 30 | 343.977 | 7.594.804 | 38 | 21 | 41 | 1.280 | 0.0058 | 2.13E-05 | argila arenosa |
| 31 | 345.397 | 7.597.984 | 42 | 32 | 26 | 1.000 | 0.0037 | 6.47E-05 | argila siltosa |
| 32 | 341.857 | 7.599.647 | 52 | 13 | 35 | 1.148 | 0.0017 | 3.62E-06 | argila |
| 33* | 334.003 | 7.590.034 | 51 | 31 | 18 | 0.714 | 0.0018 | 2.33E-04 | argila |
| 34* | 335.439 | 7.594.603 | 62 | 12 | 26 | 0.925 | <0.001 | <7.08E-06 | argila |
| 35* | 340.116 | 7.596.118 | 56 | 27 | 17 | 1.077 | 0.0010 | 1.94E-06 | argila |
| 36* | 334.177 | 7.597.820 | 42 | 25 | 33 | 1.298 | 0.0140 | 1.31E-04 | argila arenosa |
| 37* | 336.257 | 7.597.812 | 57 | 10 | 33 | 1.185 | <0.001 | <8.61E-06 | argila |
| 38* | 335.314 | 7.598.062 | 48 | 22 | 30 | 1.294 | 0.0025 | 3.05E-06 | argila siltosa |
| 39* | 339.281 | 7.601.647 | 38 | 31 | 31 | 1.293 | 0.0050 | 1.41E-05 | argila arenosa |
| 40* | 341.932 | 7.603.094 | 38 | 32 | 30 | 1.245 | 0.0050 | 1.94E-05 | argila siltosa |
| 41* | 340.908 | 7.603.447 | 34 | 30 | 36 | 1.182 | 0.0075 | 7.37E-05 | argila arenosa |
| 42** | 334934 | 7588720 | 64 | 21 | 15 | - | - | - | argila |
| 43** | 333274 | 7591404 | 13 | 8 | 79 | - | - | - | areia siltosa |
| 44** | 334967 | 7591080 | 37 | 42 | 20 | - | - | - | argila siltosa |
| 45** | 334208 | 7591361 | 21 | 29 | 49 | - | - | - | areia argilosa |
| 46** | 344638 | 7595710 | 32 | 15 | 52 | - | - | - | argila arenosa |
| 47** | 328599 | 7577602 | 30 | 38 | 33 | - | - | - | silte argiloso |
| 48** | 340942 | 7584466 | 55 | 19 | 26 | - | - | - | argila |
| 49** | 341149 | 7583601 | 53 | 24 | 23 | - | - | - | argila |
| 50** | 328653 | 7585889 | 35 | 15 | 50 | - | - | - | argila arenosa |
| 51** | 329715 | 7571253 | 28 | 31 | 41 | - | - | - | areia argilosa |
| 52** | 338557 | 7591713 | 21 | 30 | 49 | - | - | - | areia argilosa |
| 53** | 343320 | 7592662 | 53 | 29 | 18 | - | - | - | argila |
| 54** | 336607 | 7597550 | 44 | 23 | 33 | - | - | - | argila arenosa |
| 55** | 346097 | 7597305 | 30 | 24 | 47 | - | - | - | areia argilosa |
| 56** | 350208 | 7593171 | 32 | 16 | 52 | - | - | - | argila arenosa |
| 57** | 334498 | 7596704 | 61 | 11 | 27 | - | - | - | argila |

* resultados obtidos a partir de atributos de AMORIN (2003)

** resultados obtidos a partir de atributos de FONTES (2004)

7.7.4 - Densidade de drenagem.

FONTES (2004), citando HORTON, apresenta o conceito de densidade de drenagem como sendo a relação entre a soma do comprimento total dos canais de drenagem e a área da bacia de acordo com a seguinte equação:

$$D_d = \frac{\Sigma L}{A_d}$$

onde: D_d = densidade de drenagem

L = comprimento total dos canais

A_d = área da bacia

A mesma autora citando HORTON e CHRISTOFOLETTI, ressalta que as bacias de menor porte e grau hierárquico tendem a apresentar valores de densidade mais elevados. Os segmentos de ordens inferiores estão nos setores mais altos dos cursos d'água, onde as declividades são mais acentuadas; conforme aumenta a área da bacia e a ordem da rede hidrográfica, incorporam-se áreas topograficamente mais suaves, dando origem a espaços com densidade de drenagem baixa. Desta forma, a classificação para a densidade de drenagem em bacias hidrográficas é feita em baixa, média e alta densidade obedecendo aos seguintes valores:

- a) $D_d < 7,5$ (km/km²) – baixa densidade
- b) D_d 7,5 a 10 (km/km²) – média densidade
- c) $D_d > 10$ (km/km²) – alta densidade

A densidade de drenagem também está relacionada com o escoamento superficial. Densidade de drenagem elevada indica um baixo índice de infiltração, resultando em uma rápida concentração do escoamento superficial e um alto potencial de fluxo, ao passo que áreas de baixa densidade de drenagem apresentam alto índice de infiltração e escoamento superficial laminar generalizado. Outros fatores do meio físico, como geologia, topografia, clima e vegetação, podem influenciar como condicionantes da densidade de drenagem (FONTES, 2004).

Os valores de densidade de drenagem nas Ottobacias da área de estudo estão compreendidos entre 1,94 e 3,82 km/km². Portanto, de acordo com a classificação proposta por HORTON e CHRISTOFOLETTI, apresentada por FONTES (2004), todas as Ottobacias são classificadas como de baixa densidade de drenagem.

PEJON (1992) e LIPORACI (1994) utilizaram a densidade de drenagem representada pelo número de canais por quilômetro. Para PEJON (1992), este atributo representa um peso inferior à declividade e textura, e superior à permeabilidade. Para LIPORACI (1994), este atributo representa um peso similar à declividade e superior à textura e à permeabilidade. Considerando a menor densidade encontrada, 1,94 km/km², a maior densidade, 3,82 km/km², a proporção que guardam entre si e as relações entre ponderações dos diferentes atributos adotadas nos estudos anteriores, neste trabalho, a ponderação foi aplicada variando de 50 a 100 pontos, distribuídos linearmente em 6 classes, representando um peso inferior à declividade e superior à textura e à permeabilidade.

TABELA 18: Densidade de drenagem e pontuação das Ottobacias.

| Ottobacia | Área (Km ²) | L (Km) | D _d (Km/Km ²) | Número de pontos |
|-----------|-------------------------|--------|--------------------------------------|------------------|
| 1.1 | 33,06 | 78,05 | 2,36 | 60 |
| 1.2 | 5,76 | 22,01 | 3,82 | 100 |
| 1.3 | 8,98 | 33,72 | 3,76 | 100 |
| 2.1 | 58,26 | 172,96 | 2,97 | 80 |
| 2.2.1 | 11,51 | 27,71 | 2,41 | 60 |
| 2.2.2 | 8,48 | 19,70 | 2,32 | 60 |
| 2.2.3 | 4,94 | 16,01 | 3,24 | 80 |
| 2.2.4 | 25,71 | 71,13 | 2,77 | 70 |
| 2.2.5 | 29,33 | 71,07 | 2,42 | 60 |
| 2.3 | 35,59 | 73,97 | 2,08 | 50 |
| 2.4 | 6,31 | 12,44 | 1,97 | 50 |
| 2.5 | 28,98 | 56,29 | 1,94 | 50 |
| 2.6 | 42,45 | 100,85 | 2,38 | 60 |
| 2.7 | 42,23 | 115,06 | 2,72 | 70 |
| 2.8 | 77,57 | 183,33 | 2,36 | 60 |
| 2.9 | 16,11 | 51,65 | 3,21 | 80 |
| 3.1 | 10,53 | 39,66 | 3,77 | 100 |
| 3.2 | 4,95 | 13,22 | 2,67 | 70 |
| 4.1 | 29,24 | 94,92 | 3,25 | 80 |
| 5.1 | 7,44 | 20,73 | 2,79 | 70 |
| 6.1 | 10,79 | 32,31 | 2,99 | 80 |
| 7.1 | 11,89 | 41,58 | 3,50 | 90 |
| 8.1 | 16,32 | 42,42 | 2,60 | 70 |
| 9.1 | 10,49 | 35,48 | 3,38 | 90 |
| 9.2 | 5,99 | 22,60 | 3,77 | 100 |

7.7.5 - Feições de Armazenamento.

Para a ponderação das feições favoráveis de armazenamento superficial PEJON (1992) estabeleceu um sistema de pontuação, atribuindo 10 pontos para lagoas e pequenas depressões em grande quantidade, 20 pontos para lagoas e pequenas depressões em pequena quantidade e 30 pontos para a ausência dessas feições. Neste caso, não é atribuída uma classe para a quantidade de feições. A classe só é definida no final, como classe de escoamento, após pontuar-se os demais atributos.

De forma análoga, LIPORACI (1994) trabalha com um sistema onde atribui 10 pontos para feições que compreendem barragens de médio porte, 20 pontos para pequenas e muitas barragens, 30 pontos para pequenas e poucas barragens e 40 pontos quando não há feições favoráveis ao armazenamento superficial.

Para a pontuação pela quantidade de feições favoráveis de armazenamento superficial, a partir dos estudos conduzidos pelos autores mencionados, estabeleceu-se uma relação entre a quantidade de lagoas ou pequenas barragens e a área da Ottobacia, atribuindo-se pontos para os diferentes intervalos (Tabela 19). Estes intervalos foram definidos com base na observação da variação dos valores encontrados, de forma a se obter quantidades de Ottobacias parecidas para cada feição. Desta forma, ainda que a área da feição de armazenamento se apresente bastante variável, a quantidade destas feições por unidade de área é analisada por um critério objetivo, eliminando-se maiores imprecisões de uma análise visual.

TABELA 19: Sistema de pontuação pela quantidade de feições de armazenamento.

| feições favoráveis ao armazenamento superficial | quantidade lagoas / 10 Km ² | Número de pontos |
|---|--|------------------|
| pequena quantidade ou nenhuma lagoa ou barragem pequena | até 7 | 40 |
| média quantidade de lagoas ou barragens pequenas | de 8 a 11 | 30 |
| grande quantidade de lagoas ou barragens pequenas | acima de 11 | 20 |
| barragem de médio porte | - | 10 |

TABELA 20: Pontuação das Ottobacias pela quantidade de feições de armazenamento.

| Ottobacia | Área (Km ²) | Número de feições | Número de feições/10Km ² | Número de pontos |
|-----------|-------------------------|-------------------|-------------------------------------|------------------|
| 1.1 | 33,06 | 23 | 7 | 10* |
| 1.2 | 5,76 | 6 | 10 | 30 |
| 1.3 | 8,98 | 18 | 20 | 20 |
| 2.1 | 58,26 | 53 | 9 | 30 |
| 2.2.1 | 11,51 | 4 | 3 | 40 |
| 2.2.2 | 8,48 | 5 | 6 | 40 |
| 2.2.3 | 4,94 | 0 | 0 | 40 |
| 2.2.4 | 25,71 | 49 | 19 | 10* |
| 2.2.5 | 29,33 | 28 | 10 | 30 |
| 2.3 | 35,59 | 39 | 11 | 10* |
| 2.4 | 6,31 | 9 | 14 | 20 |
| 2.5 | 28,98 | 37 | 13 | 20 |
| 2.6 | 42,45 | 39 | 9 | 30 |
| 2.7 | 42,23 | 32 | 8 | 30 |
| 2.8 | 77,57 | 72 | 9 | 10* |
| 2.9 | 16,11 | 10 | 6 | 40 |
| 3.1 | 10,53 | 1 | 1 | 40 |
| 3.2 | 4,95 | 8 | 16 | 20 |
| 4.1 | 29,24 | 16 | 5 | 40 |
| 5.1 | 7,44 | 9 | 12 | 20 |
| 6.1 | 10,79 | 14 | 13 | 20 |
| 7.1 | 11,89 | 10 | 8 | 30 |
| 8.1 | 16,32 | 39 | 24 | 20 |
| 9.1 | 10,49 | 13 | 12 | 20 |
| 9.2 | 5,99 | 8 | 13 | 20 |

Onde: * = barragem de médio porte

7.7.6 - Morfologia e solo.

Estudos efetuados por FERNANDES et al. (2003), conduziram à obtenção de uma carta de caracterização de ecossistemas do Município de Poços de Caldas. Este material apresenta, para cada um dos ecossistemas, a classificação de morfologia e características gerais do solo, além de outras informações. Considerando o elevado grau de generalização do Mapa de Landforms elaborado por FONTES (2004), dado à escala, optou-se por substituir as informações de espessuras deste mapa pela carta de caracterização de ecossistemas. Esta carta possibilita uma análise e ponderação conjunta de morfologia e características do solo.

Disponha-se inicialmente do arquivo em formato *raster*, anexado a texto técnico, portanto, sem escala e sem referencial cartográfico. Com auxílio do mapa de documentação, foram identificados e correlacionados na imagem disponível 30 pontos de controle para o ajuste de escala e sistema de coordenadas. Para tanto, foi utilizado o *software* de geoprocessamento SPRING 4.1. Como a imagem inicial apresentava diferenciação de cores para cada ecossistema submeteu-se a mesma a uma classificação por regiões a partir de amostras extraídas da própria imagem. A imagem classificada foi submetida a um mapeamento para classes temáticas.

FIGURA 46: Morfologia e solo. Modificado de FERNANDES et al. (2003).

TABELA 21: Pontuação pela morfologia e solo.

| Classe | Morfologia | Características gerais | Número de pontos |
|--------|-------------------------------|--|------------------|
| 1 | Cristas / escarpas rochosas | Relevo escarpado, solos rasos e instáveis, associados a afloramentos rochosos | 50 |
| 2 | Vertentes ravinadas | Vertentes íngremes, ocorrência de solos rasos e pedregosos | 40 |
| 3 | Colinas de topo aplainado | Forma convexa, solos profundos e bem drenados | 30 |
| 4 | Rampas de colúvio | Constituídas por material coluvionar formado a partir dos topos e vertentes, correspondendo ao Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico | 20 |
| 5 | Terraços e planícies fluviais | Relevo plano, constituído por solo aluvial (Neossolo Flúvico) | 10 |

De forma resumida, a pontuação dos atributos do meio físico utilizados na elaboração da carta do potencial de escoamento superficial é apresentada Tabela 22.

TABELA 22: Pontuação dos atributos do meio físico utilizados na elaboração da carta do potencial de escoamento superficial.

| ATRIBUTO | altíssimo 371 a 440 | muito alto 305 a 370 | alto 280 a 304 | médio 200 a 279 | baixo 140 a 199 | muito baixo 95 a 139 |
|--------------------------|---|---|---|--|---|---------------------------------|
| Permeabilidade | $<10^{-5}$ (30) | 10^{-5} a 10^{-4} (25) | 10^{-4} a 10^{-3} (20) | 10^{-3} a 10^{-2} (15) | 10^{-2} a 10^{-1} (10) | $>10^{-1}$ (5) |
| Declividade | >45 (150) | 30 a 45 (125) | 20 a 30 (80) | 10 a 20 (50) | 5 a 10 (25) | <5 (10) |
| Densidade de drenagem | $>3,70$ (100) | 3,30 a 3,70 (90) | 2,90 a 3,30 (80) | 2,50 a 2,90 (70) | 2,10 a 2,50 (60) | $<2,10$ (50) |
| Textura | argila siltosa (70) | argila (55) | argila arenosa (40) | areia argilosa (25) | areia siltosa (10) | |
| Feições de armazenamento | pequena quantidade (40) | | média quantidade (30) | grande quantidade (20) | | barragem de porte médio (10) |
| Morfologia e solo | escarpas rochosas, solos rasos, afloramentos rochosos (50) | vertentes ravinadas, solos rasos e pedregosos (40) | colinas de topo aplainado, solos profundos e bem drenados (30) | rampas de colúvio, material coluvionar (20) | terraços e planícies fluviais, solo aluvial (10) | |

Através de rotina desenvolvida no *software* SPRING 4.1, em Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico – LEGAL, as seis cartas temáticas em formato matricial assim obtidas, foram convertidas em modelos numéricos no formato

de grade retangular e submetidas a um processamento algébrico, resultando assim em uma grade retangular representando a pontuação final. A mesma rotina divide a grade numérica final em faixas ou classes e retorna uma carta temática no formato matricial, a carta de potencial de escoamento superficial. A implementação de rotinas automatizadas possibilita grande versatilidade na alteração de pesos atribuídos e na implementação de novos atributos.

TABELA 23: Classes de potencial de escoamento superficial e percentual de área ocupada.

| Classe de potencial de escoamento superficial | Total de área ocupada (%) |
|---|---------------------------|
| muito baixo | 11,74 |
| baixo | 36,88 |
| médio | 28,58 |
| alto | 19,61 |
| muito alto | 3,19 |

Analisando a Tabela 23, verifica-se que a área objeto de estudo apresenta potencial de escoamento superficial predominante baixo e médio. A maior ocorrência destas classes de potencial de escoamento superficial é identificada na região oeste do município.

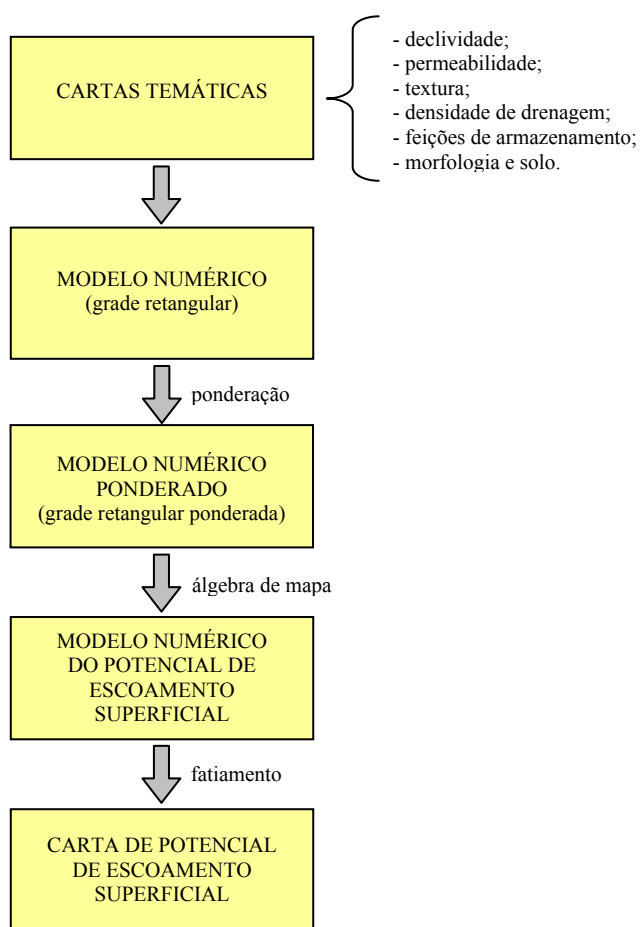
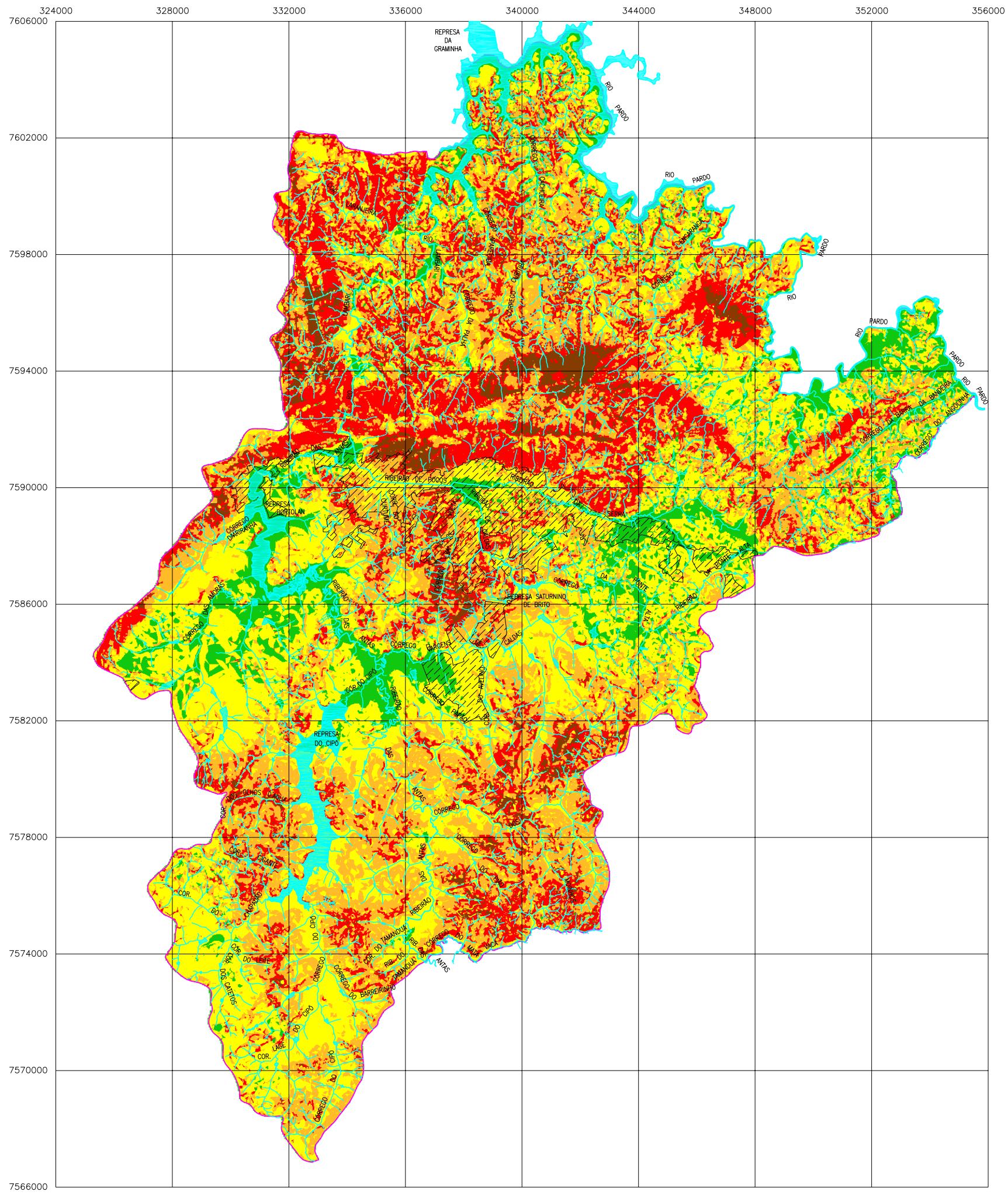


FIGURA 47: Fluxo de operações para a obtenção da Carta de Potencial de escoamento Superficial.



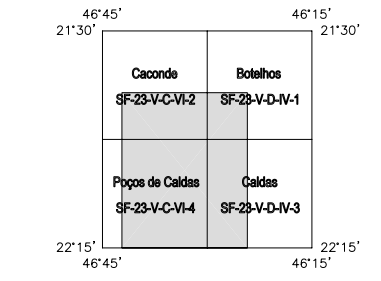
LEGENDA

-  LIMITE MUNICIPAL
-  ÁREA URBANA
-  CURSOS D'ÁGUA

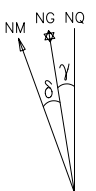
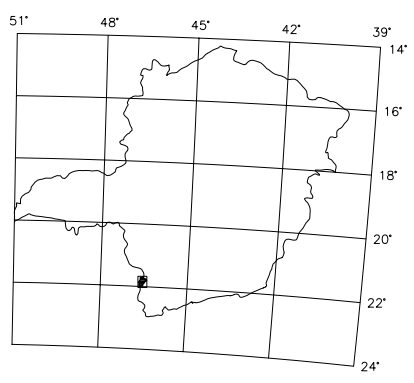
POTENCIAL DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL

-  MUITO BAIXO
-  BAIXO
-  MÉDIO
-  ALTO
-  MUITO ALTO

ARTICULAÇÃO DA BASE CARTOGRÁFICA

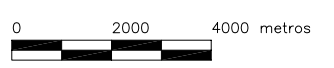


LOCALIZAÇÃO DA ÁREA NO ESTADO



Declinação magnética
 $\delta = 20^{\circ}48'19''W$
 Variação anual: $00^{\circ}10'34''W$
 $\gamma = 00^{\circ}34'09''$
 Jan/1997

Escala: 1:150.000



Equidistância das curvas de nível: 20 metros

Sistema de projeção: Universal Transverso de Mercator - UTM
 Elipse: SAD-69
 Meridiano central: 45° W. Gr.

Carta produzida a partir da ponderação e processamento algébrico dos atributos representados pela permeabilidade, declividade, densidade de drenagem, textura, feições de armazenamento e morfologia e solo, com uso do software SPRING 4.1.



| | | |
|---|------------------------------------|---|
|  | Universidade Federal de São Carlos |  |
| Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana | | |
| <i>Proposta de metodologia para elaboração de cartas de conflito de uso baseada em banco de dados geográficos como subsídio à gestão territorial, aplicada ao Município de Poços de Caldas (MG)</i> | | |
| CARTA DE POTENCIAL DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL | | |
| Misael de Mendonça Orientador: Prof. Dr. Reinaldo Lorandi | Maio/2005 | |

FIGURA 48: Carta de Potencial de escoamento superficial.

8 - CARTA DE CONFLITO DE USO

8.1 - Fatores intervenientes

Buscou-se os aspectos específicos para as características da área objeto do estudo.

De maneira geral, em uma abordagem inicial, os condicionantes do meio físico frente à ação antrópica na área de estudo reportam-se às acentuadas declividades, considerável potencial de escoamento superficial e uso de áreas de topo de morro e recarga de aquíferos. Desta forma, os fatores intervenientes considerados foram:

- a) Declividade
- b) Permeabilidade
- c) Morfologia e solo
- d) Potencial de escoamento superficial
- e) Área de manancial

8.2 - Metodologia e obtenção

8.2.1 - Processo analítico hierárquico

Decidir é escolher entre alternativas. Com base nesta visão, podemos encarar o processo de manipulação de dados num sistema de informação geográfica como uma forma de produzir diferentes hipóteses sobre o tema de estudo. O conceito fundamental dos vários modelos de tomada de decisão é o de *racionalidade*. De acordo com este princípio, indivíduos e organizações seguem um comportamento de escolha entre alternativas, baseado em critérios objetivos de julgamento, cujo fundamento será satisfazer um nível preestabelecido de aspirações (BRASIL-INPE, 2004).

Ainda segundo BRASIL-INPE (2004), o modelo racional de tomada de decisão preconiza quatro passos que devem ser seguidos para uma escolha apropriada:

- Definição do problema: formular o problema como uma necessidade de chegar a um novo estado.

- Busca de alternativas: estabelecer as diferentes alternativas (aqui consideradas como as diferentes possíveis soluções do problema) e determinar um critério de avaliação.
- Avaliação de alternativas: cada alternativa de resposta é avaliada.
- Seleção de alternativas: as possíveis soluções são ordenadas, selecionando-se a mais desejável ou agrupando-se as melhores para uma avaliação posterior.

A produção de novas informações a partir de um banco de dados geográfico representa um dos aspectos mais importantes do uso das geotecnologias. O grande desafio da produção de novas informações em um SIG é a capacidade de comparar e avaliar as diferentes possibilidades de geração de novos mapas. O fato de um SIG oferecer uma diversidade de funções de Álgebra de Mapas, muitas das vezes dificulta a escolha da forma de combinação de dados mais adequada.

As ferramentas de suporte à decisão possibilitam uma organização e estabelecimento de modelos racionais de combinação de dados.

O *software* SPRING dispõe de uma ferramenta de apoio à tomada de decisões em Geoprocessamento, baseada na técnica PAH ("Processo Analítico Hierárquico").

Thomas Saaty, citado por BRASIL-INPE (2004), propôs, em 1978, uma técnica de escolha baseada na lógica da comparação pareada. Neste procedimento, os diferentes fatores que influenciam a tomada de decisão são comparados dois-a-dois, e um critério de importância relativa é atribuído ao relacionamento entre estes fatores, conforme uma escala pré-definida.

TABELA 24: Escala de valores PAH para comparação pareada (BRASIL-INPE, 2004).

| Intensidade de importância | Definição e Explicação |
|----------------------------|--|
| 1 | Importância igual - os dois fatores contribuem igualmente para o objetivo |
| 3 | Importância moderada - um fator é ligeiramente mais importante que o outro |
| 5 | Importância essencial - um fator é claramente mais importante que o outro |
| 7 | Importância demonstrada - um fator é fortemente favorecido e sua maior relevância foi demonstrada na prática |
| 9 | Importância extrema - a evidência que diferencia os fatores é da maior ordem possível |
| 2,4,6,8 | Valores intermediários entre julgamentos - possibilidade de compromissos adicionais |

A definição de um conjunto de pesos ótimos pode ser obtida a partir do estabelecimento de critérios de comparação para cada combinação de fatores, que posteriormente serão aplicados no cruzamento dos diferentes mapas e cartas.

O procedimento tradicional de análise baseia-se no princípio de interseção de conjuntos espaciais de mesma ordem de grandeza. A transposição desta metodologia analógica para o ambiente de SIG requer o uso de operações booleanas (OU, E, NÃO) para expressar as diferentes condições. Esta técnica utiliza o computador como mera ferramenta automatizada de desenho, ignorando todo o potencial de processamento numérico do SIG, e gera discontinuidades inexistentes no dado original. Mapas são dados e não desenhos. Tratar mapas como dados significa dar forma numérica ao espaço ao associar, a cada localização, um valor que representa a grandeza em estudo; requer ainda, na maior parte dos casos, o uso do formato matricial (“raster”), mais adequado a uma representação contínua do espaço (BRASIL-INPE, 2004).

A análise espacial em SIG será muito melhor realizada com uso da técnica de classificação contínua: os dados são transformados para o espaço de referência $[0..1]$ e processados por combinação numérica, através de média ponderada ou inferência “fuzzy”. Ao invés de um mapa temático com limites rígidos gerados pelas operações booleanas, obteremos uma superfície de decisão, sob forma de uma grade numérica que representa uma visão contínua da variação da nova grandeza.

A grande vantagem deste procedimento está na construção de cenários que indicam os diferentes compromissos de tomada de decisão. Obtemos assim uma flexibilidade e um entendimento muito maior sobre os problemas espaciais.

Após selecionar quais os fatores que se deseja combinar e estabelecer a importância relativa de cada um deles, o sistema fornece uma indicação da consistência do julgamento aplicado. Segundo os especialistas em PAH, é aconselhável que o índice de consistência seja sempre menor que 0,1. Assim, se o índice de consistência foi maior que 0,1, sugere-se refazer o julgamento.

Como resultado, esta função do *software* SPRING gera um código básico de programa em LEGAL, que deve ser completado com as informações específicas sobre os dados nos quais está sendo aplicado o procedimento. A aplicação da técnica PAH ocorre sob a forma de uma média ponderada. Assim, os dados são convertidos para uma escala de $[0..1]$ antes da aplicação do programa.

Neste trabalho fez-se uso da ferramenta de suporte à decisão (PAH) do SPRING 4.1. Esta ferramenta permite a associação de no máximo 5 categorias. Desta forma, as categorias escolhidas, consideradas como mais representativas são aquelas já enumeradas como fatores intervenientes:

- Declividade;
- Permeabilidade;
- Morfologia e solo;
- Potencial de escoamento superficial;
- Área de manancial.

Por se tratar de fatores intervenientes que podem apresentar um critério de importância diferenciado para cada tipo de uso, a ferramenta de suporte à decisão foi aplicada para cada um dos diferentes tipos de uso, tendo sido agrupados os usos relativos a culturas diversas, eucalipto e café (Figuras 49 a 53). Note-se que a razão de consistência é menor que 0,1 em todos os casos.

FIGURA 49: Suporte à decisão SPRING 4.1 para ocupação urbana.

| Critério | | Peso | | Critério | |
|-------------------|---|-----------------|---|-------------------|-----|
| Mananciais | 2 | Um Pouco Melhor | ▼ | Declividade | <=> |
| Declividade | 2 | Um Pouco Melhor | ▼ | Morfologia e solo | <=> |
| Declividade | 2 | Um Pouco Melhor | ▼ | Permeabilidade | <=> |
| Potencial de esc | 2 | Um Pouco Melhor | ▼ | Declividade | <=> |
| Mananciais | 2 | Um Pouco Melhor | ▼ | Morfologia e solo | <=> |
| Mananciais | 2 | Um Pouco Melhor | ▼ | Permeabilidade | <=> |
| Mananciais | 1 | Igual | ▼ | Potencial de esc | <=> |
| Morfologia e solo | 2 | Um Pouco Melhor | ▼ | Permeabilidade | <=> |
| Potencial de esc | 3 | Algo Melhor | ▼ | Morfologia e solo | <=> |
| Potencial de esc | 2 | Um Pouco Melhor | ▼ | Permeabilidade | <=> |

Razão de Consistência:

FIGURA 50: Suporte à decisão SPRING 4.1 para ocupação por culturas diversas.

FIGURA 51: Suporte à decisão SPRING 4.1 para ocupação por indústrias.

| Critério | | Peso | | Critério | |
|------------------------|---|-----------------|---|-------------------|------------------------------------|
| Mananciais | 2 | Um Pouco Melhor | ▼ | Declividade | <=> |
| Morfologia e solo | 2 | Um Pouco Melhor | ▼ | Declividade | <=> |
| Permeabilidade | 2 | Um Pouco Melhor | ▼ | Declividade | <=> |
| Potencial de esc | 2 | Um Pouco Melhor | ▼ | Declividade | <=> |
| Mananciais | 1 | Igual | ▼ | Morfologia e solo | <=> |
| Mananciais | 1 | Igual | ▼ | Permeabilidade | <=> |
| Potencial de esc | 2 | Um Pouco Melhor | ▼ | Mananciais | <=> |
| Permeabilidade | 2 | Um Pouco Melhor | ▼ | Morfologia e solo | <=> |
| Potencial de esc | 2 | Um Pouco Melhor | ▼ | Morfologia e solo | <=> |
| Potencial de esc | 2 | Um Pouco Melhor | ▼ | Permeabilidade | <=> |
| Razão de Consistência: | | | | | <input type="text" value="0.026"/> |

FIGURA 52: Suporte à decisão SPRING 4.1 para ocupação por mineração.

FIGURA 53: Suporte à decisão SPRING 4.1 para ocupação por aterro sanitário.

TABELA 25: Pesos obtidos com a utilização da ferramenta de suporte à decisão PAH.

| Fatores intervenientes | Peso a ser atribuído para cada tipo de uso | | | | |
|-------------------------------------|--|---|-----------|-----------|---------------------|
| | urbano | café, eucalipto, culturas diversas | indústria | mineração | aterro sanitário |
| Declividade | 0,184 | 0,184 | 0,144 | 0,108 | 0,143 |
| Permeabilidade | 0,242 | 0,107 | 0,178 | 0,217 | 0,165 |
| Morfologia e solo | 0,088 | 0,131 | 0,088 | 0,163 | 0,143 |
| Potencial de escoamento superficial | 0,165 | 0,301 | 0,224 | 0,327 | 0,221 |
| Área de manancial | 0,321 | 0,276 | 0,367 | 0,185 | 0,329 |

8.2.2 - Ponderação dos fatores intervenientes para cada tipo de uso.

Cada um dos fatores intervenientes apresenta uma série de classes, com exceção da categoria que representa as áreas de mananciais. Para a aplicação da rotina gerada em LEGAL é necessário que as classes sejam ponderadas de forma que os valores representados estejam contidos entre 0 e 1.

O fator declividade foi ponderado de forma diretamente proporcional, ou seja, aumento do valor ponderado para conflito de uso de acordo com o aumento do percentual de declividade para todos os tipos de usos.

Assim como para a declividade, a permeabilidade também recebeu ponderação diretamente proporcional para todos os tipos de usos.

No fator morfologia e solo a classe 1 (cristas/escarpas rochosas) recebeu um valor ponderado para conflito de uso igual a 1 em todos os tipos de usos considerando as características de um relevo escarpado, solos rasos e instáveis, associados a afloramentos rochosos. A classe 2 (vertentes ravinadas) recebeu um valor ponderado para conflito de uso igual a 0,8 em todos os tipos de usos em se tratando de vertentes íngremes, com ocorrência de solos rasos e pedregosos. A classe 3 (colinas de topo aplainado) recebeu o menor valor ponderado para conflito de uso para o fator morfologia e solo. Atribuiu-se 0,2 para todos os tipos de uso nesta classe, considerando tratar-se de regiões com formas convexas e solos profundos e bem drenados. A classe 4 (rampas de colúvio) recebeu valores ponderados para conflito de uso diferenciados para cada tipo de uso. Considerando tratar-se de regiões constituídas por material coluvionar formado a partir dos topos e vertentes correspondendo ao Latossolo Vermelho-Amarelo

distrófico, na ponderação, atribuiu-se maior peso para os usos indústria e aterro sanitário e pesos menores para culturas, incluindo café e eucalipto, uso urbano e mineração. Por fim, a classe 5 (terraços e planícies fluviais), constituída por relevo plano e solo aluvial (Neossolo Flúvico), recebeu valores ponderados para conflito de uso também diferenciados para cada tipo de uso. De forma análoga à classe 4, porém com valores diferentes, para esta classe atribuiu-se maior peso para os usos indústria e aterro sanitário e pesos menores para uso urbano, mineração e culturas, incluindo café e eucalipto.

TABELA 26: Ponderação das classes para aplicação da rotina gerada em LEGAL.

| Fatores intervenientes | classes | USOS | | | | |
|-------------------------------------|-----------------------|--------|------------------------------------|-----------|-----------|------------------|
| | | urbano | café, eucalipto, culturas diversas | indústria | mineração | aterro sanitário |
| Declividade | 0,00 a 5,00 % | 0,17 | 0,17 | 0,17 | 0,17 | 0,17 |
| | 5,01 a 10,00 % | 0,33 | 0,33 | 0,33 | 0,33 | 0,33 |
| | 10,01 a 20,00 % | 0,50 | 0,50 | 0,50 | 0,50 | 0,50 |
| | 20,01 a 30,00 % | 0,67 | 0,67 | 0,67 | 0,67 | 0,67 |
| | 30,01 a 45,00 % | 0,83 | 0,83 | 0,83 | 0,83 | 0,83 |
| | > 45,00 % | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| Permeabilidade | $<10^{-5}$ | 0,10 | 0,17 | 0,17 | 0,17 | 0,17 |
| | 10^{-5} a 10^{-4} | 0,20 | 0,33 | 0,33 | 0,33 | 0,33 |
| | 10^{-4} a 10^{-3} | 0,30 | 0,50 | 0,50 | 0,50 | 0,50 |
| | 10^{-3} a 10^{-2} | 0,50 | 0,67 | 0,67 | 0,67 | 0,67 |
| | 10^{-2} a 10^{-1} | 0,70 | 0,83 | 0,83 | 0,83 | 0,83 |
| | $> 10^{-1}$ | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| Morfologia e solo | classe 1 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| | classe 2 | 0,80 | 0,80 | 0,80 | 0,80 | 0,80 |
| | classe 3 | 0,20 | 0,20 | 0,20 | 0,20 | 0,20 |
| | classe 4 | 0,40 | 0,40 | 0,80 | 0,40 | 0,80 |
| | classe 5 | 0,60 | 0,60 | 1,00 | 0,60 | 1,00 |
| Potencial de escoamento superficial | muito alto | 0,80 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| | alto | 0,60 | 0,80 | 0,70 | 0,80 | 0,80 |
| | médio | 0,20 | 0,60 | 0,20 | 0,60 | 0,60 |
| | baixo | 0,80 | 0,40 | 0,70 | 0,40 | 0,70 |
| | muito baixo | 1,00 | 0,20 | 1,00 | 0,20 | 1,00 |
| Área de manancial | manancial | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |

O fator potencial de escoamento superficial foi ponderado de forma diretamente proporcional, ou seja, aumento do valor ponderado para conflito de uso de acordo com o aumento do potencial de escoamento superficial, para os usos: mineração e culturas, incluindo café e eucalipto. Para os usos: urbano, indústria e aterro sanitário, as classes que representam um maior potencial de escoamento superficial receberam

maior valor, assim como as de baixo potencial de escoamento superficial, considerando sua propensão à inundação. As classes intermediárias receberam os menores valores.

A rotina gerada em LEGAL recebeu então os valores para ponderação para cada um dos fatores intervenientes conforme a Tabela 26. Esta rotina contém ao final uma expressão para a geração da média ponderada a partir dos valores indicados na Tabela 25. O resultado final é uma grade numérica representando o eventual conflito ponderado de uso, a partir da hipótese de que o uso considerado está distribuído sobre toda a área de estudo. Desta forma, ao produto obtido nesta etapa denominamos “potencial de conflito de uso”.

FIGURA 54: Potencial de conflito de uso para ocupação urbana.

A Figura 54 corresponde à distribuição sobre toda a área de estudo do potencial de conflito de uso para a ocupação urbana. É possível através desta distribuição identificar quais áreas seriam mais adequadas à expansão urbana, ou seja, quais áreas apresentariam menores conflitos no caso de sua ocupação para fins urbanos.

Neste caso evidencia-se o menor conflito para ocupações nas regiões sul e sudoeste do município.

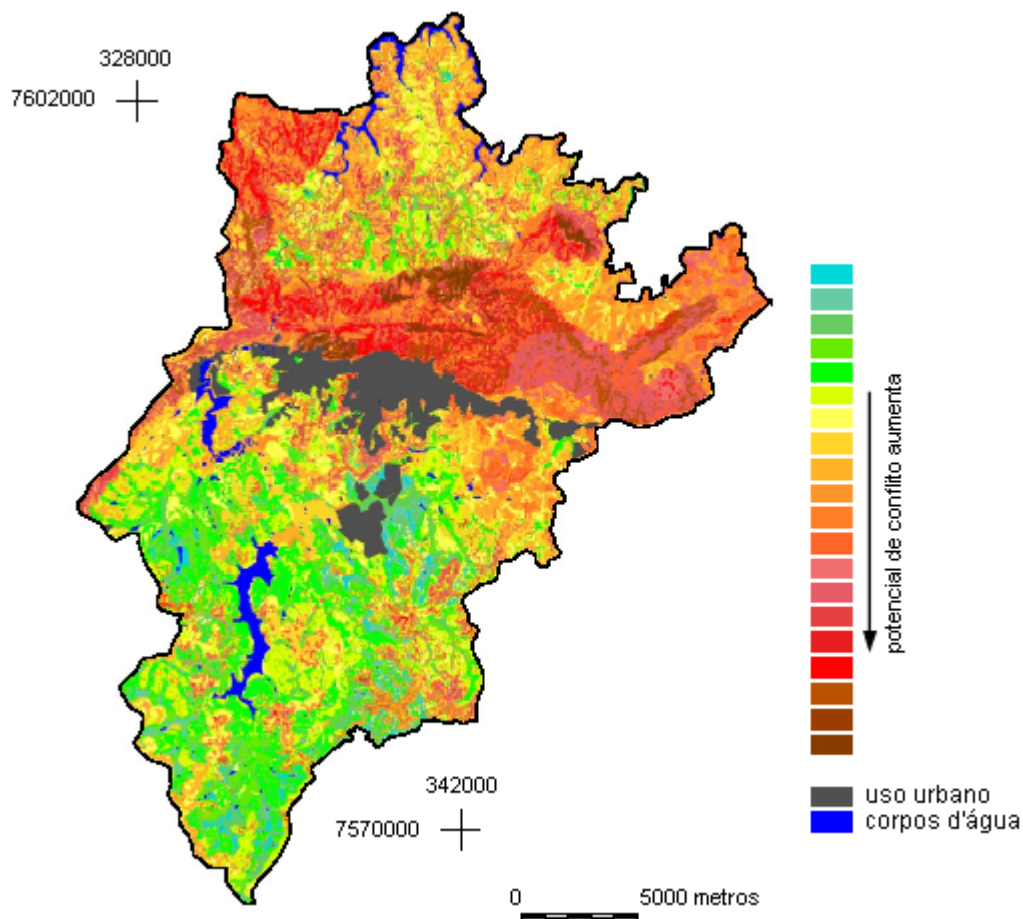


FIGURA 55: Potencial de conflito de uso para ocupação por culturas diversas.

A distribuição do potencial de conflito de uso para ocupação por culturas diversas, Figura 55, também evidencia os menores conflitos para ocupações nas regiões sul e sudoeste do município.

Como o objetivo destas representações é identificar apenas o potencial de conflito para uma eventual ocupação, cabe destacar que nesta representação encontra-se identificada a área efetivamente ocupada pelo uso urbano e também os corpos d'água, uma vez tratar-se de situações já consolidadas.

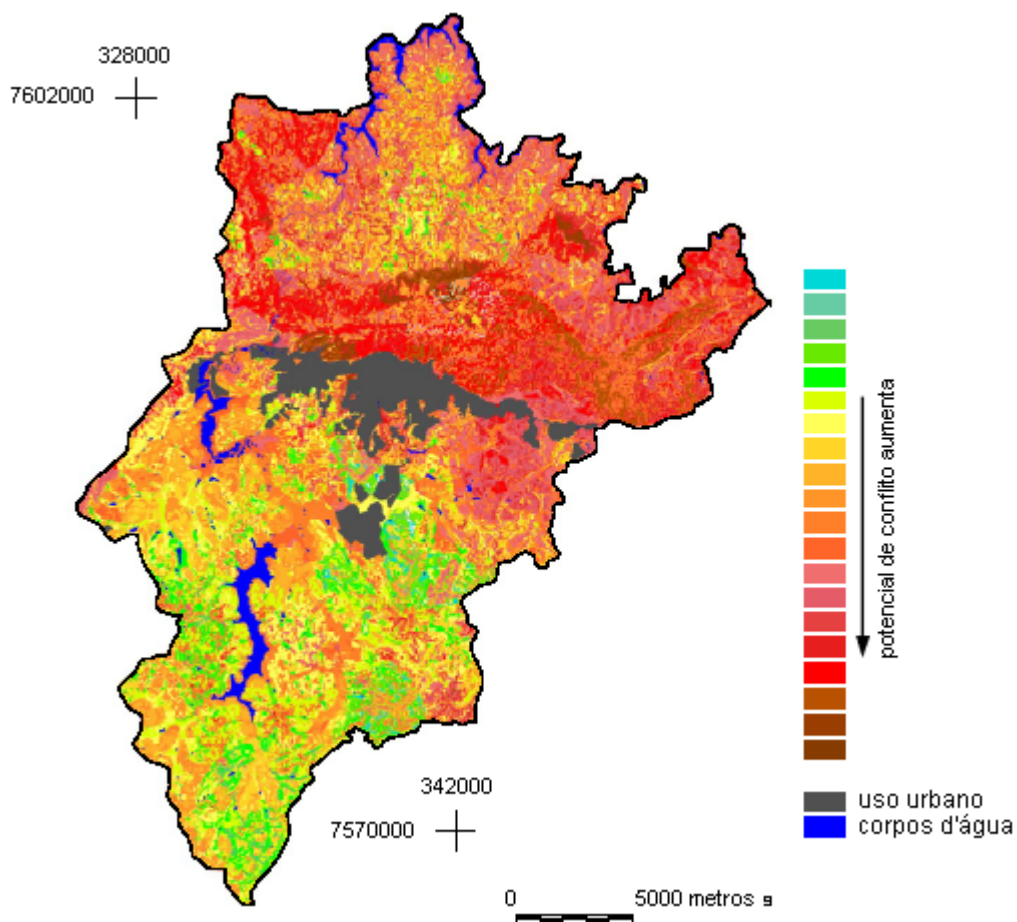


FIGURA 56: Potencial de conflito de uso para ocupação por indústrias.

A Figura 56 corresponde à distribuição sobre toda a área de estudo do potencial de conflito de uso para a ocupação por indústrias. Aqui é possível identificar quais áreas seriam mais adequadas à implantação de indústrias obtendo-se os menores conflitos de uso.

Mais uma vez, evidencia-se a região sul como a de menor potencial de conflito para este tipo de uso, porém com uma área representativa menor.

Esta diminuição ocorre justamente naquelas áreas onde o potencial de escoamento superficial recebe uma ponderação mais expressiva que os usos abordados anteriormente.

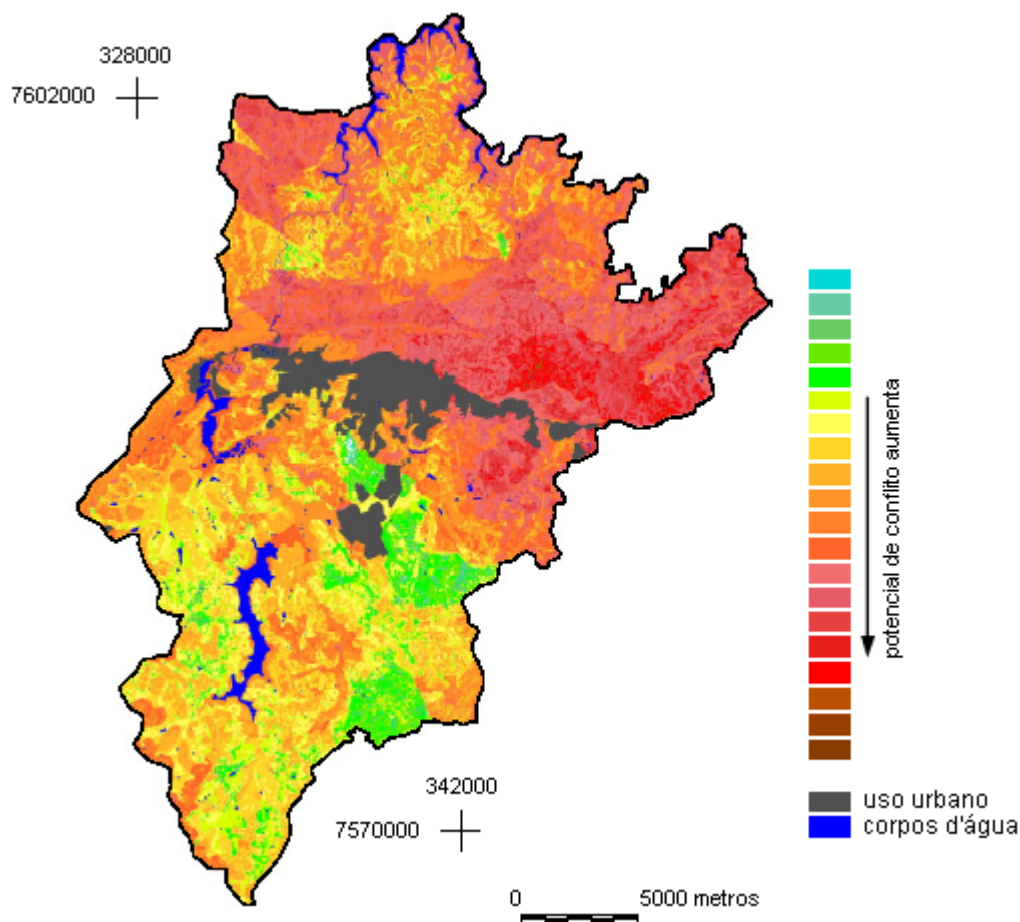


FIGURA 57: Potencial de conflito de uso para ocupação por mineração.

O potencial de conflito de uso para ocupação por mineração pode ser analisado através da Figura 57. Nesta representação, é possível identificar, também na região sul, algumas áreas com menor potencial de conflito para este tipo de uso.

É evidente que a ocupação de uma área para implantação de atividade mineraria não pode estar ligada simplesmente ao conflito que possa ocasionar para que a região de uso seja definida. As jazidas ocorrem esparsas e vinculadas a outros fatores de ordem geológica e podem eventualmente encontrar-se em áreas onde o uso pode apresentar níveis de conflito expressivos.

Nestes casos a identificação do potencial de conflito poderá auxiliar o planejamento das ações mitigadoras do conflito, bem como a ação do agente de fiscalização.

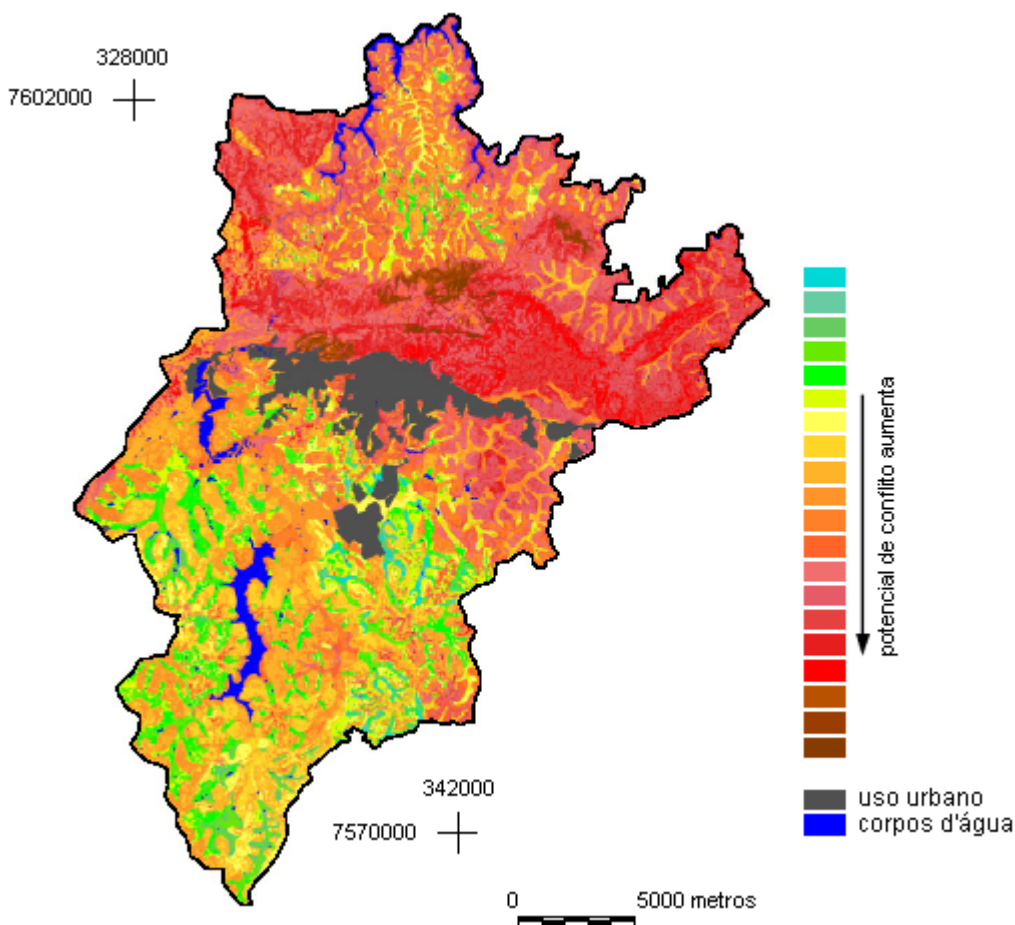


FIGURA 58: Potencial de conflito de uso para ocupação por aterro sanitário.

Nesta última representação de potencial de conflito de uso, Figura 58, identifica-se para ocupação por aterros sanitários mais uma vez a região sul, com algumas áreas onde a implantação teria menor potencial de conflito.

8.2.3 - Geração de Carta de Conflito de Uso associada a banco de dados geológico-geotécnico.

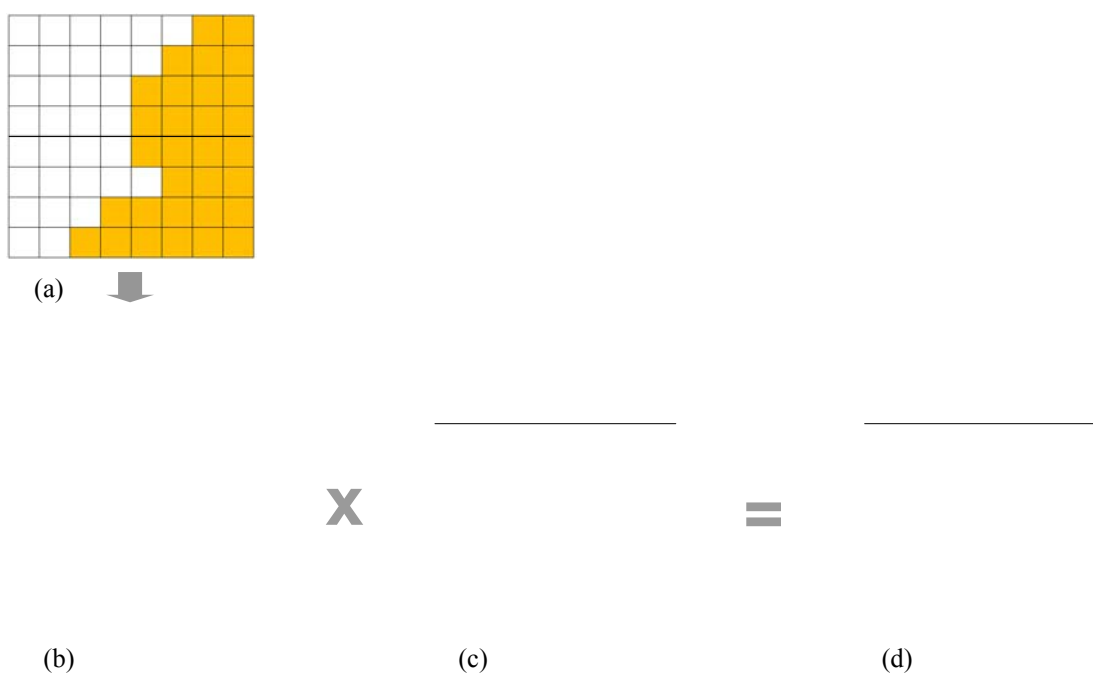
Nesta etapa, já dispomos então do mapa de uso e ocupação do solo, representado na Figura 39, e do modelo numérico representado por matriz de valores ponderados de conflito de uso, para cada um dos tipos de uso, com representações temáticas apresentadas nas Figuras 54 a 58.

As matrizes de valores ponderados de conflito de uso para os usos considerados estão distribuídas sobre toda a área de estudo. Sendo assim, fez-se

necessário a anulação dos valores onde o respectivo uso não encontra correspondência no mapa de uso e ocupação.

Foi utilizada então uma rotina em Linguagem Espacial de Geoprocessamento Algébrico - LEGAL, do *software* SPRING, para estabelecer uma matriz com valor 1 para um determinado uso, e valor 0 para os demais usos. Esta rotina conduz à obtenção de uma matriz para cada tipo de uso, sendo nulos os valores dos usos não correspondentes à matriz em questão, conforme Figura 59.

Ainda dentro da mesma rotina em LEGAL, procedeu-se operação algébrica entre cada matriz com os valores de potencial de conflito de uso e a respectiva matriz com valores unitários para o uso em questão. Obteve-se então uma matriz de conflito de uso com valores válidos somente nas regiões onde existia a correspondência do respectivo uso, sendo nulos os valores nas demais áreas.



- a) representação matricial temática de uso
- b) representação matricial unitária numérica de um uso específico
- c) representação matricial numérica do potencial de conflito de uso distribuído sobre toda a região de estudo, para um uso específico
- d) representação matricial numérica do conflito de uso em sua área de abrangência

FIGURA 59: Fluxo de obtenção do conflito de uso para cada tipo de uso.

O procedimento esquematizado na Figura 59 foi aplicado para cada um dos cinco tipos de uso, obtendo-se assim cinco representações matriciais numéricas dos conflitos de usos em suas áreas de abrangência.

Na mesma rotina em LEGAL, procedeu-se operação de sobreposição por adição das cinco representações matriciais numéricas dos conflitos de usos. Como o procedimento esquematizado na Figura 59 anula os valores onde o uso não tem abrangência, não há risco de sobreposição de campos válidos e conseqüente majoração de valores.

Dentro do mesmo código em LEGAL foi também desenvolvida uma rotina para proceder ao fatiamento em classes de conflito de uso, com a geração de uma representação matricial temática única, a Carta de Conflito de Uso.

Foram consideradas seis classes de conflito de uso: nenhum conflito, muito baixo, baixo, médio, alto e muito alto. As características para cada classe são apresentadas na Tabela 27.

TABELA 27: Características consideradas para as classes de conflito de uso.

| Classe de conflito de uso | Características |
|---------------------------|--|
| nenhum conflito | Inexistência de conflito de uso. Situação natural ou com alterações não identificadas. |
| muito baixo | Conflito existente, porém de efeitos com probabilidades muito baixas de ocorrência. Os efeitos podem ser facilmente eliminados com soluções simples de engenharia. Dispensa monitoramento sistemático. |
| baixo | Conflito com probabilidades baixas de propagação de efeitos. Os efeitos podem ser contornados com soluções simples de engenharia. Dispensa monitoramento sistemático freqüente. |
| médio | Conflito de uso com efeitos passíveis de controle e mitigação com soluções de engenharia. Indica-se monitoramento periódico e fiscalização. |
| alto | Expressivo conflito de uso, sendo indicadas medidas de desestimulação de novas implantações, medidas de controle e fiscalização sistemática e mitigação de efeitos. As soluções de engenharia para minimizar os efeitos são onerosas. |
| muito alto | Extremo conflito de uso, sendo indicadas medidas severas e urgentes de contenção de novas implantações, desmobilização das existentes, controle, fiscalização e mitigação de efeitos. As soluções de engenharia, quando existentes, para minimizar os efeitos, são muito onerosas e inviáveis. |

Com base na Tabela 27 foi estudada a faixa de abrangência dos valores ponderados de conflito de uso para cada uma das classes.

A identificação das classes se deu pelo fatiamento do modelo. Segundo FELGUEIRAS (2002), o fatiamento de um modelo consiste em se definir intervalos, ou fatias, de cotas com a finalidade de se gerar uma imagem temática a partir do modelo. Assim, cada tema, ou classe, da imagem temática é associado a um intervalo de cotas dentro dos valores atribuídos ao fenômeno modelado. O usuário do SIG é responsável pela definição das fatias e também da associação dessas fatias com classes predefinidas no sistema. As fatias são definidas de acordo com intervalos de cotas que são úteis para determinada aplicação.

Na Figura 60 temos que a classe C_0 está associada ao intervalo entre Z_0 e Z_1 , a classe C_i está associada ao intervalo entre Z_i e Z_j , e assim por diante. Os valores Z_0 e Z_f são os extremos desse modelo.

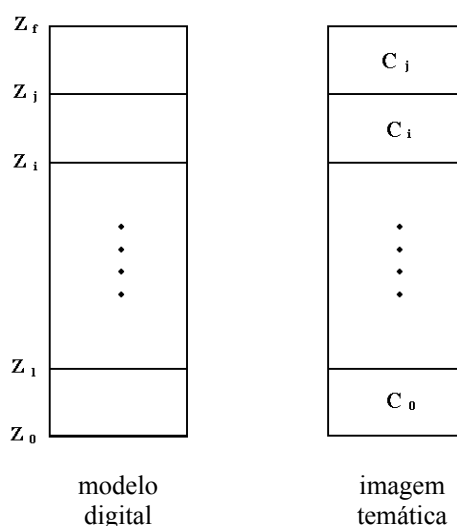


FIGURA 60: Ilustração do processo de fatiamento (FELGUEIRAS, 2002).

Inicialmente obteve-se uma carta de conflito de uso com faixas de intervalos dos valores ponderados utilizando uma mesma amplitude, ou seja, seguindo uma progressão aritmética, com padrão de acréscimo $P_{(i,f)} = 1$:

$$P_{(i,f)} = \frac{Z_{i+1} - Z_i}{Z_j - Z_i} = 1$$

Porém, através de observações de campo dos usos e seus efetivos conflitos gerados, ou com grande potencial de ocorrência, identificou-se a necessidade de um redimensionamento diferenciado do intervalo de cada classe.

Vários fatores de progressão foram testados até a obtenção de uma carta de conflito de uso onde as classes mais se aproximassem das características indicadas na Tabela 27. Evidentemente este fator é característico para a área de estudo e os fatores intervenientes considerados. Com o objetivo de padronizar e inter-relacionar as amplitudes das classes, optou-se por faixas de abrangência dos valores ponderados, seguindo uma progressão geométrica. O padrão de acréscimo $P_{(i,f)}$ definido como mais adequado, após sucessivos testes e observações de campo, foi 0,825:

$$P_{(i,f)} = \frac{Z_{j+1} - Z_j}{Z_j - Z_i} = 0,825$$

A progressão dos valores pode ser observada na curva representada na Figura 61.

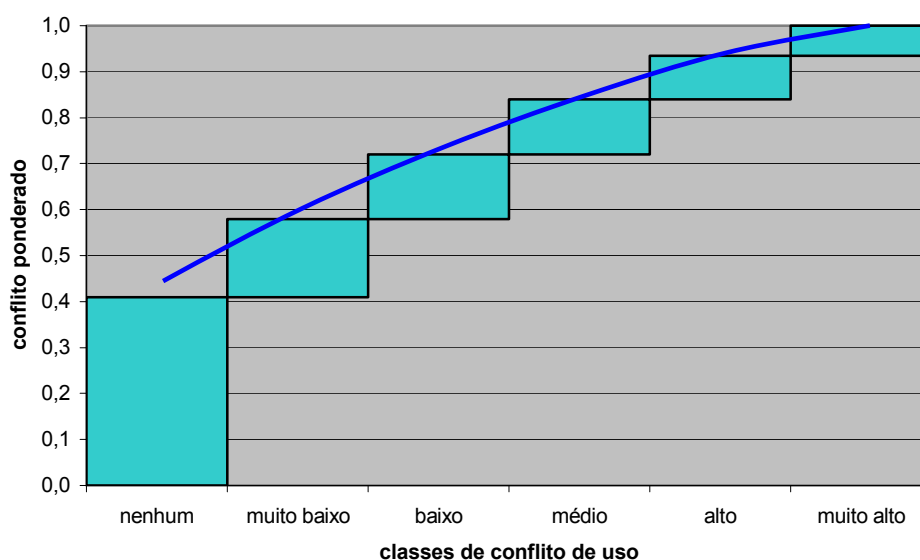


FIGURA 61: Progressão dos intervalos das classes de conflito de uso.

TABELA 28: Intervalo de valores ponderados de conflito de uso.

| Classe de conflito de uso | Faixa de valores ponderados de conflito de uso |
|---------------------------|--|
| nenhum conflito | 0 – 0,41 |
| muito baixo | 0,41 – 0,58 |
| baixo | 0,58 – 0,72 |
| médio | 0,72 – 0,84 |
| alto | 0,84 – 0,94 |
| muito alto | 0,94 – 1,00 |

A primeira classe, C_0 , que representa “nenhum conflito”, tem um intervalo ($Z_1 - Z_0$) que não guarda uma relação de progressão com as demais classes. Isto se deve ao fato de que o menor valor ponderado de conflito de uso encontrado na representação numérica matricial, obtida a partir da aplicação do Processo Analítico Hierárquico, com o uso da rotina em LEGAL, descrita no item 8.2.2, foi de 0,41. Este valor foi encontrado na matriz numérica do potencial de conflito de uso para ocupação por mineração.

A produção da carta de conflito de uso foi concluída com a exportação do mapa temático contendo as classes de conflito de uso espacialmente distribuídas, em formato TIFF através do *software* SPRING. A imagem assim gerada foi importada pelo *software* AutoCAD Map, no qual se procedeu a preparação do formato final para impressão.

TABELA 29: Classes de conflito de uso e percentual de área ocupada.

| Classe de conflito de uso | Percentual de área ocupada |
|---------------------------|----------------------------|
| nenhum conflito | 69,65 |
| muito baixo | 0,83 |
| baixo | 14,96 |
| médio | 10,35 |
| alto | 3,57 |
| muito alto | 0,64 |

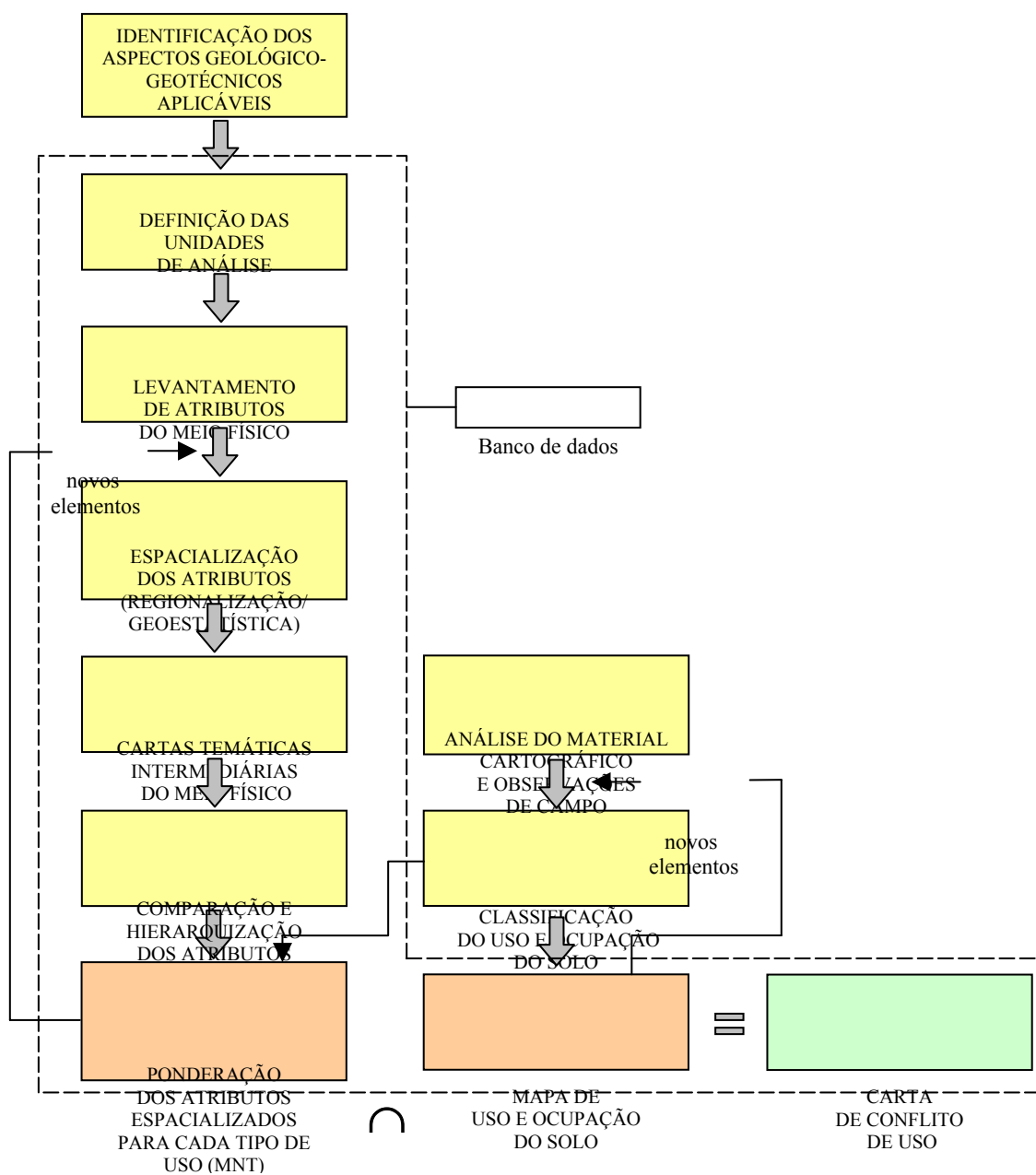


FIGURA 62: Roteiro metodológico para elaboração da Carta de Conflito de Uso.

9 - CONCLUSÕES

A inclusão no estudo de toda a área territorial nos Planos Diretores municipais foi sabiamente exigida no Estatuto da Cidade. Durante a elaboração das cartas intermediárias deste trabalho, bem como da carta final, foi possível depreender como os atributos da área externa ao perímetro urbano interferem na área urbanizada. Determinados tipos de uso, e a conseqüente alteração das características do meio físico de entorno à mancha urbana, podem comprometer seriamente a qualidade do ambiente urbano. Com isto, a probabilidade de ocorrerem perdas de ordem econômica para mitigação de efeitos, ou combate às causas de usos não planejados, será grande.

Neste trabalho, parte da área objeto de estudo, representada pela porção de área não urbana do município, localizada nas regiões sul, leste e oeste, representa a totalidade dos mananciais e das bacias de contribuição que convergem para a área urbana. Esta não é uma situação inerente a todos os municípios, mas se em algumas regiões o uso não planejado não prejudicar a qualidade de vida urbana do município a que pertence, certamente irá comprometer a de um município próximo. Sendo assim, podemos depreender a importância de se conhecer as características, não somente da área urbana, mais de toda a extensão territorial para um correto planejamento urbano e gestão territorial.

O Município de Poços de Caldas apresenta uma expressiva variação, tanto nas características morfológicas, quanto nas características do material inconsolidado. As características morfológicas puderam ter uma significativa influência no resultado final, considerando seu nível de precisão e o tratamento dos atributos para a obtenção de um modelo numérico de terreno confiável. Dado o número de amostragens efetuadas e os resultados obtidos em outras pesquisas, confrontados com a extensão territorial da área de estudo, a concentração do número de pontos por unidade de área ainda não pôde conferir uma representação dos atributos referentes ao material inconsolidado com a precisão desejada. Porém, ao longo de todo o processamento para obtenção das cartas intermediárias, os valores destes atributos foram ponderados juntamente com os atributos oriundos do modelo numérico de terreno, minimizando o efeito de imprecisões. Como a proposta é de um modelo dinâmico, a precisão das

representações irá aumentar sempre que novos valores forem acrescentados ao banco de dados.

Embora tenham sido considerados apenas cinco fatores intervenientes na elaboração da carta final, as possibilidades são muito mais amplas. Em princípio, a ferramenta de análise pelo Processo Analítico Hierárquico disponível no *software* SPRING limita em cinco os fatores da comparação pareada. Porém, uma solução para contornar esta questão seria o agrupamento dos fatores afins e posteriormente a confrontação dos diferentes agrupamentos ponderados, seja através de álgebra de mapas, ou pela identificação de novos fatores na equação final da rotina de processamento.

Os fatores intervenientes considerados neste trabalho foram escolhidos em função das características da área de estudo e do material disponível. Em outros municípios certamente os fatores a serem considerados poderão ser outros, porém, o resultado final da aplicação desta metodologia será o mesmo, ou seja, uma evidenciação gráfica de conflito de uso em diferentes gradações e a implantação de um banco de dados geográfico com amplas possibilidades de pesquisas e cruzamentos de informações.

As análises feitas por profissionais em geral sobre o produto final devem, sempre que possível, levar em conta observações dos produtos intermediários como, por exemplo, a Carta de Potencial de Escoamento Superficial, permitindo assim conclusões mais precisas para cada tipo de estudo. Esta é uma possibilidade facilitada pelo banco de dados geográfico.

O uso de um banco de dados geográfico integrado à disponibilização de rotinas customizadas de processamento algébrico de mapas, permite uma fácil e rápida atualização das cartas intermediárias, bem como da carta final, com a adição de novos valores. Equipes multidisciplinares de usuários podem concluir pela alteração dos valores dos fatores de ponderação, gerando produtos finais com novas representações.

A interoperabilidade dos atuais *softwares* usados em geoprocessamento permite que os dados sejam migrados entre diferentes Sistema de Informações Geográficas, sem a necessidade de grandes ajustes.

Na Carta de Conflito de Uso obtida não são identificados conflitos onde ocorrem matas ou campo cerrado / pastagens. Na metodologia aplicada considera-se

que estes usos encontram-se preservados em sua condição natural. Porém, existem não poucas áreas onde inicialmente havia ocorrência de matas e que hoje é ocupada por campo-cerrado/pastagens, devido ao avanço da ação antrópica. Normalmente as alterações mais expressivas destes usos ocorreram em épocas em que não se dispõe de registro por imagem de sensor remoto. Também, dificilmente se encontrará registros cartográficos que reproduzam estas condições anteriores com boa precisão. No caso dos corpos d'água, também não foi considerado o conflito que eventualmente pode ocorrer com a implantação de barragens e alagamento de áreas.

O uso de imagens de sensoriamento remoto em momento algum dispensa as observações de campo para identificação do tipo de uso. Os diferentes estágios dos vários tipos culturas, muitas das vezes são interpretados pelos classificadores de forma a não representarem a situação real. Regiões com grande variedade de tipos de culturas, principalmente em pequenas propriedades, podem representar uma dificuldade a mais. Portanto, o tratamento e classificação de imagens, sempre que possível, deve ser efetuado num banco de dados a parte.

O produto final apresenta uma leitura fácil e rápida do tema representado, ou seja, do conflito de uso. Conjuntamente à utilização de um Sistema de Informações Geográficas, as informações gráficas podem ser sobrepostas rapidamente a outros temas ou informações, possibilitando uma infinidade de análises e conclusões. A maioria dos *softwares* utilizados em Sistema de Informações Geográficas dispõe de uma gama muito grande de ferramentas de pesquisas e geração de novas cartas temáticas a partir destas pesquisas, ampliando ainda mais a versatilidade do uso de banco de dados geográfico.

Numa primeira análise da Carta de Conflito de Uso, confrontada ao mapa de uso e ocupação, somos induzidos a questionar se toda a área cuja situação não seja a natural, realmente implica em conflito de uso. A carta de conflito de uso visa exatamente isto: indicar onde ocorre a atuação antrópica e qual o seu nível de conflito. A implantação, por exemplo, de uma cultura em terreno apropriado, por menos agressiva que seja, implica na alteração das condições naturais daquela área. Da mesma forma, o avanço da área urbanizada sobre uma área com características próprias para o assentamento humano, também implica na alteração das condições naturais daquela área.

Para o caso específico da área objeto de estudo, vários outros fatores relevantes podem ser ponderados em trabalhos posteriores, entre os quais: a localização do cemitério, o sistema de fraturas, etc.

A carta de conflito de uso não visa somente indicar áreas com uma gradação de usos inadequados, mas também permitir identificar as regiões onde existe a necessidade de um planejamento mais minucioso para a ocupação de forma a preservar a sustentabilidade do meio, bem como para a programação de ações de fiscalização dos usos e mitigação dos efeitos.

10 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMORIM, H. R. *Estudo dos atributos do meio físico com base para o zoneamento geoambiental da região de influência do reservatório da Usina Hidroelétrica de Caconde (SP), escala:1:50.000, com uso de geoprocessamento*. Dissertação (Mestrado) - EESC – USP. 2003.
- BARBOSA, C.C. F. et al. *Operadores Zonais em Álgebra de Mapas e Sua Aplicação a Zoneamento Ecológico-Econômico*. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, Salvador, Bahia, 1998. Anais, INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1998. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/geopro/papers.html>>. Acesso em: 01 nov. 2002.
- BRASIL. Departamento Nacional de Produção Mineral. *Mapa Geológico*. Folha SF.23-V-C (Ribeirão Preto), folha SF.23-Y-A (Campinas), folha SF.23-V-D (Varginha) e folha SF.23-Y-B (Guaratinguetá). Escala 1:250.000. Projeto Sapucaí. Brasília, 1979.
- BRASIL. Departamento Nacional de Produção Mineral. *Projeto Sapucaí – Estado de Minas Gerais e São Paulo – Relatório Final de Geologia*. Série Geologia N.º 4 – Seção Geologia Básica N.º 2. Brasília, 1979.
- BRASIL. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. *Filtragem espacial*. Tutorial. SPRING 3.6.1. CD-ROM. José dos Campos, 2002.
- BRASIL. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. *Filtragem espacial*. Tutorial. SPRING 4.1. CD-ROM. José dos Campos, 2004.
- BRASIL. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. *Produtos MNT*. SPRING 4.1. CD-ROM. José dos Campos, 2004.
- CÂMARA, G. et al. *Anatomia de Sistemas de Informação Geográfica*. 1996. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br>>. Acesso em: 01 nov. 2002.
- CÂMARA, G. et al. Álgebra de Mapas. In:_____. *Introdução à Ciência da Geoinformação*. São José dos Campos: INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2002. SPRING 3.6. 1 CD-ROM.
- CÂMARA, G. et al. Técnicas de Inferência Geográfica. In:_____. *Introdução à Ciência da Geoinformação*. São José dos Campos: INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2002. SPRING 3.6. 1 CD-ROM.

- CÂMARA, G. & MONTEIRO, A. M. V. *Introdução à modelagem dinâmica*. Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2003. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br>>. Acesso em: 19 fev. 2005.
- CAMARGO, E. C. G. Geoestatística Linear. In:_____.Análise Espacial de Dados Geográficos. São José dos Campos: INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2000.
- CAMARGO, E. C. G. Geoestatística: Fundamentos e Aplicações. In:_____.Análise Espacial de Dados Geográficos. São José dos Campos: INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2002. SPRING 3.6. 1 CD-ROM.
- CANÇADO, C. J. *Zoneamento preliminar de controle da expansão das atividades antrópicas em função dos parâmetros de contribuição do meio físico ao fenômeno da inundação – Estudo de caso: Bacia do Rio Bonito (SP)*. Tese (Doutorado). Centro de Ciências Biológicas e de Saúde - UFSCar. 2003.
- CASTRO, D. M. *Estudo do potencial à erosão acelerada das áreas urbana e de expansão urbana do Município de Descalvado (SP), ESCALA 1:10.000*. São Carlos, UFSCar, 2v., 1998.(Dissertação).
- CARVALHO, E. T. C & PRANDINI, F. L. *Áreas Urbanas* In:_____. Geologia de Engenharia. ABGE. São Paulo, 1998.
- CERRI, L. E. *Carta geotécnica: Contribuições para uma concepção voltada às necessidades brasileiras*. 6º CBGE/IX COBRAMSEF. (1990).
- COMIG - COMPANHIA MINERADORA DE MINAS GERAIS. *Projeto hidrogeoambiental das estâncias hidrominerais da Companhia Mineradora de Minas Gerais – COMIG. Estância Hidromineral de Poços de Caldas*. Belo Horizonte, 2001.
- COLLARES, E. G. *Mapeamento geotécnico da quadricula de Bragança Paulista (Escala: 1:50.000): ênfase nos materiais inconsolidados*. Dissertação (Mestrado) - EESC – USP. 2v. 1994.
- CRUZ, W. B. & PEIXOTO, C. A. M. *As águas termais de Poços de Caldas, MG – Estudo experimental das interações água-rocha*. Revista Brasileira de Geociências, volume 19, número 1, março, 1989.

- CRUZ, W. B. & PEIXOTO, C. A. M. *A evolução química das águas subterrâneas de Poços de Caldas, MG*. Revista Brasileira de Geociências, volume 21, número 1, março, 1991.
- DE BIASI, M. *Carta de declividade de vertentes: confecção e utilização*. Geomorfologia. Notas prévias e primeiros estudos. Universidade de São Paulo. Instituto de Geografia. São Paulo, 1970.
- FELGUEIRAS, C. A. *Modelagem Numérica de Terreno*. São José dos Campos: INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2002. SPRING 3.6.1 CD-ROM.
- FERNANDES, M. R. et al. *Poços de Caldas – Caracterização de Ecossistemas*. EMATER. Belo Horizonte - MG. 2003.
- FERREIRA, M. L. C. *Proposta metodológica para desenvolvimento e implementação de um banco de dados geotécnicos*. Tese (Doutorado). EESC - USP. 1988.
- FONSECA, H. F. *Introdução à modelagem de um SIG ambiental*. Curso de Especialização em Geoprocessamento. Núcleo de Geoprocessamento. UFSCar. 2002.
- FONSECA, H. F. *Sensoriamento Remoto*. Curso de Especialização em Geoprocessamento. Núcleo de Geoprocessamento. UFSCar. 2002.
- FONTES, S. B. *Estudo geoambiental da bacia do Rio Pardo, a partir da compartimentação em Ottobacias – escala 1:100.000*. Tese (Doutorado) - EESC - USP. 2004.
- FRAYHA, R. & PARISI, C. A. P. *Mapa Geológico do Município de Poços de Caldas*. Plano de Desenvolvimento Integrado. Poços de Caldas - Minas Gerais. 1970.
- FROUFE, L. C. M. *Manejo correto do eucalipto beneficia meio ambiente*. 2003. In: _____. *ONG Conhecer para conservar*. Disponível em: < http://www.delare.com.br/resp_respambiental_art1.asp>. Acesso em: 26 mar. 2005.
- GERRA, A. J. T. et al. *Geomorfologia e Meio Ambiente*. Bertrand Brasil, 2000.
- GIBOTTI, F. *Dados, informações e banco de dados*. Curso de Especialização em Geoprocessamento. Núcleo de Geoprocessamento. UFSCar. 2002.
- KOPEZINSKI, I. *Avaliação da degradação ambiental produzida por mineração no Município de Poços de Caldas (MG) considerando procedimentos de mapeamento geotécnico*. Dissertação (Mestrado) - EESC – USP. 2v. 1998.

- KUGLER, A & FALAT, D. R. *Definições Básicas de Cartografia*. Esteio Engenharia e Aerolevantamento S.A. Módulo 01. Curitiba. PR, 2001.
- LIPORACI, S. R. *Procedimentos e metodologias de mapeamento geotécnico: aplicadas na cidade parte do município de Poços de Caldas (MG) - escala 1:25.000- visando o planejamento do uso e ocupação do meio físico* - Dissertação (Mestrado) - EESC - USP. 2v. 1994.
- LIPORACI, S. R.. *Sistemática de estudos integrados multitemporais sobre o meio ambiente visando ao planejamento ambiental do município de Poços de Caldas (MG)*. Tese (Doutorado) - EESC - USP. 1999.
- LIPORACI, S. R. & ZUQUETTE, L. V. *Caracterização geológica, diagnóstico ambiental e carta de riscos do município de Poços de Caldas (MG)*. IX Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia. Águas de São Pedro, SP. Anais ABGE. 1999.
- LOPES, E. S. S. *Registro de Imagem*. In:_____. Apostila de Curso SPRING 3.3 – Versão Windows – Spring Básico. São José dos Campos: INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1999.
- LOPES, S. C. Sistema de posicionamento global. Curso de Especialização em Geoprocessamento. Núcleo de Geoprocessamento. UFSCar. 2002.
- MENDES, R. M. *Mapeamento geotécnico da área central urbana de São José do Rio Preto (SP) Na escala 1:10.000 como subsídio ao planejamento urbano*. Dissertação (Mestrado) - UFSCar, 2v., 2001.
- MENDONÇA, M. *Proposta de Metodologia para Elaboração de Cartas de Conflito de Uso Baseadas em Banco de Dados Geográfico como Subsídio à Gestão Territorial Aplicada no Município de Poços de Caldas - MG*. Pré-Plano de Pesquisa - DECIV - UFSCar. 2002.
- MOREIRA, E. C. *Análise da automatização do processo de mapeamento geotécnico*. 1993. Dissertação (Mestrado). EESC - USP.
- MOTOKI, A. et al. *Nível de denudação atual do complexo alcalino de Poços de Caldas, MG-SP*. Anais do XXXV Congresso Brasileiro de Geologia, Belém, Pará, 1988, V.6. Sociedade Brasileira de Geologia.
- NOGAMI, J. S., VILLIBOR, D.F. *Soil characterization of mapping units for highway purposes in a tropical area*. Bulletin of the IAEG, Krefeld. (19). 1979.

- OLIVEIRA, A. G. *Mineralização de Urânio e Molibdênio no Planalto de Poços de Caldas, MG*. Porto Alegre, 1974. Sociedade Brasileira de Geologia.
- PALMA, J. B. & ZUQUETTE, L. V. *Modelagem de Transporte de Poluentes para a Área do Lixão de Poços de Caldas, Minas Gerais (Brasil)*. Geotecnia n° 97. Março 2003.
- PEJON, O. J. *Mapeamento geotécnico da Folha de Piracicaba-SP (Escala 1:100.000): estudo de aspectos metodológicos, de caracterização e de apresentação de atributos*. São Carlos, USP - São Carlos, 2v. 1992. (Tese).
- PELOGGIA, A. U. G. *Deve Haver um “método” para a cartografia geotécnica? Discussão metodológica acerca da cartografia geotécnica em algumas de suas modalidades mais difundidas*. Revista Brasileira de Geociências. Junho de 1997.
- PMPC - Prefeitura Municipal de Poços de Caldas. *Plano Diretor do Município de Poços de Caldas*. Capítulo XI - Meio Ambiente. Secretaria de Planejamento e Coordenação. 1992.
- RAMPAZZO, L. *Relatório Interno da Mineração Curimbaba Ltda. Poços de Caldas – MG*. 1997.
- RÖHM, S. A. *O que é sistema de informações geográfica*. Curso de Especialização em Geoprocessamento. Núcleo de Geoprocessamento. UFSCar. 2002.
- RUIZ, M. D., GUIDICINI, G. *Introdução*. In: _____. *Geologia de Engenharia*, p.1-2. ABGE. São Paulo, 1998.
- SOUZA, N. C. D. C. *Mapeamento geotécnico com base na compartimentação geológico-geotécnico por formas de relevo e perfis típicos de alteração*. 1992. EESC - USP.
- SOUZA, N. C. D. C. *Mapeamento geotécnico regional da folha de Aguai: com base na compartimentação por formas de relevo e perfis típicos de alteração*. 1992. Dissertação (Mestrado). EESC - USP. 2v.
- TUCCI, C. E. M. *Hidrologia: ciência e aplicação*. Ed. Da Universidade ABRH, EDUSP. Porto Alegre, 1993.
- ZUQUETTE, L. V. *Análise crítica da cartografia geotécnica e proposta metodológica para as condições brasileiras*. 1987. Tese (Doutorado). EESC - USP.

ZUQUETTE, L. V. *Importância do Mapeamento Geotécnico no Uso e Ocupação do Meio Físico: Fundamentos e Guia para elaboração*. São Carlos, USP – São Carlos, 2v. 1993. (Tese de Livre-Docência).

ZUQUETTE, L. V. & NAKAZAWA, V. A. *Cartas de Geologia de Engenharia*
In: _____. *Geologia de Engenharia*. ABGE. São Paulo, 1998.

ANEXO 1 - LINGUAGEM ESPACIAL PARA GEOPROCESSAMENTO ALGÉBRICO

Classificação textural

```

{
// TEXTURA

// PARTE I - CORREÇÃO DA TEXTURA

//DECLARAÇÃO
// DEFININDO VARIÁVEIS E SUAS CATEGORIAS
Numerico arg, sil, are, argcor, silcor, arecor ("Pontos textura");

//INSTANCIACÃO
// RECUPERANDO PLANOS DE INFORMAÇÕES
arg = Recuperere (Nome = "argila");
sil = Recuperere (Nome = "silte");
are = Recuperere (Nome = "areia");

// CRIANDO NOVO PLANO DE INFORMAÇÕES
argcor = Novo (Nome = "teor de argila corrigido", ResX = 20, ResY = 20, Escala = 1000, Min = 0, Max = 200);
silcor = Novo (Nome = "teor de silte corrigido", ResX = 20, ResY = 20, Escala = 1000, Min = 0, Max = 200);
arecor = Novo (Nome = "teor de areia corrigido", ResX = 20, ResY = 20, Escala = 1000, Min = 0, Max = 200);

// OPERAÇÃO
// CORRIGINDO OS TEORES PARA TOTALIZAR 100
argcor = arg * 100 / (arg + sil + are);
silcor = sil * 100 / (arg + sil + are);
arecor = are * 100 / (arg + sil + are);

// PARTE II - CLASSIFICAÇÃO TEXTURAL

// DECLARAÇÃO
// DEFININDO VARIÁVEIS E SUAS CATEGORIAS
Numerico texnum ("Pontos textura");

//INSTANCIACÃO
//CRIACÃO DE NOVO PI
texnum = Novo (Nome = "textura numérico", ResX = 20, ResY = 20, Escala = 1000, Min = 0, Max = 200);

// OPERAÇÃO
texnum = (argcor>50 ? 1: (argcor>30 ? (arecor>30 ? 2 : 3) : (argcor>20 ? (arecor>38 ? 4 : 5) : (silcor>80 ? 6 :
(arecor<45 ? 7 : (arecor>80 ? 8 : 9))))));

// PARTE III - RECLASSIFICAÇÃO TEXTURAL

// DECLARAÇÃO
Tematico fattex ("Classe textural");
Tabela tabf (Fatiamento);

// INSTANCIACÃO
//CRIACÃO DE NOVO PI
fattex = Novo (Nome = "classes de textura", ResX = 20, ResY = 20, Escala = 1000);

```

```
// DECLARAÇÃO DA TABELA
tabf = Novo (CategoriaFim = "Classe textural",
    [0.0, 1] : "argila",
    [1.1, 2] : "argila arenosa",
    [2.1, 3] : "argila siltosa",
    [3.1, 4] : "areia argilosa",
    [4.1, 5] : "silte argiloso",
    [5.1, 6] : "silte",
    [6.1, 7] : "silte arenoso",
    [7.1, 8] : "areia",
    [8.1, 9] : "areia siltosa");

// OPERAÇÃO
fattex = Fatie (texnum, tabf);
}
```

Potencial de escoamento superficial

```

{
// POTENCIAL DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL

// PARTE I - PONDERAÇÃO

//DECLARAÇÃO
// DEFININDO VARIÁVEIS E SUAS CATEGORIAS
Tematico perm ("Permeabilidade"), morf ("Morfologia e solo"), text ("Textura do solo"), decl ("Declividade"),
densi ("Densidade de drenagem"), feic ("Feições de armazenamento");
Tabela pperm (Ponderacao), pmorf (Ponderacao), ptext (Ponderacao), pdecl (Ponderacao), pdensi (Ponderacao),
pfeic (Ponderacao);
Numerico permp ("Permeabilidade ponderada"), morf (Morfologia e solo ponderada), textp ("Textura do solo
ponderada"), declp ("Declividade ponderada"), densip ("Densidade de drenagem ponderada"), feicp
("Feições de armazenam ponderada");

// DECLARAÇÃO DAS TABELAS
pperm = Novo (CategoriaIni = "Permeabilidade",
"<1E-5" : 30,
"1E-5 a 1E-4" : 25,
"1E-4 a 1E-3" : 20,
"1E-3 a 1E-2" : 15,
"1E-2 a 1E-1" : 10,
">1E-1" : 5);

pmorf = Novo (CategoriaIni = "Morfologia e solo",
"classe 1" : 50,
"classe 2" : 40,
"classe 3" : 30,
"classe 4" : 20,
"classe 5" : 10);

ptext = Novo (CategoriaIni = "Textura do solo",
"argila" : 55,
"argila arenosa" : 40,
"argila siltosa" : 70,
"areia argilosa" : 25,
"silte argiloso" : 80,
"silte" : 0,
"silte arenoso" : 0,
"areia" : 0,
"areia siltosa" : 10);

pdecl = Novo (CategoriaIni = "Declividade",
"0,00 a 5,00" : 10,
"5,01 a 10,00" : 25,
"10,01 a 20,00" : 50,
"20,01 a 30,00" : 80,
"30,01 a 45,00" : 125,
">45,00" : 150);

pdensi = Novo (CategoriaIni = "Densidade de drenagem",
"<2,10" : 50,
"2,10 a 2,50" : 60,
"2,50 a 2,90" : 70,
"2,90 a 3,30" : 80,

```

```

"3,30 a 3,70" : 90,
">3,70" : 100);

pfeic = Novo (Categorialni = "Feições de armazenamento",
  "barragem" : 10,
  "grande" : 20,
  "média" : 30,
  "pequena" : 40);

//INSTANCIACÃO
// RECUPERANDO PLANOS DE INFORMAÇÕES
perm = Recupere (Nome = "classes de permeabilidade");
morf = Recupere (Nome = "classes de morfologia e solo");
text = Recupere (Nome = "classes de textura");
decl = Recupere (Nome = "classes de declividade");
densi = Recupere (Nome = "classes de densidade de drenagem");
feic = Recupere (Nome = "classes feições armazenam");

// CRIANDO NOVO PLANO DE INFORMAÇÕES
permp = Novo (Nome = "classes de permeab ponderada", ResX = 20, ResY = 20, Escala = 1000, Min = 0, Max = 70);
morfp = Novo (Nome = "classes de morf ponderada", ResX = 20, ResY = 20, Escala = 1000, Min = 0, Max = 60);
textp = Novo (Nome = "classes de textura ponderada", ResX = 20, ResY = 20, Escala = 1000, Min = 0, Max = 80);
declp = Novo (Nome = "classes declividade ponderada", ResX = 20, ResY = 20, Escala = 1000, Min = 0, Max = 160);
densip = Novo (Nome = "classes densid dren ponderada", ResX = 20, ResY = 20, Escala = 1000, Min = 0, Max = 100);
feicp = Novo (Nome = "classes feições armaz ponderada", ResX = 20, ResY = 20, Escala = 1000, Min = 0, Max = 50);

// OPERAÇÃO
// DEFINIDO PONDERAÇÃO
permp = Pondere (perm, pperm);
morfp = Pondere (morf, pmorf);
textp = Pondere (text, ptext);
declp = Pondere (decl, pdecl);
densip = Pondere (densi, pdensi);
feicp = Pondere (feic, pfeic);

// PARTE II - CRIA PI POTENCIAL DE ESCOAM SUP PONDERADO

// DECLARAÇÃO
// DEFININDO VARIÁVEIS E SUAS CATEGORIAS
Numerico somap ("Potencial escoam sup ponderado");

//INSTANCIACÃO
//CRIACÃO DE NOVO PI
somap = Novo (Nome = "resultados ponderados", ResX = 20, ResY = 20, Escala = 1000, Min = 0, Max = 500);

// OPERAÇÃO
somap = permp + morfp + textp + declp + densip + feicp;

// PARTE III - FATIAMENTO

// DECLARAÇÃO

```



```
Tematico fat ("Potencial de escoamento superf");  
Tabela tabf (Fatiamento);
```

```
// INSTANCIACÃO
```

```
//CRIACÃO DE NOVO PI
```

```
fat = Novo (Nome = "classes potencial de escoam sup", ResX = 20, ResY = 20, Escala = 1000);
```

```
// DECLARAÇÃO DAS TABELAS
```

```
tabf = Novo (CategoriaFim = "Potencial de escoamento superf",
```

```
    [0.0, 178] : "muito baixo",
```

```
    [179, 230] : "baixo",
```

```
    [231, 283] : "médio",
```

```
    [284, 335] : "alto",
```

```
    [336, 388] : "muito alto",
```

```
    [389, 440] : "altíssimo");
```

```
// OPERAÇÃO
```

```
fat = Fatie (somap, tabf);
```

```
}
```

Ponderação de conflito de uso para a categoria urbano

```

{
// PONDERAÇÃO DE CONFLITO DE USO PARA A CATEGORIA URBANO
// Declividade = 0.210
// Mananciais = 0.370
// Morfologia e solo = 0.112
// Permeabilidade = 0.159
// Potencial de escoamento superf = 0.149

// Razao de consistencia CR = 0.026

// Definição dos dados de entrada
Tematico var1 ("Declividade");
Tematico var2 ("Mananciais");
Tematico var3 ("Morfologia e solo");
Tematico var4 ("Permeabilidade");
Tematico var5 ("Potencial de escoamento superf");

Tabela tab1 (Ponderacao);
tab1 = Novo (CategoriaIni = "Declividade" ,
            "0,00 a 5,00":0.17,
            "5,01 a 10,00":0.33,
            "10,01 a 20,00":0.50,
            "20,01 a 30,00":0.67,
            "30,01 a 45,00":0.83,
            ">45,00":1);

Tabela tab2 (Ponderacao);
tab2 = Novo (CategoriaIni = "Mananciais" ,
            "manancial":1);

Tabela tab3 (Ponderacao);
tab3 = Novo (CategoriaIni = "Morfologia e solo" ,
            "classe 1":1,
            "classe 2":0.8,
            "classe 3":0.1,
            "classe 4":0.3,
            "classe 5":0.5);

Tabela tab4 (Ponderacao);
tab4 = Novo (CategoriaIni = "Permeabilidade" ,
            "<1E-5":0.1,
            "1E-5 a 1E-4":0.2,
            "1E-4 a 1E-3":0.3,
            "1E-3 a 1E-2":0.4,
            "1E-2 a 1E-1":0.6,
            ">1E-1":1);

Tabela tab5 (Ponderacao);
tab5 = Novo (CategoriaIni = "Potencial de escoamento superf" ,
            "muito baixo":0.6,
            "baixo":0.40,
            "médio":0.20,
            "alto":0.80,

```

```
    "muito alto":1);

// Definição do dado de saída
Numerico var6 ("conflito_ponderado_urbano");

// Recuperação dos dados de entrada
var1 = Recupere (Nome="declividade");
var2 = Recupere (Nome="mananciais");
var3 = Recupere (Nome="morfologia");
var4 = Recupere (Nome="permeabilidade");
var5 = Recupere (Nome="potencial de escoam sup");

// Criação do dado de saída
var6 = Novo (Nome="conflito_ponderado_urbano", ResX=20, ResY=20, Escala=1000,
    Min=0, Max=1);

// Geração da media ponderada
var6 = 0.210*(Pondere(var1, tab1)) + 0.370*(Pondere(var2, tab2))+ 0.112*(Pondere(var3, tab3))+
    0.159*(Pondere(var4, tab4))+ 0.149*(Pondere(var5, tab5));
}
```

Ponderação de conflito de uso para a categoria culturas

```

{
// PONDERAÇÃO DE CONFLITO DE USO PARA A CATEGORIA CULTURAS
// Pesos a ser aplicados
// Declividade = 0.184
// Mananciais = 0.276
// Morfologia e solo = 0.131
// Permeabilidade = 0.107
// Potencial de escoamento superf = 0.301

// Razão de consistência CR = 0.035

// Definição dos dados de entrada

Tematico var1 ("Declividade");
Tematico var2 ("Mananciais");
Tematico var3 ("Morfologia e solo");
Tematico var4 ("Permeabilidade");
Tematico var5 ("Potencial de escoamento superf");

Tabela tab1 (Ponderacao);
tab1 = Novo (CategoriaIni = "Declividade" ,
            "0,00 a 5,00":0.17,
            "5,01 a 10,00":0.33,
            "10,01 a 20,00":0.50,
            "20,01 a 30,00":0.67,
            "30,01 a 45,00":0.83,
            ">45,00":1);

Tabela tab2 (Ponderacao);
tab2 = Novo (CategoriaIni = "Mananciais" ,
            "manancial":1);

Tabela tab3 (Ponderacao);
tab3 = Novo (CategoriaIni = "Morfologia e solo" ,
            "classe 1":1,
            "classe 2":0.8,
            "classe 3":0.2,
            "classe 4":0.4,
            "classe 5":0.6);

Tabela tab4 (Ponderacao);
tab4 = Novo (CategoriaIni = "Permeabilidade" ,
            "<1E-5":0.17,
            "1E-5 a 1E-4":0.33,
            "1E-4 a 1E-3":0.50,
            "1E-3 a 1E-2":0.67,
            "1E-2 a 1E-1":0.83,
            ">1E-1":1);

Tabela tab5 (Ponderacao);
tab5 = Novo (CategoriaIni = "Potencial de escoamento superf" ,
            "muito baixo":1,
            "baixo":0.70,

```

```

        "médio":0.60,
        "alto":0.80,
        "muito alto":1);

// Definição do dado de saída

Numerico var6 ("conflito_ponderado_cultura");

// Recuperação dos dados de entrada

var1 = Recupere (Nome="declividade");
var2 = Recupere (Nome="mananciais");
var3 = Recupere (Nome="morfologia");
var4 = Recupere (Nome="permeabilidade");
var5 = Recupere (Nome="potencial de escoam sup");

// Criação do dado de saída

var6 = Novo (Nome="conflito_ponderado_cultura", ResX=20, ResY=20, Escala=1000,
            Min=0, Max=1);

// Geração da media ponderada

var6 = 0.184*(Pondere(var1, tab1)) + 0.276*(Pondere(var2, tab2))+ 0.131*(Pondere(var3, tab3))+
0.107*(Pondere(var4, tab4))+ 0.301*(Pondere(var5, tab5));
}

```

Ponderação de conflito de uso para a categoria indústrias

```

{
// PONDERAÇÃO DE CONFLITO DE USO PARA A CATEGORIA INDÚSTRIA
// Pesos a ser aplicados
// Declividade = 0.144
// Mananciais = 0.367
// Morfologia e solo = 0.088
// Permeabilidade = 0.178
// Potencial de escoamento superf = 0.224

// Razao de consistencia CR = 0.018

// Definição dos dados de entrada

Tematico var1 ("Declividade");
Tematico var2 ("Mananciais");
Tematico var3 ("Morfologia e solo");
Tematico var4 ("Permeabilidade");
Tematico var5 ("Potencial de escoamento superf");

Tabela tab1 (Ponderacao);
tab1 = Novo (CategoriaIni = "Declividade" ,
            "0,00 a 5,00":0.17,
            "5,01 a 10,00":0.33,
            "10,01 a 20,00":0.50,
            "20,01 a 30,00":0.67,
            "30,01 a 45,00":0.83,
            ">45,00":1);

Tabela tab2 (Ponderacao);
tab2 = Novo (CategoriaIni = "Mananciais" ,
            "manancial":1);

Tabela tab3 (Ponderacao);
tab3 = Novo (CategoriaIni = "Morfologia e solo" ,
            "classe 1":1,
            "classe 2":0.8,
            "classe 3":0.2,
            "classe 4":0.8,
            "classe 5":1);

Tabela tab4 (Ponderacao);
tab4 = Novo (CategoriaIni = "Permeabilidade" ,
            "<1E-5":0.17,
            "1E-5 a 1E-4":0.33,
            "1E-4 a 1E-3":0.50,
            "1E-3 a 1E-2":0.67,
            "1E-2 a 1E-1":0.83,
            ">1E-1":1);

Tabela tab5 (Ponderacao);
tab5 = Novo (CategoriaIni = "Potencial de escoamento superf" ,
            "muito baixo":1,
            "baixo":0.70,

```

```
"médio":0.20,  
"alto":0.70,  
"muito alto":1);  
  
// Definição do dado de saída  
  
Numerico var6 ("conflito_ponderado_indústria");  
  
// Recuperação dos dados de entrada  
  
var1 = Recupere (Nome="declividade");  
var2 = Recupere (Nome="mananciais");  
var3 = Recupere (Nome="morfologia");  
var4 = Recupere (Nome="permeabilidade");  
var5 = Recupere (Nome="potencial de escoam sup");  
  
// Criação do dado de saída  
  
var6 = Novo (Nome="conflito_ponderado_indústria", ResX=20, ResY=20, Escala=1000,  
            Min=0, Max=1);  
  
// Geração da media ponderada  
  
var6 = 0.144*(Pondere(var1, tab1)) + 0.367*(Pondere(var2, tab2))+ 0.088*(Pondere(var3, tab3))+  
0.178*(Pondere(var4, tab4))+ 0.224*(Pondere(var5, tab5));  
}
```

Ponderação de conflito de uso para a categoria mineração

```

{
// PONDERAÇÃO DE CONFLITO DE USO PARA A CATEGORIA MINERAÇÃO
// Pesos a ser aplicados
// Declividade = 0.108
// Mananciais = 0.185
// Morfologia e solo = 0.163
// Permeabilidade = 0.217
// Potencial de escoamento superf = 0.327

// Razao de consistencia CR = 0.026
// Definição dos dados de entrada

Tematico var1 ("Declividade");
Tematico var2 ("Mananciais");
Tematico var3 ("Morfologia e solo");
Tematico var4 ("Permeabilidade");
Tematico var5 ("Potencial de escoamento superf");

Tabela tab1 (Ponderacao);
tab1 = Novo (CategoriaIni = "Declividade" ,
            "0,00 a 5,00":0.17,
            "5,01 a 10,00":0.33,
            "10,01 a 20,00":0.50,
            "20,01 a 30,00":0.67,
            "30,01 a 45,00":0.83,
            ">45,00":1);

Tabela tab2 (Ponderacao);
tab2 = Novo (CategoriaIni = "Mananciais" ,
            "manancial":1);

Tabela tab3 (Ponderacao);
tab3 = Novo (CategoriaIni = "Morfologia e solo" ,
            "classe 1":1,
            "classe 2":0.8,
            "classe 3":0.2,
            "classe 4":0.4,
            "classe 5":0.6);

Tabela tab4 (Ponderacao);
tab4 = Novo (CategoriaIni = "Permeabilidade" ,
            "<1E-5":0.17,
            "1E-5 a 1E-4":0.33,
            "1E-4 a 1E-3":0.50,
            "1E-3 a 1E-2":0.67,
            "1E-2 a 1E-1":0.83,
            ">1E-1":1);

Tabela tab5 (Ponderacao);
tab5 = Novo (CategoriaIni = "Potencial de escoamento superf" ,
            "muito baixo":1,
            "baixo":0.80,
            "médio":0.60,

```



```
"alto":0.40,  
"muito alto":0.20);  
  
// Definição do dado de saída  
  
Numerico var6 ("conflito_ponderado_mineração");  
  
// Recuperação dos dados de entrada  
  
var1 = Recupere (Nome="declividade");  
var2 = Recupere (Nome="mananciais");  
var3 = Recupere (Nome="morfologia");  
var4 = Recupere (Nome="permeabilidade");  
var5 = Recupere (Nome="potencial de escoam sup");  
  
// Criação do dado de saída  
  
var6 = Novo (Nome="conflito_ponderado_mineração", ResX=20, ResY=20, Escala=1000,  
            Min=0, Max=1);  
  
// Geração da media ponderada  
  
var6 = 0.108*(Pondere(var1, tab1)) + 0.185*(Pondere(var2, tab2))+ 0.163*(Pondere(var3, tab3))+  
0.217*(Pondere(var4, tab4))+ 0.327*(Pondere(var5, tab5));  
}
```

Ponderação de conflito de uso para a categoria aterro sanitário

```

{
// PONDERAÇÃO DE CONFLITO DE USO PARA A CATEGORIA ATERRO SANITÁRIO
// Pesos a ser aplicados
// Declividade = 0.143
// Mananciais = 0.329
// Morfologia e solo = 0.143
// Permeabilidade = 0.165
// Potencial de escoamento superf = 0.221

// Razao de consistência CR = 0.017

// Definição dos dados de entrada

Tematico var1 ("Declividade");
Tematico var2 ("Mananciais");
Tematico var3 ("Morfologia e solo");
Tematico var4 ("Permeabilidade");
Tematico var5 ("Potencial de escoamento superf");

Tabela tab1 (Ponderacao);
tab1 = Novo (CategoriaIni = "Declividade" ,
            "0,00 a 5,00":0.17,
            "5,01 a 10,00":0.33,
            "10,01 a 20,00":0.50,
            "20,01 a 30,00":0.67,
            "30,01 a 45,00":0.83,
            ">45,00":1);

Tabela tab2 (Ponderacao);
tab2 = Novo (CategoriaIni = "Mananciais" ,
            "manancial":1);

Tabela tab3 (Ponderacao);
tab3 = Novo (CategoriaIni = "Morfologia e solo" ,
            "classe 1":1,
            "classe 2":0.8,
            "classe 3":0.2,
            "classe 4":0.8,
            "classe 5":1);

Tabela tab4 (Ponderacao);
tab4 = Novo (CategoriaIni = "Permeabilidade" ,
            "<1E-5":0.17,
            "1E-5 a 1E-4":0.33,
            "1E-4 a 1E-3":0.50,
            "1E-3 a 1E-2":0.67,
            "1E-2 a 1E-1":0.83,
            ">1E-1":1);

Tabela tab5 (Ponderacao);
tab5 = Novo (CategoriaIni = "Potencial de escoamento superf" ,
            "muito baixo":1,
            "baixo":0.80,

```

```
"médio":0.60,  
"alto":0.70,  
"muito alto":1);  
  
// Definição do dado de saída  
  
Numerico var6 ("conflito_ponderado_aterro_s");  
  
// Recuperação dos dados de entrada  
  
var1 = Recupere (Nome="declividade");  
var2 = Recupere (Nome="mananciais");  
var3 = Recupere (Nome="morfologia");  
var4 = Recupere (Nome="permeabilidade");  
var5 = Recupere (Nome="potencial de escoam sup");  
  
// Criação do dado de saída  
  
var6 = Novo (Nome="conflito_ponderado_aterro_s", ResX=20, ResY=20, Escala=1000,  
            Min=0, Max=1);  
  
// Geração da media ponderada  
  
var6 = 0.143*(Pondere(var1, tab1)) + 0.329*(Pondere(var2, tab2))+ 0.143*(Pondere(var3, tab3))+  
0.165*(Pondere(var4, tab4))+ 0.221*(Pondere(var5, tab5));  
}
```

Conflito de Uso

```

{
// CONFLITO DE USO

// PARTE I - PONDERAÇÃO ATERRO SANITÁRIO

//DECLARAÇÃO
// DEFININDO VARIÁVEIS E SUAS CATEGORIAS
Tematico aterro ("uso_e_ocupação");
Tabela paterro (Ponderacao);
Numerico aterrop, aterroc ("conflito_ponderado_aterro_s");
// DECLARAÇÃO DAS TABELAS
paterro = Novo (CategoriaIni = "uso_e_ocupação",
               "aterro sanitário" : 1,
               "café" : 0,
               "culturas diversas" : 0,
               "eucalipto" : 0,
               "indústria" : 0,
               "mineração" : 0,
               "urbano" : 0,
               "água" : 0,
               "campo" : 0,
               "mata" : 0);

//INSTANCIÇÃO
// RECUPERANDO PLANOS DE INFORMAÇÕES
aterro = Recupere (Nome = "uso");
// CRIANDO NOVO PLANO DE INFORMAÇÕES
aterrop = Novo (Nome = "aterro sanitário ponderado", ResX = 20, ResY = 20, Escala = 1000, Min = 0,
               Max = 1);

// OPERAÇÃO

// DEFININDO PONDERAÇÃO
aterrop = Pondere (aterro,paterro);

// PARTE II - CRIA PI CONFLITO DE USO ATERRO SANITÁRIO

// DECLARAÇÃO
// DEFININDO VARIÁVEIS E SUAS CATEGORIAS
Numerico caterro ("conflito_de_uso_ponderado");

//INSTANCIÇÃO
//CRIAÇÃO DE NOVO PI
caterro = Novo (Nome = "conflito uso aterro sanitário", ResX = 20, ResY = 20, Escala = 1000, Min = 0,
               Max = 1);
// RECUPERANDO PLANOS DE INFORMAÇÕES
aterroc = Recupere (Nome = "conflito_ponderado_aterro_s");
// OPERAÇÃO
caterro = aterrop * aterroc;

// PARTE III - PONDERAÇÃO CULTURAS DIVERSAS *

//DECLARAÇÃO
// DEFININDO VARIÁVEIS E SUAS CATEGORIAS
Tematico cultura ("uso_e_ocupação");

```

```

Tabela pultura (Ponderacao);
Numerico culturap, culturac ("conflito_ponderado_cultura");
// DECLARAÇÃO DAS TABELAS
pultura = Novo (CategoriaIni = "uso_e_ocupação",
    "aterro sanitário" : 0,
    "café" : 1,
    "culturas diversas" : 1,
    "eucalipto" : 1,
    "indústria" : 0,
    "mineração" : 0,
    "urbano" : 0,
    "água" : 0,
    "campo" : 0,
    "mata" : 0);

//INSTANCIAMENTO

// RECUPERANDO PLANOS DE INFORMAÇÕES
cultura = Recuperar (Nome = "uso");

// CRIANDO NOVO PLANO DE INFORMAÇÕES
culturap = Novo (Nome = "culturas diversas ponderado", ResX = 20, ResY = 20, Escala = 1000, Min = 0,
Max = 1);

// OPERAÇÃO
// DEFININDO PONDERAÇÃO
culturap = Ponderar (cultura,pultura);

// PARTE IV - CRIA PI CONFLITO DE USO CULTURAS DIVERSAS

// DECLARAÇÃO
// DEFININDO VARIÁVEIS E SUAS CATEGORIAS
Numerico ccultura ("conflito_de_uso_ponderado");

//INSTANCIAMENTO
//CRIAÇÃO DE NOVO PI
ccultura = Novo (Nome = "conflito uso culturas diversas", ResX = 20, ResY = 20, Escala = 1000, Min =
0, Max = 1);
// RECUPERANDO PLANOS DE INFORMAÇÕES
culturac = Recuperar (Nome = "conflito_ponderado_cultura");

// OPERAÇÃO
ccultura = culturap * culturac;

// PARTE V - PONDERAÇÃO INDÚSTRIA

//DECLARAÇÃO
// DEFININDO VARIÁVEIS E SUAS CATEGORIAS
Tematico indust ("uso_e_ocupação");
Tabela pindust (Ponderacao);
Numerico industp, industc ("conflito_ponderado_indústria");
// DECLARAÇÃO DAS TABELAS
pindust = Novo (CategoriaIni = "uso_e_ocupação",
    "aterro sanitário" : 0,
    "café" : 0,
    "culturas diversas" : 0,
    "eucalipto" : 0,
    "indústria" : 1,

```

```

        "mineração" : 0,
        "urbano" : 0,
        "água" : 0,
        "campo" : 0,
        "mata" : 0);

//INSTANCIACÃO

// RECUPERANDO PLANOS DE INFORMAÇÕES
indust = Recupere (Nome = "uso");
// CRIANDO NOVO PLANO DE INFORMAÇÕES
industp = Novo (Nome = "indústria ponderado", ResX = 20, ResY = 20, Escala = 1000, Min = 0, Max =
1);

// OPERAÇÃO
// DEFININDO PONDERAÇÃO
industp = Pondere (indust,pindust);

// PARTE VI - CRIA PI CONFLITO DE USO INDÚSTRIA

// DECLARAÇÃO
// DEFININDO VARIÁVEIS E SUAS CATEGORIAS
Numerico cindust ("conflito_de_uso_ponderado");

//INSTANCIACÃO
//CRIACÃO DE NOVO PI
cindust = Novo (Nome = "conflito uso indústria", ResX = 20, ResY = 20, Escala = 1000, Min = 0, Max =
1);
// RECUPERANDO PLANOS DE INFORMAÇÕES
industc = Recupere (Nome = "conflito_ponderado_indústria");

// OPERAÇÃO
cindust = industp * industc;

// PARTE VII - PONDERAÇÃO MINERAÇÃO

//DECLARAÇÃO
// DEFININDO VARIÁVEIS E SUAS CATEGORIAS
Tematico minerac ("uso_e_ocupação");
Tabela pminerac (Ponderacao);
Numerico mineracp, mineracc ("conflito_ponderado_mineração");
// DECLARAÇÃO DAS TABELAS
pminerac = Novo (CategoriaIni = "uso_e_ocupação",
        "aterro sanitário" : 0,
        "café" : 0,
        "culturas diversas" : 0,
        "eucalipto" : 0,
        "indústria" : 0,
        "mineração" : 1,
        "urbano" : 0,
        "água" : 0,
        "campo" : 0,
        "mata" : 0);

//INSTANCIACÃO
// RECUPERANDO PLANOS DE INFORMAÇÕES
minerac = Recupere (Nome = "uso");

```

```

// CRIANDO NOVO PLANO DE INFORMAÇÕES
mineracp = Novo (Nome = "mineração ponderado", ResX = 20, ResY = 20, Escala = 1000, Min = 0, Max = 1);

// OPERAÇÃO
// DEFININDO PONDERAÇÃO
mineracp = Pondere (minerac,pminerac);

// PARTE VIII - CRIA PI CONFLITO DE USO MINERAÇÃO

// DECLARAÇÃO
// DEFININDO VARIÁVEIS E SUAS CATEGORIAS
Numerico cminerac ("conflito_de_uso_ponderado");

//INSTANCIAMENTO
//CRIAÇÃO DE NOVO PI
cminerac = Novo (Nome = "conflito uso mineração", ResX = 20, ResY = 20, Escala = 1000, Min = 0, Max = 1);
// RECUPERANDO PLANOS DE INFORMAÇÕES
mineracc = Recupere (Nome = "conflito_ponderado_mineração");

// OPERAÇÃO
cminerac = mineracp * mineracc;

// PARTE IX - PONDERAÇÃO URBANO

//DECLARAÇÃO
// DEFININDO VARIÁVEIS E SUAS CATEGORIAS
Tematico urbano ("uso_e_ocupação");
Tabela purbano (Ponderacao);
Numerico urbanop, urbanoc ("conflito_ponderado_urbano");
// DECLARAÇÃO DAS TABELAS
purbano = Novo (CategoriaIni = "uso_e_ocupação",
               "aterro sanitário" : 0,
               "café" : 0,
               "culturas diversas" : 0,
               "eucalipto" : 0,
               "indústria" : 0,
               "mineração" : 0,
               "urbano" : 1,
               "água" : 0,
               "campo" : 0,
               "mata" : 0);

//INSTANCIAMENTO
// RECUPERANDO PLANOS DE INFORMAÇÕES
urbano = Recupere (Nome = "uso");

// CRIANDO NOVO PLANO DE INFORMAÇÕES
urbanop = Novo (Nome = "urbano ponderado", ResX = 20, ResY = 20, Escala = 1000, Min = 0, Max = 1);

// OPERAÇÃO
// DEFININDO PONDERAÇÃO
urbanop = Pondere (urbano,purbano);

// PARTE X - CRIA PI CONFLITO DE USO URBANO

```

```

// DECLARAÇÃO
// DEFININDO VARIÁVEIS E SUAS CATEGORIAS
Numerico curbano ("conflito_de_uso_ponderado");

//INSTANCIACÃO
//CRIACÃO DE NOVO PI
curbano = Novo (Nome = "conflito uso urbano", ResX = 20, ResY = 20, Escala = 1000, Min = 0, Max =
1);
// RECUPERANDO PLANOS DE INFORMAÇÕES
urbanoc = Recupere (Nome = "conflito_ponderado_urbano");

// OPERAÇÃO
curbano = urbanop * urbanoc;

// PARTE XI - CRIA O PI CONFLITO DE USO PONDERADO *

// DECLARAÇÃO
// DEFININDO VARIÁVEIS E SUAS CATEGORIAS
Numerico somap ("conflito_de_uso_ponderado");

//INSTANCIACÃO
//CRIACÃO DE NOVO PI
somap = Novo (Nome = "conflito uso aterro sanitário", ResX = 20, ResY = 20, Escala = 1000, Min = 0,
Max = 1);

// OPERAÇÃO
somap = caterro + curbano + cminerac + ccultura + cindust;

// PARTE XII - FATIAMENTO

// DECLARAÇÃO
Tematico fat ("Conflito_de_uso");
Tabela tabf (Fatiamento);

// INSTANCIACÃO
//CRIACÃO DE NOVO PI
fat = Novo (Nome = "classes de conflito de uso", ResX = 20, ResY = 20, Escala = 1000);

// DECLARAÇÃO DAS TABELAS
tabf = Novo (CategoriaFim = "Conflito_de_uso",
[0.000000, 0.409529] : "nenhum conflito",
[0.409530, 0.580000] : "muito baixo",
[0.580001, 0.720000] : "baixo",
[0.720001, 0.840000] : "médio",
[0.840001, 0.935000] : "alto",
[0.935001, 1.010000] : "muito alto");

// OPERAÇÃO
fat = Fatie (somap, tabf);
}

```


ANEXO 2 – MODELAGEM DE DADOS

PROJETO: geologia

| CATEGORIA | MODELO | PLANO DE INFORMAÇÃO | CLASSES |
|-----------|----------|---------------------|-----------------------------|
| Geologia | temático | litologia | Arenito |
| | | | Fenito e Gnaiss |
| | | | Foiáito |
| | | | Foiáito com Eudialita |
| | | | Fonolito |
| | | | Lujaurito e Chibinito |
| | | | Rocha Potássica |
| | | | Tinguaito |
| | | | Tufo - Rochas Piroclásticas |

PROJETO: hidrografia

| CATEGORIA | MODELO | PLANO DE INFORMAÇÃO | ATRIBUTOS |
|-----------|-----------|-------------------------|----------------------|
| Bacias | cadastral | ottobacias | - |
| | objeto | propriedades das bacias | NOME |
| | | | AREA |
| | | | PERIMETRO |
| | | | F ARMAZE DENS DRE |
| Lagos | cadastral | ottobacias | - |
| Rios | cadastral | ottobacias | - |

PROJETO: hipsometria

| CATEGORIA | MODELO | PLANO DE INFORMAÇÃO | CLASSES |
|-------------|----------|------------------------|-------------|
| Hipsometria | temático | classes de hipsometria | 850 a 900 |
| | | | 900 a 950 |
| | | | 950 a 1000 |
| | | | 1000 a 1050 |
| | | | 1050 a 1100 |
| | | | 1100 a 115 |
| | | | 1150 a 1200 |
| | | | 1200 a 1250 |
| | | | 1250 a 1300 |
| | | | 1300 a 1350 |
| | | | 1350 a 1400 |
| | | | 1400 a 1450 |
| | | | 1450 a 1500 |
| | | | 1500 a 1550 |
| 1550 a 1600 | | | |
| 1600 a 1650 | | | |

PROJETO: potencial de escoamento superficial

| CATEGORIA | MODELO | PLANO DE INFORMAÇÃO | CLASSES |
|---------------------------------|-----------|-------------------------------------|---------------|
| Altimetria | MNT | grd ret | - |
| | | grd tin | - |
| | | isolinhas | - |
| Declividade | temático | classes de declividade | 0,00 a 5,00 |
| | | | 5,01 a 10,00 |
| | | | 10,01 a 20,00 |
| | | | 20,01 a 30,00 |
| | | | 30,01 a 45,00 |
| | | | >45,00 |
| Declividade ponderada | MNT | classes declividade ponderada | - |
| Densidade de drenagem | temático | classes de densidade de drenagem | <2,10 |
| | | | 2,10 a 2,50 |
| | | | 2,50 a 2,90 |
| | | | 2,90 a 3,30 |
| | | | 3,30 a 3,70 |
| | | | >3,70 |
| Densidade de drenagem ponderada | MNT | classes densid dren ponderada | - |
| Espessura | temático | classes de espessura | 0,1 a 3 m |
| | | | 0,7 a 7 m |
| | | | 2 a 6 m |
| | | | 2 a 8 m |
| | | | 4 a 6 m |
| Feições de armazenamento | temático | classes de feições de armazenamento | pequena |
| | | | média |
| | | | grande |
| | | | barragem |
| Feições de armazenam ponderada | MNT | classes feições armazen ponderada | - |
| Grade declividade | MNT | grade declividade | - |
| Limite municipal | cadastral | limite | - |
| Morfologia e solo | temático | classes de morfologia e solo | classe 1 |
| | | | classe 2 |
| | | | classe 3 |
| | | | classe 4 |
| | | | classe 5 |
| Morfologia e solo ponderada | MNT | classes de morf ponderada | - |
| Permeabilidade | temático | classes de permeabilidade | <1E-5 |
| | | | 1E-5 a 1E-4 |
| | | | 1E-4 a 1E-3 |
| | | | 1E-3 a 1E-2 |
| | | | 1E-2 a 1E-1 |
| | | | >1E-1 |
| Permeabilidade ponderada | MNT | classes de permeab ponderada | - |
| Pontos permeabilidade | MNT | valor de K | - |

| CATEGORIA | MODELO | PLANO DE INFORMAÇÃO | CLASSES |
|--------------------------------|----------|---------------------------------|----------------|
| Potencial de escoamento superf | temático | classes potencial de escoam sup | muito baixo |
| | | | baixo |
| | | | médio |
| | | | alto |
| | | | muito alto |
| Potencial escoam sup ponderado | MNT | resultados ponderados | - |
| Textura do solo | temático | classes de textura | areia siltosa |
| | | | areia argilosa |
| | | | argila arenosa |
| | | | argila |
| argila siltosa | | | |
| Textura do solo ponderada | MNT | classes de textura ponderada | - |

PROJETO: textura do solo

| CATEGORIA | MODELO | PLANO DE INFORMAÇÃO | CLASSES |
|------------------|-----------|--------------------------|----------------|
| Limite municipal | cadastral | limite | - |
| Pontos textura | MNT | areia | - |
| | | areia KV | - |
| | | argila | - |
| | | argila KV | - |
| | | pontos areia | - |
| | | pontos argila | - |
| | | pontos silte | - |
| | | silte | - |
| | | silte KV | - |
| | | teor de areia corrigido | - |
| | | teor de argila corrigido | - |
| | | teor de silte corrigido | - |
| | | textura numérico | - |
| Classe textural | temático | classes de textura | areia siltosa |
| | | | areia argilosa |
| | | | argila arenosa |
| | | | argila |
| | | | argila siltosa |

PROJETO: uso e ocupação

| CATEGORIA | MODELO | PLANO DE INFORMAÇÃO | CLASSES |
|------------------|-----------|----------------------|---------|
| Limite municipal | cadastral | limite | - |
| Estradas | cadastral | estradas | - |
| Imagem | imagem | 3 | - |
| | | 3 tmc recortada | - |
| | | 4 | - |
| | | 4 tmc recortada | - |
| | | 5 | - |
| | | 4 tmc recortada | - |
| | | classif 25 03 2005 | - |
| | | seg-8-10 | - |
| | | tmc | - |
| | | tmc tmc recortada | - |
| | | tmsub-bata | - |
| Uso e ocupação | temático | classif 25 03 2005-T | - |
| | | mata | - |
| | | tmsub-bata-T | - |
| | | uso e ocupação | - |
| | | água | - |

PROJETO: conflito de uso

| CATEGORIA | MODELO | PLANO DE INFORMAÇÃO | CLASSES |
|--------------------------------|----------|---------------------------------|-----------------|
| Conflito_de_uso | temático | classes de conflito de uso | nenhum conflito |
| | | | muito baixo |
| | | | baixo |
| | | | médio |
| | | | alto |
| | | | muito alto |
| Declividade | temático | classes de declividade | 0,00 a 5,00 |
| | | | 5,01 a 10,00 |
| | | | 10,01 a 20,00 |
| | | | 20,01 a 30,00 |
| | | | 30,01 a 45,00 |
| | | | >45,00 |
| Mananciais | temático | mananciais | manancial |
| Morfologia e solo | temático | classes de morfologia e solo | classe 1 |
| | | | classe 2 |
| | | | classe 3 |
| | | | classe 4 |
| | | | classe 5 |
| Permeabilidade | temático | classes de permeabilidade | <1E-5 |
| | | | 1E-5 a 1E-4 |
| | | | 1E-4 a 1E-3 |
| | | | 1E-3 a 1E-2 |
| | | | 1E-2 a 1E-1 |
| | | | >1E-1 |
| Potencial de escoamento superf | temático | classes potencial de escoam sup | muito baixo |
| | | | baixo |
| | | | médio |
| | | | alto |
| | | | muito alto |
| | | | altíssimo |
| conflito_de_uso_ponderado | MNT | conflito uso aterro sanitário | - |
| | | conflito uso culturas diversas | - |
| | | conflito uso indústria | - |
| | | conflito uso mineração | - |
| | | conflito uso urbano | - |
| conflito_ponderado_aterro_s | MNT | aterro sanitário ponderado | - |
| | | conflito_ponderado_aterro_s | - |
| conflito_ponderado_cultura | MNT | conflito_ponderado_cultura | - |
| | | culturas diversas ponderado | - |
| conflito_ponderado_indústria | MNT | conflito_ponderado_indústria | - |
| | | indústria ponderado | - |
| conflito_ponderado_mineração | MNT | conflito_ponderado_mineração | - |
| | | mineração ponderado | - |
| conflito_ponderado_urbano | MNT | conflito_ponderado_urbano | - |
| | | urbano ponderado | * |

| CATEGORIA | MODELO | PLANO DE INFORMAÇÃO | CLASSES | |
|------------------------------|---------------|---------------------------------|-------------------|-------------------|
| potencial de conflito de uso | temático | conflito aterro s | * | |
| | | conflito cultura | * | |
| | | conflito indústria | * | |
| | | conflito mineração | * | |
| | | conflito urbano | * | |
| | | potencial de conflito aterro s | * | |
| | | potencial de conflito cultura | * | |
| | | potencial de conflito indústria | * | |
| | | potencial de conflito mineração | * | |
| | | potencial de conflito urbano | * | |
| uso_e_ocupação | temático | aterro sanitário | aterro sanitário | |
| | | culturas diversas | culturas diversas | |
| | | indústria | indústria | |
| | | mineração | mineração | |
| | | urbano | urbano | |
| | | uso | aterro sanitário | aterro sanitário |
| | | | café | café |
| | | | eucalipto | eucalipto |
| | | | culturas diversas | culturas diversas |
| | | | indústria | indústria |
| | | | mineração | mineração |
| | | | campo | campo |
| | | | mata | mata |
| urbano | urbano | | | |
| corpos d'água | corpos d'água | | | |

Onde * = foram desenvolvidas 20 classes apenas para fatiamento e conferir um efeito visual da gradação do conflito

Livros Grátis

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

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

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

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

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