

VALÉRIA LOPES RODRIGUES

**MAPEAMENTO GEOTÉCNICO COMO  
BASE PARA O PLANEJAMENTO URBANO E AMBIENTAL:  
Município de Jaú/SP**

Dissertação apresentada à Escola de  
Engenharia de São Carlos da Universidade  
de São Paulo para obtenção  
do título de Mestre em Geotecnia.

Área de Concentração: Mapeamento Geotécnico  
Orientador: Prof. Dr. Oswaldo Augusto Filho

São Carlos  
2008

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Tratamento  
da Informação do Serviço de Biblioteca – EESC/USP

R696m Rodrigues, Valéria Lopes  
Mapeamento geotécnico como base para o planejamento urbano e ambiental : município de Jaú/SP / Valéria Lopes Rodrigues ; orientador Oswaldo Augusto Filho. -- São Carlos, 2008.

Dissertação (Mestrado-Programa de Pós-Graduação e Área de Concentração em Geotecnia) -- Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2008.

1. Mapeamento geotécnico. 2. Planejamento urbano.  
3. SIG. 4. Jaú (SP). I. Título.

*Aos meus pais Nadir e Diva,*

*pela vida...*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço à Fundação CAPES pelo apoio financeiro dado à esta pesquisa, a Prefeitura Municipal de Jaú pela disponibilização de dados essenciais sobre o município. A CATI-Jaú, ao SAEMJA, a SANEJ, a CBC Ambiental (Bauru), ao DAEE (Araraquara), à Defesa Civil de Jaú, e aos colegas engenheiros pelo auxílio na aquisição dos dados geotécnicos utilizados.

Aos amigos Deubles, Kiko, Marcão e Binhão, pela ajuda em diversas discussões e trabalhos de campo realizados para fomentação deste trabalho.

Agradeço aos colegas, funcionários e professores que me ajudaram tanto durante esta caminhada. Aos meus primeiros mentores, professores Sérgio Rohm, Reinaldo Lorandi e Ademir Barbassa, a minha imensa gratidão.

Aos professores do departamento de geotecnia pela confiança e auxílio, especialmente ao professor Benedito Bueno, por ter aberto as portas do laboratório de Geossintéticos, onde iniciei minha vivência na geotecnia. Ao Clever pelo incentivo e amizade.

Aos técnicos, sempre prestativos e amigos, Zé, Seu Antônio, Décio, Oscar e Dito, nos ajudando com paciência e didática. Aos demais funcionários, Neiva, Toninho, Herivelto, Alvinho e Maristela, por sempre estarem disponíveis e serem tão carinhosos em nos acolher.

As irmãzinhas da graduação Fabi e Mi. Aos meus amigos tão queridos, Alberto, Cleber, Fagner, Lívia, Simone, Zamba, Baiano, Junio, Miguel, Neto, Paulinha, Ana Elisa, Cebola, Rogério e Isaura. Ao trio parada-dura Crisley, Wanessa e Lu, minhas fortalezas. Aos novos alunos que já são queridos igualmente, Kelly, Vagner, Ju, Juan, Felipe, Aline, Elaine e Léo.

Aos meus amigos jauenses, Myriam, Raquel, Sandra, Rogério, Soraya, Juliana e Gaby, por fazerem parte de minhas realizações. A minha família por me apoiar e não me deixar desistir nunca. Aos meus irmãos Júlio e Alcindo e as respectivas cunhadas, pela força e colaboração. Aos meus lindos sobrinhos (Lu, Renan, Amanda, Carol, Murilo e Bia) por alegrarem meus finais de semana.

Aos meus pais pela confiança, apoio e amor, em todos os momentos de minha vida, pela dedicação, e por me darem suporte financeiro e emocional durante a concretização de meus objetivos.

Ao Rafa por me fazer acreditar novamente nas pessoas e por sempre estar ao meu lado em todos os momentos, me dando apoio, carinho, compreensão e amor.

Ao professor Oswaldo pela paciência em me orientar durante este projeto, me ensinando com didática e sabedoria, agradeço pela dedicação e confiança, por ter me apoiado em importantes decisões e por ter acreditado nesta jauense.

Os professores Sergio Rohm e Osni Pejon, pelas contribuições feitas à este trabalho na etapa de qualificação, por terem enriquecido e favorecido o aprimoramento dos resultados desta pesquisa.

Por fim agradeço a nossa mais importante fortaleza, nosso querido Deus, por ter tornado tudo isto possível e por ter colocado todas essas maravilhosas pessoas em minha vida. Aquele que preparou cada passo que dei e me fez acreditar que todo sonho se realiza, com esforço e dedicação, e sempre com muita fé.

*“Deus quer, o homem sonha e a obra nasce..”*

*Fernando Pessoa*

## RESUMO

RODRIGUES, V. L. **Mapeamento geotécnico como base para o planejamento urbano e ambiental: Município de Jaú/SP**. 2008. 156 f. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

Este trabalho discute os resultados de pesquisa direcionada à elaboração de mapa geotécnico do perímetro urbano e de sua área de expansão no município de Jaú (SP). O método de mapeamento aplicado baseia-se na utilização de geofatores para a classificação das áreas quanto ao grau de restrição à ocupação urbana, conforme proposto originalmente por Matula (1976). Os mapas produzidos foram classificados em 1ª, 2ª, 3ª e 4ª Ordens conforme sugerido por Mathewson & Font (1974). Em todo o trabalho fez-se uso de Sistema de Informações Geográficas – SIG como ferramenta básica para o armazenamento e análise dos dados de interesse, e a produção dos mapas. A pesquisa insere-se no aprimoramento das técnicas e métodos para fornecer os subsídios do meio físico para os instrumentos de planejamento urbano e municipal, e em particular, os Planos Diretores. Os estudos foram desenvolvidos na escala principal de trabalho de 1:10.000.

Palavras chave: mapeamento geotécnico, planejamento urbano, SIG, Jaú(SP).

## ABSTRACT

RODRIGUES, V. L. **Engineering geological mapping for urban and environmental planning: the case of Jaú city/SP**. 2008. 156 p. Ms Tesis – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008

The paper discusses the results a of research focusing on the elaboration of engineering geological map comprising the urban perimeter and its expansion area in the Jaú city, located at São Paulo state, Brazil. The mapping method is based on the utilization of the geofactors to classify the restriction degree for urban occupation, such as originally proposed by Matula (1976). The produced maps had been classified in the 1<sup>st</sup>, 2<sup>nd</sup>, 3<sup>rd</sup> and 4<sup>th</sup> Orders suggested by Mathewson & Font (1974) . Geographic Information System – GIS was employed to store to analyze the concerned data and to produce the maps in all the stages of the work. The research aims to improve the techniques and the methods to supply inputs related to physical environment to the urban and municipal planning instruments detaching the Managing Plans. The studies are being carried out at the main scale of 1:10.000.

*Key words: engineering geological mapping, urban planning, GIS, Jaú(SP).*

# SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>15</b>
1.1. <i>Objetivos</i> .....	16
<b>2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....</b>	<b>17</b>
2.1. <i>Mapeamento Geotécnico</i> .....	17
2.1.1. Atributos do Meio Físico.....	21
2.2. <i>Metodologias Internacionais de Mapeamento Geotécnico</i> .....	23
2.2.1. Metodologia PUCE .....	24
2.2.2. Metodologia IAEG.....	27
2.2.3. Metodologia Francesa .....	29
2.2.4. Metodologia Mathewson & Font .....	30
2.2.5. Metodologia ZERMOS .....	32
2.2.6. Metodologia Matula .....	33
2.3. <i>Metodologias Nacionais de Mapeamento Geotécnico</i> .....	34
2.3.1. Metodologia IPT .....	35
2.3.2. Metodologia UNESP/Rio Claro .....	40
2.3.3. Metodologia EESC/USP .....	41
2.4. <i>Planejamento Urbano e Ambiental</i> .....	49
2.4.1. Plano Diretor .....	51
2.4.2. Agenda 21 e Habitat II .....	54
2.5. <i>Mapeamento Geotécnico no Planejamento Urbano e Ambiental</i> .....	55
2.6. <i>Sistema de Informações Geográficas (SIG)</i> .....	57
2.7. <i>Análise Multi-Critério no Mapeamento Geotécnico</i> .....	61
<b>3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....</b>	<b>65</b>
3.1. <i>Características Gerais do Município</i> .....	66
3.2. <i>Alguns Estudos Científicos Realizados na Área</i> .....	67
<b>4. MÉTODO E ETAPAS DE PESQUISA .....</b>	<b>68</b>
4.1. <i>Materiais Utilizados</i> .....	70
4.1.1. Mapas e Fotografias Aéreas .....	71
4.1.2. Investigações Geotécnicas.....	72
<b>5. RESULTADOS .....</b>	<b>73</b>
5.1. <i>Definição dos Geofatores</i> .....	73
5.2. <i>Mapas de 1ª Ordem</i> .....	74
5.2.1. Base Cartográfica .....	74
5.2.2. Mapa de Documentação .....	75
5.2.3. Mapa de Unidades Geológicas .....	87
5.3. <i>Modelo Digital de Terreno - MDT</i> .....	90
5.4. <i>Mapas de 2ª Ordem</i> .....	92
5.4.1. Mapa de Densidade de Sulcos e Ravinas .....	95
5.4.2. Mapa de Densidade de Escorregamentos .....	98



5.4.3.	Mapa de Densidade de Inundações .....	101
5.4.4.	Mapa de Materiais Inconsolidados.....	103
5.4.5.	Mapa de Profundidade do Topo Rochoso .....	115
5.4.6.	Mapa de Declividade .....	117
5.4.7.	Mapa de Densidade de Encostas Côncavas.....	119
5.4.8.	Mapa de Densidade de Drenagem.....	122
5.4.9.	Mapa de Restrições Ambientais.....	124
5.5.	<i>Modelo de Ponderação dos Geofatores.....</i>	<i>127</i>
5.6.	<i>Mapa de 3ª Ordem .....</i>	<i>130</i>
5.7.	<i>Mapa de 4ª Ordem.....</i>	<i>136</i>
<b>6.</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>138</b>
6.1.	<i>Área analisada e os Geofatores A .....</i>	<i>138</i>
6.2.	<i>Área analisada e os Geofatores B e C.....</i>	<i>139</i>
6.3.	<i>Área analisada e as Restrições Geotécnicas e Ambientais.....</i>	<i>140</i>
6.4.	<i>Métodos, Base de Dados e Mapas .....</i>	<i>141</i>
6.5.	<i>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</i>	<i>143</i>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>145</b>
	<b>APÊNDICE A: MAPAS.....</b>	<b>154</b>
	<i>A.1: Mapa de Documentação.....</i>	<i><b>Erro! Indicador não definido.</b></i>
	<i>A.2: Mapa de Restrições Geotécnicas e Ambientais.....</i>	<i><b>Erro! Indicador não definido.</b></i>

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 2.1:</b> Representação gráfica da classificação litogenética proposta pela IAEG, 1976 (BORGES, 2003). .....	29
<b>Figura 2.2:</b> Fluxograma com a classificação das cartas quanto ao conteúdo da forma na metodologia Francesa.....	30
<b>Figura 2.3:</b> Fluxograma da ordenação dos documentos cartográficos relacionados à metodologia de Mathewson e Font (Modificado de ZUQUETTE & GANDOLFI, 2004). .....	31
<b>Figura 2.4:</b> Fluxograma da metodologia de cartografia geotécnica aplicada no IPT. ....	37
<b>Figura 2.5:</b> Roteiro metodológico para elaboração de cartas geotécnicas para planejamento urbano adotado no IPT (CERRI, 1990).....	38
<b>Figura 2.6:</b> Contribuição do IPT para cartografia geotécnica (PARIZI, 2003). .....	39
<b>Figura 2.7:</b> Roteiro metodológico para elaboração de Cartas de Risco Geológico..	40
(BITAR et al., 1992). .....	40
<b>Figura 2.8 -</b> Fluxograma de obtenção e apresentação das informações do meio físico em mapeamentos geotécnicos .....	48
<b>Figura 2.9 -</b> Procedimento do método de multi-critério.....	61
<b>Figura 3.1:</b> Localização da área de estudo no município de Jaú e no Estado de São Paulo.....	65
<b>Figura 5.1:</b> Talude na rodovia SP-225, exemplo de afloramento rochoso de basalto (A3). .....	76
<b>Figura 5.2:</b> Exemplo de nascente preservada, devidamente cercada e com mata ciliar densa (N3).....	78
<b>Figura 5.3:</b> Exemplo de nascente não preservada, ausência de mata ciliar e livre acesso do gado (N6).....	78
<b>Figura 5.4: A e B)</b> Entrada da galeria construída sobre a nascente (N7), que conduz a água para o Córrego Santa Cruz. <b>C)</b> Sujeira e vazamento de galeria pluvial sobre a nascente do Córrego Bom Retiro (N1).....	79
<b>Figura 5.5:</b> Mapa de unidades geológicas.....	89
<b>Figura 5.6:</b> Visualização 3D da área de estudo. Parâmetros: exagero vertical = 6; visada Sul-Norte; sobreposição fotomosaico do ano de 2000, drenagens e microbacias.....	91

<b>Figura 5.7:</b> <i>Grid</i> utilizado na elaboração dos mapas de densidade. ....	94
<b>Figura 5.8:</b> Mapa de densidade de sulcos e ravinas.....	96
<b>Figura 5.9:</b> Exemplo de comparação de processos erosivos - Ravina na Microbacia do Pires – Fotomosaico ano 2005 .....	97
<b>Figura 5.10:</b> Detalhe da ravina situada na bacia do Córrego Pires mesma da Figura 5.9.....	98
<b>Figura 5.11:</b> Mapa de Densidade de Escorregamentos.....	99
<b>Figura 5.12:</b> Exemplo de delimitação de escorregamento (Jardim Padre Augusto Sani) e comparação entre os fotomosaicos dos anos de 2000 e 2005. ....	100
<b>Figura 5.13:</b> Fotografia de escorregamento no Jardim Padre Augusto Sani, microbacia do córrego Barra Mansa (Cedida pela Defesa Civil de Jaú) .....	101
<b>Figura 5.14:</b> Mapa de densidade de inundações. ....	102
<b>Figura 5.15:</b> Alagamento no Bairro Itamarati, microbacia do Córrego dos Pires (Cedida pela Defesa Civil de Jaú). ....	103
<b>Figura 5.16:</b> Mapa de Materiais Inconsolidados .....	105
<b>Figura 5.17:</b> Solo residual da Formação Itaqueri (RI), com sulcos erosivos de médio porte. ....	106
<b>Figura 5.18:</b> Solo residual da Formação Serra Geral, apresentando estruturas reliquias do basalto (R1SG). ....	107
<b>Figura 5.19:</b> Solo residual da Formação Serra Geral (R2SG). ....	107
<b>Figura 5.20:</b> Curvas Granulométricas das seis amostras de solos ensaiadas.....	109
<b>Figura 5.21:</b> Diagrama Triangular com as seis amostras locadas (Fonte: BUENO & VILAR, 1980). ....	110
<b>Figura 5.22:</b> Fotografias com aumento de 22 e 50 vezes das amostras E1, E2 e E3. ....	113
<b>Figura 5.23:</b> Fotografias com aumento de 22 e 50 vezes das amostras E4, E5 e E6. ....	114
<b>Figura 5.24:</b> Mapa de profundidade do topo rochoso. ....	116
<b>Figura 5.25:</b> Mapa de declividade.....	118
<b>Figura 5.26:</b> Mapa da densidade de curvatura de encostas coletoras.....	121
<b>Figura 5.27:</b> Mapa de densidade de drenagem. ....	123
<b>Figura 5.28:</b> Visão aérea da RRPN – Amadeu Botelho .....	125
<b>Figura 5.29:</b> Ilustração de parte do mapa de restrições ambientais. ....	126

<b>Figura 5.30:</b> Mapa de 3ª Ordem dos Geofatores A – Síntese das restrições associadas aos processos da geodinâmica externa.....	133
<b>Figura 5.31:</b> Mapa de 3ª Ordem dos Geofatores B – Síntese das restrições relativas às características do meio físico. ....	134
<b>Figura 5.32:</b> Mapa de 3ª Ordem dos Geofatores C – Síntese das restrições ambientais legais. ....	135

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 2.1:</b> Quadro de atributos associados ao mapeamento geotécnico no planejamento urbano. (Modificada de PEJON, 1992). .....	22
<b>Tabela 2.2:</b> Formas de análise e quantificação para cada classe hierárquica na metodologia PUCE (ZUQUETTE, 1987).....	25
<b>Tabela 2.3:</b> Sistema de Análise de Terrenos com proposta de aplicação para Folha de Aguaí (SOUZA, 1992).....	26
<b>Tabela 2.4:</b> Geofatores utilizados por Godoy (1989) no mapeamento geotécnico de Presidente Prudente/SP .....	34
<b>Tabela 2.5:</b> Cartas geotécnicas do IPT utilizadas em planos diretores.....	38
<b>Tabela 2.6:</b> Alguns dos mapeamentos geotécnicos desenvolvidos com a metodologia EESC/USP. ....	42
<b>Tabela 2.7:</b> Parâmetros avaliados para obtenção dos atributos e identificação das unidades homogêneas (continua). ....	44
<b>Tabela 2.7:</b> Parâmetros avaliados para obtenção dos atributos e identificação das unidades homogêneas (conclui).....	45
<b>Tabela 2.8:</b> Número mínimo de observação por amostragem (AGUIAR, 1989). ....	46
<b>Tabela 2.9:</b> Quadro das classes de documentos cartográficos definidos por Zuquette (1993). ....	47
<b>Tabela 2.10:</b> Informações da cartografia geotécnica para o planejamento.....	56
(ZUQUETTE, 1987).....	56
<b>Tabela 2.11:</b> Vantagens e desvantagens dos modelos Raster e Vetorial.....	60
(SILVA, 1999). ....	60
<b>Tabela 2.12:</b> Árvore de decisões na avaliação de riscos à ocupação (MOURA 2003). .....	64
<b>Tabela 4.1:</b> Principais mapas pré-existentes utilizados na pesquisa. ....	71
<b>Tabela 4.2:</b> Relação e características das fotografias aéreas utilizadas na pesquisa. .....	71
<b>Tabela 5.1:</b> Geofatores inicialmente propostos para área.....	73
<b>Tabela 5.2:</b> Divisão das microbacias na área de estudo.....	75
<b>Tabela 5.3:</b> Afloramentos rochosos de basalto (Pn) cadastrados em visitas de campo.....	76

<b>Tabela 5.4:</b> Breve descrição das condições ambientais das nascentes na área de estudo. ....	77
<b>Tabela 5.5:</b> Pontos levantados em visitas de campo ( <b>Cn</b> ).....	80
<b>Tabela 5.6:</b> Pontos finais de campo ( <b>Fn</b> ), validação do mapa de 4ª Ordem.....	81
<b>Tabela 5.7:</b> Relação dos poços de inspeção utilizados na pesquisa.....	82
<b>Tabela 5.8:</b> Relação dos poços profundos, utilizados na pesquisa. ....	82
<b>Tabela 5.9:</b> Exemplo da descrição dos dados de Sondagens SPT.....	83
<b>Tabela 5.10:</b> Breve descrição dos furos de sondagens à percussão obtidas na área estudada (continua). ....	84
<b>Tabela 5.10:</b> Breve descrição dos furos de sondagens à percussão obtidas na área estudada (continua). ....	85
<b>Tabela 5.10:</b> Breve descrição dos furos de sondagens à percussão obtidas na área estudada (conclui).....	86
<b>Tabela 5.11:</b> Distribuição em área das unidades geológicas. ....	88
<b>Tabela 5.12:</b> Grupos de geofatores representados nos mapas de 2ª Ordem.....	93
<b>Tabela 5.13:</b> Distribuição em área das classes de densidade para sulcos e ravinas. ....	95
<b>Tabela 5.14:</b> Distribuição em área das classes de densidade para escorregamentos. ....	100
<b>Tabela 5.15:</b> Distribuição em área da densidade de inundações. ....	103
<b>Tabela 5.16:</b> Materiais Inconsolidados por área.....	104
<b>Tabela 5.17:</b> Síntese das características geológico-geotécnicas dos materiais inconsolidados mapeados.....	106
<b>Tabela 5.18:</b> Resultados dos ensaios para as seis amostras.....	108
<b>Tabela 5.19:</b> Classificação granulométrica através do diagrama triangular.....	110
<b>Tabela 5.20:</b> Classificação das amostras pelo método HRB. ....	111
<b>Tabela 5.21:</b> Distribuição em área das classes de profundidade de topo rochoso. ....	115
<b>Tabela 5.22:</b> Classes de declividades por área.....	117
<b>Tabela 5.23:</b> Áreas ocupadas por cada tipo de encosta.....	119
<b>Tabela 5.24:</b> Intervalos de densidade para curvatura de encostas côncavas. ....	120
<b>Tabela 5.25:</b> Intervalos de densidade de drenagem.....	122
<b>Tabela 5.26:</b> Largura da faixa de APP.....	125
<b>Tabela 5.27:</b> Síntese dos critérios hierarquização dos geofatores A e B. ....	128

<b>Tabela 5.29:</b> Áreas ocupadas pelas classes de restrição para os geofatores A, dentro de cada microbacia. ....	131
<b>Tabela 5.30:</b> Áreas ocupadas pelas classes de restrição para os geofatores B, dentro de cada microbacia. ....	131
<b>Tabela 5.31:</b> Áreas ocupadas pelas classes de restrição para os geofatores C, dentro de cada microbacia. ....	132
<b>Tabela 6.1:</b> Síntese das classes de restrição por Microbacia. ....	141

## SIGLAS E ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
APP	Área de Preservação Permanente
BD	Bando de Dados
CATI	Coordenadoria de Assistência Técnica Integral
DAEE	Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo
DNPM	Departamento Nacional de Produção Mineral
DPRN	Divisão de Proteção de Recursos Naturais
ECO-92	Conferência Mundial sobre Desenvolvimento e Meio Ambiente
EESC	Escola de Engenharia de São Carlos
GPS	Global Positioning System
HABITAT	Conferencia das Nações Unidas sobre Assentamentos Humanos
HRB	Highway Research Board
IAC	Instituto Agrônômico de Campinas
IAEG	International Association of Engineering Geology and Environmental
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IGC	Instituto de Geografia e Cartografia
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológica
MDT	Modelo Digital de Terreno
NA	Nível d'água
PUCE	Pattern Unit Component Evaluation
RPPN	Reserva de Patrimônio Particular Natural
SAEMJA	Serviço de Água e esgoto do Município de Jaú
SIG	Sistema de Informações Geográficas
SPT	Standart Penetration Test
TIN	Triangular Irregular Network
UFRJ	Universidade Federal do Rio de Janeiro
UGRHI	Unidade Hidrográfica de Gerenciamento de Recursos Hídricos
UNESP	Universidade Estadual Paulista
USP	Universidade de São Paulo
UTM	Universo Transverso de Mercator
ZERMOS	Zonas Expostas aos Riscos de Movimentos de Solos



# 1. INTRODUÇÃO

O crescimento das cidades no Brasil têm sido intenso nas últimas décadas, demandando medidas corretivas e de planejamento territorial na gestão das áreas urbanas e do município como um todo.

Neste âmbito é estabelecido pelo artigo 182 da Lei Federal nº 10.257 de 10 de Julho de 2001 (Estatuto da Cidade), que os municípios com mais de 20 mil habitantes são obrigados a elaborarem o Plano Diretor.

Este instrumento básico do planejamento urbano auxilia no adequado ordenamento territorial, mediante planejamento e controle do uso, do parcelamento e da ocupação do solo. Também alerta a competência municipal para adotar as medidas que favoreçam o seu desenvolvimento territorial, com sustentabilidade cultural, social, política, econômica, ambiental e institucional.

Na elaboração do Plano Diretor, a etapa de diagnóstico, envolve a caracterização dos meios físico, biótico e antrópico, da área envolvida. O mapeamento geotécnico é uma das ferramentas que compõem este diagnóstico.

Neste trabalho foi aplicado um método de mapeamento geotécnico para a área urbana e de expansão do município de Jaú – SP, voltado ao planejamento urbano e ambiental, abordando principalmente questões relacionadas ao parcelamento do solo. O método aplicado baseia-se na proposta de Matula (1976), partindo da definição de geofatores relacionados aos processos geodinâmicos, as características do meio físico e as restrições legais.

A escolha do município de Jaú como área de estudo justifica-se pelo seu potencial de demanda por instrumentos de planejamento territorial e urbano, por

estar em fase de discussão e elaboração do seu Plano Diretor e também pela disponibilização, por diferentes órgãos e entidades, de diversos dados fundamentais para o desenvolvimento dos trabalhos propostos nesta pesquisa.

## **1.1. Objetivos**

O objetivo geral da pesquisa é contribuir para o desenvolvimento de instrumentos que ajudem no planejamento urbano e ambiental das cidades, sistematizando informações de natureza geológico-geotécnica numa base de dados digital e geo-referenciada, através de mapas e outras formas de consulta e análise.

Como objetivos específicos deste trabalho são propostos:

- a.** Elaborar o mapa de restrições geotécnicas e ambientais, para a área urbana e de expansão do município de Jaú, com escala principal dos trabalhos 1:10.000 e apresentação na escala 1:20.000, utilizando o conceito de geofatores proposto por Matula (1976) e outros métodos de mapeamento geotécnico, e considerando as diretrizes elaboradas pelo Ministério das Cidades para fomentação do plano diretor;
- b.** Caracterizar as áreas restritas à ocupação descrevendo seus problemas e avaliando os melhores usos para tais áreas;
- c.** Utilizar Sistemas de Informação Geográfica (SIG) como instrumento principal de coleta, armazenamento e análise dos dados de interesse;
- d.** Disponibilizar os mapas de trabalho e informações utilizadas na estruturação da base de dados digital, no intuito de serem utilizados como instrumento para o planejamento territorial de Jaú.

## **2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

Para elaboração deste trabalho foram pesquisadas várias metodologias de mapeamento geotécnico, principalmente àquelas ligadas ao planejamento urbano. Com tal pesquisa bibliográfica estudou-se e definiu-se a base teórica que daria suporte ao trabalho.

A primeira escolha refere-se aos termos utilizados em cartografia, carta ou mapa. Para os produtos cartográficos deste trabalho será utilizado o termo Mapa, seguindo a classificação de Mathewson & Font (1974). Os documentos de outros autores, utilizados na pesquisa, apresentam o nome original de sua publicação.

### **2.1. Mapeamento Geotécnico**

Mapeamento geotécnico segundo Zuquette (1987), é uma ferramenta fundamental para orientar e subsidiar as mais diversas atividades antrópicas capazes de modificar o meio físico. Enfatizando que estes mapas também podem ser utilizados como fonte de informação para o planejamento regional e urbano.

O mapa geotécnico é um tipo de mapa geológico, que oferece uma representação generalizada de todos os componentes do ambiente geológico, significantes ao planejamento e ao uso da terra, em projetos, em construção e manutenção de obras civis e de mineração (IAEG, 1976).

Matula (1976) conceitua o mapa geotécnico como um modelo ilustrativo do ambiente geológico, que serve às finalidades de engenharia a que se propõe o trabalho.

Uma das grandes utilidades da cartografia geotécnica é fornecer informações ao planejamento urbano e regional, determinando o melhor uso e ocupação possível à área estudada, como também promovendo a sustentabilidade ambiental, adequando as atividades antrópicas ao meio físico com o mínimo possível de danos.

Coelho (1980) relata que para se atender aos princípios básicos do mapeamento geotécnico deve-se, numa primeira fase, realizar uma identificação prévia de domínio de homogeneidade, compatíveis à escala em estudo. E numa segunda fase, realiza-se uma relação entre unidades litológicas e suas características geotécnicas.

Coutinho et al. (1990) define o mapeamento geotécnico como um instrumento para o planejamento e direcionamento da ação humana sobre o meio ambiente, constituindo uma representação gráfica da descrição, potencialidade e limitações do meio físico.

Zuquette & Gandolfi (1990) relacionaram os elementos a serem considerados na elaboração de mapas geotécnicos, são eles:

- a.** *Características das rochas e dos materiais inconsolidados:* englobam a distribuição dos materiais rochosos e de cobertura, gênese, estrutura, homogeneidade e propriedades físicas e mecânicas;
- b.** *Condições geodinâmicas internas:* incluem características associadas aos fenômenos sísmicos e vulcânicos;

- c. *Condições geodinâmicas externas*: relacionam-se aos processos erosivos, e de sedimentação, dinâmica das encostas, os escorregamentos e os desmoronamentos;
- d. *Condições hidrogeológicas*: nível piezométrico, direção dos fluxos, pH, teor de sais, corrosividade e resíduos de materiais poluidores;
- e. *Condições geomorfológicas (relevo, declividade, curvatura, etc)*: são muito importantes para o planejamento urbano, contribuindo na distribuição dos equipamentos urbanos e na avaliação das áreas para fins de construção civil;
- f. *Modificações artificiais do meio físico e materiais de construção*: identificam as ocorrências de materiais utilizados na construção civil e áreas de materiais de empréstimo e respectivas propriedades, e um levantamento dos impactos ambientais por ações antrópicas.

Os principais fatores que influenciam a qualidade dos mapas geotécnicos, segundo Zuquette & Gandolfi (op.cit.) são:

- a. *Grau de complexidade das condições geotécnicas*: referente à diversidade de características da área, como tipos de materiais encontrados, estruturas geológicas, geomorfologia, etc;
- b. *Escala do mapa*: a escala adotada que limita a investigação para a região;
- c. *Número de pontos documentados*: depende da escala, da finalidade do projeto e da precisão requerida;
- d. *Tipo de carta geotécnica*: deve ser realizada de acordo com a finalidade do trabalho;
- e. *Tamanho e forma da área*: está relacionada ao custo, tempo, quantidade de profissionais envolvidos e número de ensaios.

Quando se tem uma finalidade múltipla representam-se as feições básicas, comuns a muitos usuários, como as cartas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Quando a finalidade é específica, os temas são definidos em função da aplicação concreta e são acrescentados à base cartográfica, como por exemplo, as cartas temáticas de uso do solo.

Através dos documentos produzidos se classificam, analisam e avaliam os componentes do meio físico, apresentando informações sobre propriedades do relevo, dos materiais inconsolidados, das rochas e das águas, bem como dos fenômenos que neles ocorrem (SOUZA, 1992).

Souza ainda afirma que o zoneamento deve partir de uma hierarquia de classificação, considerando as variações da escala de observação e de aplicação, seja ela regional ou urbana isto que irá determinar o peso dos critérios na compartimentação. Como o meio físico é constituído pela evolução no tempo de processos endógenos e exógenos é representado fundamentalmente pelas geoformas (SOUZA, op.cit).

Segundo Lollo (2005), na busca por técnicas que descrevam o terreno, a geotecnia encontrou na geomorfologia uma ferramenta capaz de realizar a compartimentação do meio físico, através das geoformas (landforms). Onde a geoforma é uma parcela de terreno passível de individualização das demais com base em características fisiográficas observadas.

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

A cartografia geotécnica permite identificar os limites e as potencialidades do meio físico e indicar medidas preventivas e corretivas, a serem utilizadas como subsídios ao planejamento regional e urbano (PARIZI, 2003).

### **2.1.1. Atributos do Meio Físico**

Os atributos são estruturas dentro das hierarquias, eles devem ser definidos de acordo com a finalidade e a escala do trabalho. Da escolha de atributos corretos depende em grande parte a eficiência e a qualidade do mapeamento geotécnico (PEJON, 1992).

Zuquette (1987) cita que o zoneamento geotécnico pode ser dividido em dois grandes grupos, geral e específico, a partir daí tem-se:

- a. *Zoneamento Geral*: apresenta uma combinação de atributos independentes, devendo distinguir zonas homogêneas às condições naturais.
- b. *Zoneamento Específico*: apresenta uma combinação de atributos visando um uso específico, como por exemplo, produção de carta de risco ou disposição de rejeitos, entre outras.

Zuquette & Gandolfi (1990) estabeleceram os atributos considerados importantes dentro dos estudos do meio físico realizados nos mapeamentos geotécnicos, que sirvam de base ao planejamento urbano. Na Tabela 2.1 são listados tais atributos. A seleção de atributos depende fundamentalmente da finalidade perseguida por quem está elaborando o mapa ou carta geotécnica (PARIZI 2003).

**Tabela 2.1:** Quadro de atributos associados ao mapeamento geotécnico no planejamento urbano. (Modificada de PEJON, 1992).

<b>Campos de Conhecimento</b>	<b>Tipo/Aspecto</b>	<b>Grupos de Atributos</b>	<b>Atributos</b>	
Águas	Superficiais		1. escoamento 2. infiltração 3. áreas de acumulo de água 4. características físico-químicas	
	Subterrâneas		5. aquíferos (livres e confinados) 6. áreas de recarga 7. profundidade/espessura/ poços/ senilidade 8. características físico-químicas	
Geomorfologia	Morfometria	Unidades básicas	9. altitudes 10. declividade e sentido	
	Morfografia		11. landforms (encosta, bacia) 12. formas de encostas 13. comprimentos das encostas ou landforms	
Geologia	Substrato Rochoso	Materiais	14. tipo rochoso 15. litologia 16. mineralogia 17. densidade 18. resistência 19. permeabilidade 20. estruturas 21. distribuição 22. profundidade 23. grau de intemperismo 24. alterabilidade 25. potencial p/ material de construção	
		Processos	26. erosão 27. deposição 28. sismicidade 29. subsidência	
	Materiais Inconsolidados	Gerais	30. origem, textura 31. distribuição 32. permeabilidade 33. índice de vazios 34. mineralogia 35. erodibilidade 36. fertilidade 37. potencial de corrosividade 38. expansibilidade	
		Específicos	39. variação em profundidade 40. características químicas 41. capacidade campo e murchamento 42. processos de intemperismo e pedológicos 43. resistência/suporte 44. massas específicas dos sólidos e aparente seca 45. potencial para aterros	
	Clima			46. pluviosidade 47. temperatura/ umidade/ ventos/ insolação
				48. evapotranspiração 49. intensidades pluviométricas



## 2.2. Metodologias Internacionais de Mapeamento Geotécnico

Desde o século passado, discute-se a importância das informações do meio físico, principalmente questões relativas ao artifício que melhor representaria as variações dos componentes e do espaço tridimensional (ZUQUETTE & GANDOLFI, 2004).

Em 1913 Langen apresentou na feira de construções de Leipzig (Alemanha), documentos gráficos, que deram início a cartografia geotécnica no mundo (ZUQUETTE & GANDOLFI, op. cit.).

A partir deste evento os mapas foram surgindo com maiores informações, análises diferenciadas e detalhes em função das escalas, onde se classificavam os atributos do meio físico para usos como: engenharia, planejamento e meio-ambiente.

De acordo com Zuquette (1987) foram desenvolvidos novos trabalhos que acabaram por aprimorar as técnicas de mapeamento, alguns desses são:

- a. 1919 – Método de Moldenahawer: Conversão da carta geológica da Vila de Danztzig (Alemanha) em uma carta geotécnica.
- b. 1932 – Método Stremme: Conjunto de cartas de Ostendorff (Alemanha) que tratava de geologia e geotecnia.
- c. 1938 - Método Muller: Várias cartas de caráter geotécnico voltadas ao planejamento urbano na comunidade de Mark (Alemanha). Utilizando cores e sinais para diferentes características.
- d. 1951 – Método de Groschopf: Cartas geológicas-geotécnicas da região de Ulm (Alemanha).

- e. 1951 – Método de Benz: Cartas geotécnicas com delimitações de zonas na cidade de Stuttgart (Alemanha).
- f. 1956 – Método de Gwinner: Individualização de unidades geotécnicas, definindo e diferenciando materiais. Marcou a mudança das cartas normais para as aplicadas à engenharia.

Após a década de 50, muitos países desenvolveram metodologias que foram aplicadas conforme as necessidades e as características de cada região. Desses métodos alguns são utilizados até hoje sofrendo algumas adaptações. A seguir serão descritos algumas das principais metodologias internacionais de mapeamento geotécnico.

### **2.2.1. Metodologia PUCE**

O método denominado Pattern Unit Component Evaluation (PUCE), teve origem nos mapeamentos sistemáticos de Grant (1970) na Austrália, permitindo o recobrimento de todo o país.

Sua concepção foi baseada na compartimentação de regiões de acordo com características geológicas/geomorfológicas, do uso do solo e geotécnicas, e ainda quanto à escala do estudo.

Esta metodologia se aplica principalmente a estudos de viabilidade e planejamento, adequado, portanto a realidade de demanda da região (SOUZA, 1992).

Como é uma metodologia de sistema hierárquico (Tabela 2.2), sua aplicação pode-se dar em qualquer escala dentro da mesma sistemática de classificação de terrenos, de forma subordinada e interligada.

**Tabela 2.2:** Formas de análise e quantificação para cada classe hierárquica na metodologia PUCE (ZUQUETTE, 1987).

CLASSES DO TERRENO	FATORES DO TERRENO PARA DESCRIÇÃO	FATORES DO TERRENO ADEQUADOS PARA QUANTIFICAÇÃO	MÉTODO PARA QUANTIFICAÇÃO
<b>Província</b>	geologia (grupo, formação etc)	nd*	nd*
<b>Padrão de Terreno</b>	paisagem; características básicas do solo; vegetação; rochas; padrão de drenagem.	amplitude de relevo; freqüência de canais de drenagem.	fotos aéreas ou medidas <i>in situ</i>
<b>Unidades do Terreno</b>	formas de relevo; principais características dos solos; rochas; formações vegetais.	dimensões das unidades do terreno (amplitude do relevo, com comprimento, largura).	fotos aéreas e medidas <i>in situ</i>
<b>Componentes do Terreno</b>	tipo de talude; litologia; solo; associação de vegetação.	dimensões dos componentes do terreno (amplitude do relevo, comprimento, largura e talude); dimensões relativas a vegetação (altura, diâmetro, espaçamento); propriedades dos materiais geológicos; quantidade dos materiais terrosos.	medidas <i>in situ</i>  medidas <i>in situ</i>  medidas <i>in situ</i> e laboratórios medida ou estimativa

\*nd = não descrito

Souza (1992), utilizou tal modelo para o mapeamento geotécnico da Folha de Aguai, na escala 1:50.000, com abordagem regional, classificando o terreno por províncias, sistemas (padrões) e unidades de terreno. A Tabela 2.3 apresenta o sistema utilizado neste trabalho.

O componente de terreno é definido com base na integração de critérios do meio físico e uso do solo, o mapeamento de Souza (op.cit.) não identificou essa classe devido à escala regional com que se trabalhou.

**Tabela 2.3:** Sistema de Análise de Terrenos com proposta de aplicação para Folha de Aguaí (SOUZA, 1992).

CLASSES DE TERRENO	ESCALA	PUCE		PROPOSTA AGUAÍ
		Crítérios	Dificuldades	Crítérios
<b>Província</b>	1:2.500.000	idade e tipo rochoso.	grande número de unidades por idade de rochas em áreas restritas.	província geomorfológica.
<b>Padrão</b>	1:2.500.000 à 1:100.000	paisagem; amplitude de relevo; padrão e densidade de drenagem.	estudo de canais por km.	padrão de forma de relevo, declividade e amplitude de relevo e densidade de drenagem (n° de canais/ 16 km <sup>2</sup> ).
<b>Unidade</b>	1:50.000 à 1:25.000	formas de relevo; associação de solos; vegetação.	necessidade de vegetação natural. definição das associações de solos.	forma de relevo, perfil de alteração, material inconsolidado, declividade, geologia.
<b>Componente</b>	1:25.000 à 1:2.500	tipo de vertente; litologia; solo; vegetação.	não identificada devido à escala.	não identificada devido à escala.

Uma característica desta metodologia é a definição de cada classe através de uma nomenclatura específica. São determinados números a cada atributo e para cada classe se forma uma seqüência, este método auxilia principalmente na criação do banco de dados do projeto, principalmente para Sistema de Informação Geográfica (SIG).

### 2.2.2. Metodologia IAEG

Esta metodologia foi elaborada por membros da comissão técnica da International Association of Engineering Geology and Environmental (IAEG) em 1968 e apresentada no boletim da instituição em 1970.

O objetivo principal desta comissão foi criar um modelo de orientação e uniformização para o mapeamento geotécnico. Para isto considerou-se os seguintes fatores: caráter das rochas e solos, condições hidrogeológicas e geomorfológicas e ainda os fenômenos geodinâmicos.

Além disso, as cartas deveriam prever as variações do ambiente geológico, decorrentes de sua ocupação, e sugerir as medidas preventivas necessárias. Sendo tais resultados apresentados de forma acessível a profissionais que não atuem permanentemente na área.

Segundo Zuquette & Nakazawa (1998), os mapas são classificados quanto à:

#### a. finalidade

- Mapa de finalidade especial: trata de aspectos específicos do meio-físico, ou de condições geotécnicas para a construção de um determinado tipo de obra;
- Mapa de multifinalidade: apresenta informações geotécnicas variadas, usadas para diversas finalidades.

#### b. conteúdo

- Mapa analítico: carta de aspectos individuais cuja finalidade vem expressa no título;
- Mapa compreensivo: analisa todos os componentes possíveis do meio físico, sendo de dois tipos:

- i. Mapa de condições geotécnicas: registra os componentes do meio físico, há necessidade de interpretá-los.
- ii. Mapa de zoneamentos geotécnico: registra e interpreta as informações geológicas/geotécnicas. Pode ter uso geral ou específico, e apresenta as seguintes unidades:
  - Regiões: há uniformidade de elementos estruturais geotécnicos;
  - Áreas: há semelhança entre unidades geomorfológicas regionais;
  - Zonas: há homogeneidade em termos de litologia e de arranjo estrutural das rochas e solos;
  - Distritos: quando as condições hidrogeológicas e os fenômenos geodinâmicos são semelhantes.

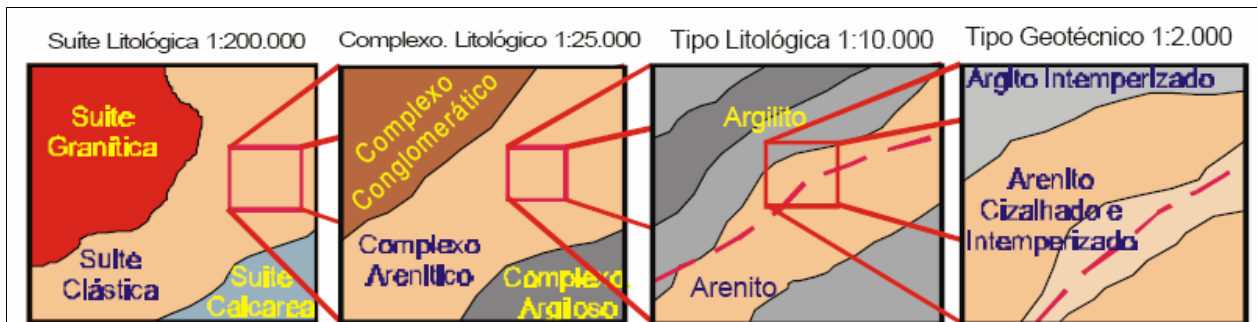
#### c. escala

- Grandes: 1:10.000 ou maior para finalidades específicas;
- Médias: 1:10.000 à 1:100.000 para o planejamento regional;
- Pequenas: 1:100.000 ou menores, para mapeamento de caráter amplo.

#### d. litogênese

- Tipo geologia de engenharia: uniformiza as características litológicas, no estado de alteração;
- Tipo litológico: prevê heterogeneidade quanto à alteração e a homogeneidade em termos de estruturas, textura e composição;
- Complexo litológico: compreende tipos litológicos relacionados geneticamente, desenvolvidos sob condições geotectônicas e paleogeográficas específicas;
- Suíte litológica: associa vários complexos litológicos que se desenvolvem sob condições tectônicas e paleogeográficas similares.

Na Figura 2.1 há uma representação gráfica da classificação litogenética em relação às escalas.



**Figura 2.1:** Representação gráfica da classificação litogenética proposta pela IAEG, 1976 (BORGES, 2003).

### 2.2.3. Metodologia Francesa

Sanejouand (1972) publicou os resultados de um levantamento e uma análise de mapeamentos geotécnicos já realizados na França. Os fatores analisados nestes mapas foram ligados à geologia, geomorfologia e geotecnia.

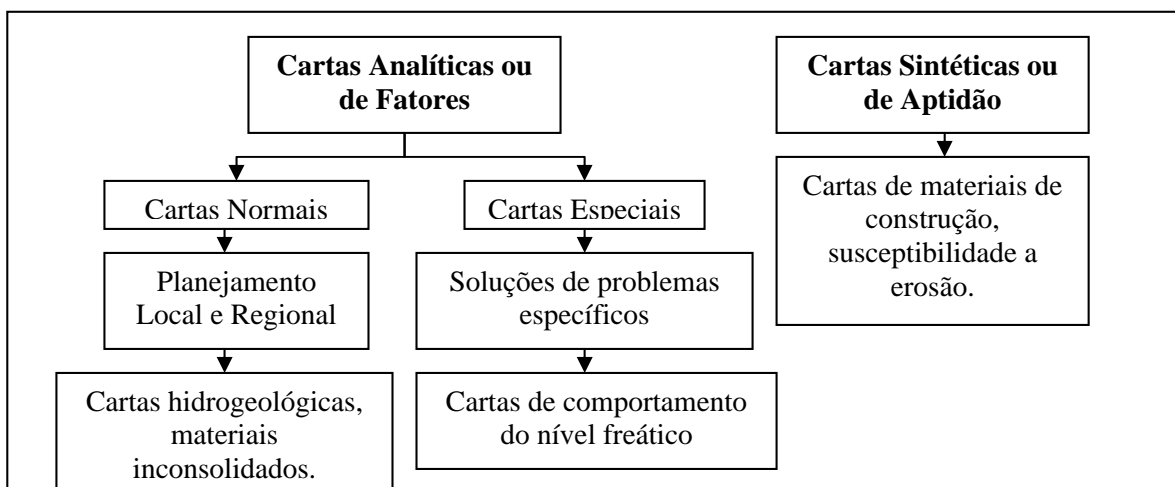
Dessa maneira, estabeleceu-se uma classificação para as cartas geotécnicas na França, tendo como documentos básicos as cartas de: documentação, substrato rochoso, materiais de cobertura, hidrogeologia e geomorfologia. E através da interpretação delas, são elaboradas as cartas de aptidão voltadas para usos em: fundações, vias de transportes, escavabilidade, materiais de construção e outras.

Tal classificação é feita através da escala e/ou do conteúdo da forma da carta geotécnica:

- a. *Quanto à escala:* esta relacionada com a finalidade da carta, podendo ser:
  - 1:50.000 a 1:100.000 – Planejamento Regional;

- 1:25.000 a 1: 10.000 – Planejamento Urbano;
- 1:10.000 a 1:5.000 – Fins Específicos;
- Maiores que 1:5.000 – Zonas específicas.

b. *Quanto ao conteúdo da forma:* as cartas geotécnicas podem ser divididas em Cartas Analíticas que representam um ou mais fatores e caracterizam uma síntese parcial de dados, ou Sintéticas que delimitam áreas homogêneas quanto ao tipo de utilização e qualidade dos solos. O fluxograma da Figura 2.2 apresenta as variações das cartas geotécnicas quanto ao conteúdo da forma na metodologia Francesa.



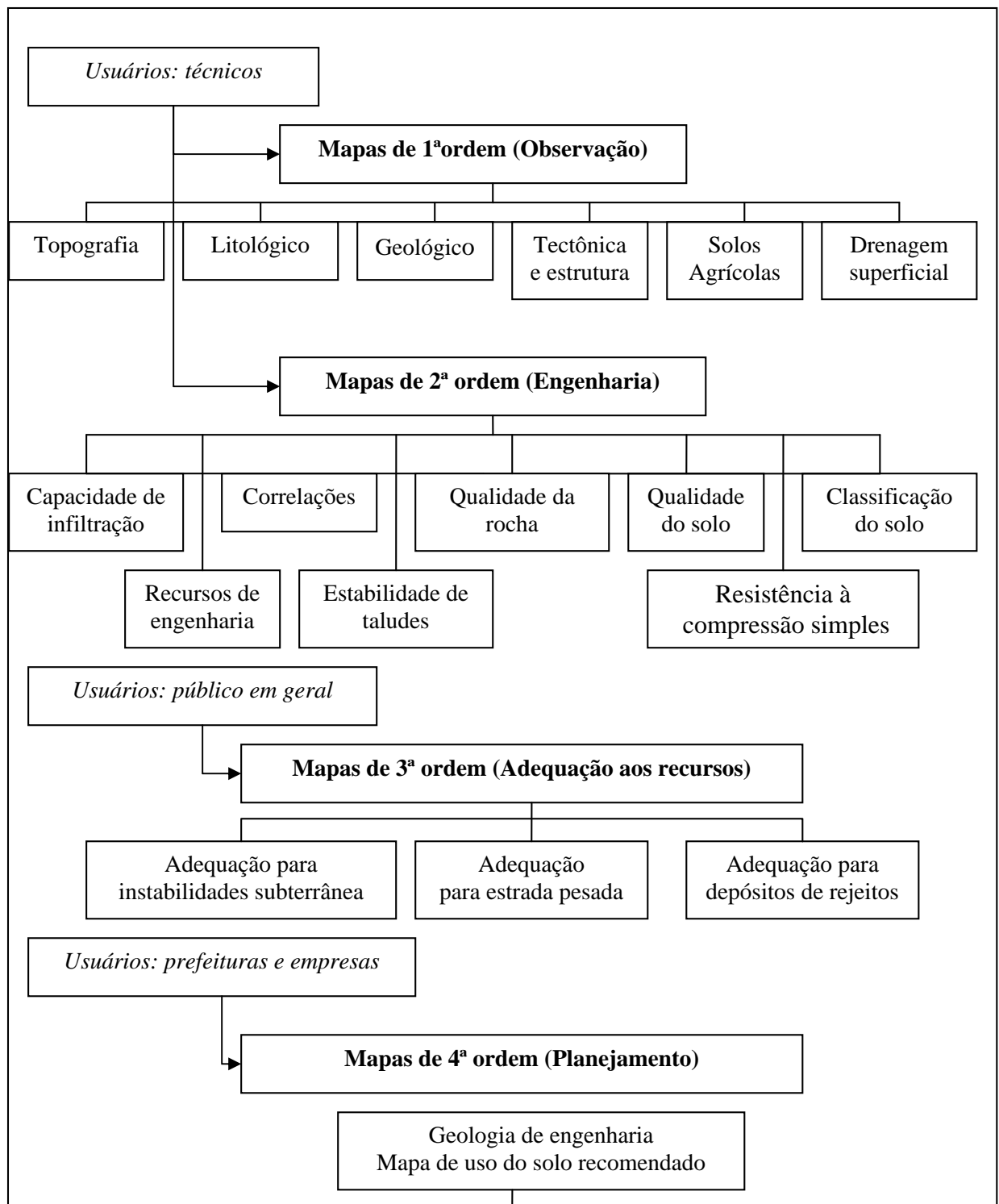
**Figura 2.2:** Fluxograma com a classificação das cartas quanto ao conteúdo da forma na metodologia Francesa.

#### 2.2.4. Metodologia Mathewson & Font

Mathewson & Font (1974), pesquisadores norte-americanos citaram que a geologia de engenharia deve fornecer subsídios ao uso do solo e expressar ao público não especialista informações sobre engenharia, geologia, meio ambiente e ou planejamento. Estes autores dividiram os documentos cartográficos em 4 ordens,



como mostra o fluxograma da Figura 2.3, esta ordenação, além de hierarquizar as cartas, define para quais usuários elas serão adequadas.



**Figura 2.3:** Fluxograma da ordenação dos documentos cartográficos relacionados à metodologia de Mathewson e Font (Modificado de ZUQUETTE & GANDOLFI, 2004).

### **2.2.5. Metodologia ZERMOS**

A metodologia ZERMOS (Zonas Expostas aos Riscos de Movimentos de Solos) foi aplicada em áreas instáveis na França no início de 1972, pelo serviço geológico sob a responsabilidade do Laboratório do Pons et Chaussées (ZUQUETTE & GANDOLFI, 2004).

Os principais objetivos deste método é fornecer: a probabilidade de movimentos de massa ou instabilidades (por meio de cores) e apresentar um zoneamento graduado do risco sem previsão de tempo.

De acordo com Zuquette & Nakazawa (1998), as cartas desta metodologia são elaboradas com, no mínimo, três fases de trabalho:

- a.** Levantamento bibliográfico e entrevistas sobre a existência de movimentos de terrenos na região estudada, suas freqüências e amplitudes;
- b.** Estudo geomorfológico, por meio de fotointerpretação;
- c.** Estudo e controle, no terreno, dos principais fatores permanentes e temporais (dinâmica de escorregamentos), sendo indispensável que a escala de trabalho seja 1:50.000 ou maior detalhe.

O documento final que este estudo determina é a Carta ZERMOS, que fornece detalhamentos em escalas maiores que 1:5.000, localizando as possíveis áreas de risco.

Há também um documento, que acompanha a Carta, chamado de Nota Explicativa onde são fornecidas indicações sobre: situação geográfica, morfologia, geologia, tipologia dos movimentos de terrenos observados e definição de zoneamento adotado e suas conseqüências.

### 2.2.6. *Metodologia Matula*

Matula (1976) sistematizou a cartografia geotécnica da Tchecoslováquia, propondo uma simbologia aliada aos geofatores que compunham o terreno. Godoy (1989) descreve esta metodologia como de uso restrito aos fins de urbanização, baseada em critérios onde as condições do meio ambiente restringem a ocupação.

Os geofatores são variáveis que influenciam negativa ou positivamente a ocupação urbana, sendo divididos em três grupos:

- a. **Geofatores A:** Põem em risco o desenvolvimento urbano (abalos sísmicos, boçorocas);
- b. **Geofatores B:** Limitam a aptidão para áreas de construção (incluindo : hidrogeologia, propriedades dos solos e das rochas, relevo e declividade);
- c. **Geofatores C:** Devem ser protegidos dos impactos indesejáveis da urbanização (materiais de construção, reservas naturais, APP – Área de Proteção Permanente).

Para cada geofator se atribui um valor de uma escala, variando de acordo com o grau de incompatibilidade com a urbanização:

- a. 1° grau: influência desprezível;
- b. 2° grau: implica em medidas corretivas;
- c. 3° grau: inviável.

GODOY (1989) em seu trabalho na cidade de Presidente Prudente, baseou-se nas características brasileiras e mais precisamente regionais, determinando os geofatores mostrados na Tabela 2.4.

**Tabela 2.4:** Geofatores utilizados por Godoy (1989) no mapeamento geotécnico de Presidente Prudente/SP

<b>Geofatores A</b>		- Sulcos convergentes e ravinas - Boçorocas
<b>Geofatores B</b>	<i>Rochas e solos</i>	- Capacidade de carga - Resistência à escavação
	<i>Relevo</i>	- Declividades
	<i>Água</i>	- Drenabilidade - Nível água subterrânea - Áreas inundáveis
<b>Geofatores C</b>		- Áreas a serem protegidas - Poluição do lençol freático - Abastecimento de água e esgoto doméstico - Disposição de rejeitos domésticos e industriais - Recarga de aquífero - Bacias e reservatórios - Georecursos referentes à fertilidade do solo - Matérias-primas minerais - Restrições determinadas por Leis e atos administrativos

Ao final do trabalho, como orienta a metodologia, elaborou-se uma carta de zoneamento baseada em áreas de restrições à ocupação. Nesta Carta é apresentada a avaliação dos geofatores considerados, e seus respectivos graus de incompatibilidade, para o planejamento e ocupação do terreno.

### 2.3. Metodologias Nacionais de Mapeamento Geotécnico

No Brasil, o trabalho pioneiro em mapeamento geotécnico foi desenvolvido em 1966 pelo professor Hermann Haberlehner, da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), esta publicação continha a Carta Geotécnica da cidade do Rio de Janeiro (ZUQUETTE & GANDOLFI, 2004).

Depois desta publicação, outros trabalhos foram surgindo como: no Paraná (GREHS, 1967), no Rio Grande do Sul (COULON, 1973), no Rio Grande do Sul (MACIEL, 1978), e em São Paulo (PRANDINI, 1974) e (SINGNEMARTIN, 1979).

A partir da década de 80 o desenvolvimento das metodologias se intensificou, sobretudo com as publicações do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), da Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP) e da Universidade Estadual Paulista (UNESP/Rio Claro).

### **2.3.1. Metodologia IPT**

Os primeiros trabalhos geotécnicos realizados pelo IPT foram os mapas dos morros de Santos e São Vicente em 1980, seguidos em 1984 e 1989 pelas cartas da Região Metropolitana de São Paulo e do Guarujá respectivamente.

Segundo Prandini et al. (1995), as cartas geotécnicas, como expressão prática do conhecimento aplicado ao enfrentamento dos problemas postos pelo uso e ocupação do solo, procuram dar acesso, para além do universo dos especialistas, dando a possibilidade de:

- a. rever o desempenho da interação entre a ocupação e o meio físico, bem como os próprios conflitos entre as diversas formas de uso territorial;
- b. orientar medidas preventivas e corretivas no sentido de minimizar deseconomias e riscos nos empreendimentos de uso do solo.

O geólogo Fernando Prandini representou um marco na Cartografia Geotécnica Brasileira, sendo um dos responsáveis por sua difusão. Prandini et al. (1995) propuseram as categorias de cartas para o modelo:

- a. *Cartas geotécnicas propriamente ditas*: expõem limitações e potencialidades dos terrenos e estabelecem diretrizes de ocupação diante de uma ou mais formas de usos do solo;

- b.** *Cartas de riscos (geológicos)*: destacam a avaliação de dano potencial à ocupação, diante de uma ou mais características ou fenômenos naturais induzidos pelo uso do solo;
- c.** *Cartas de suscetibilidade*: têm gradações de probabilidade de desencadeamento de uma ou mais características ou fenômenos naturais ou induzidos por essa mesma ocupação;
- d.** *Cartas de atributos ou de parâmetros (geológicos, geotécnicos)*: limitam-se à distribuição espacial de uma ou mais características do terreno.

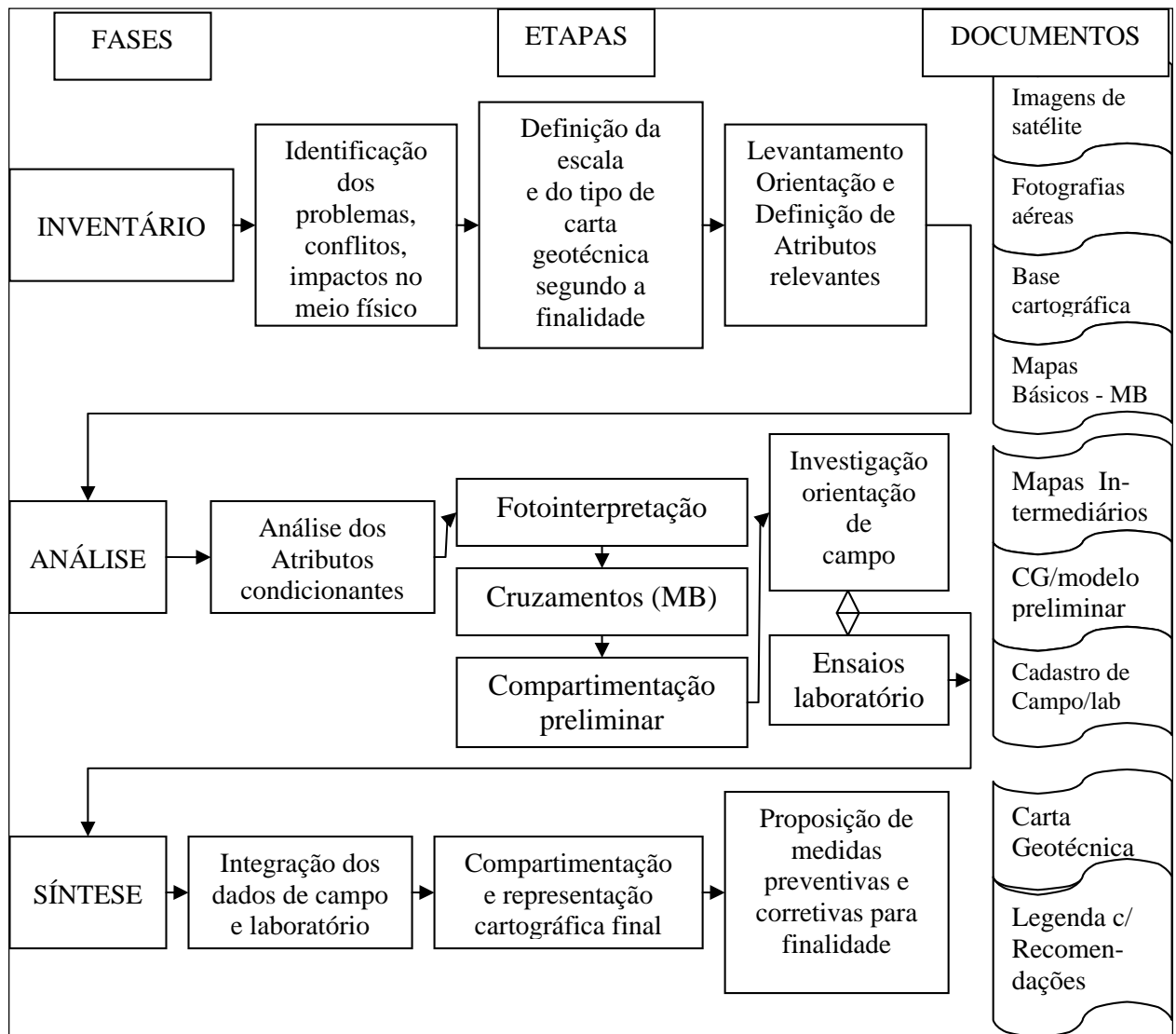
Dentro da aplicação desta metodologia existem certos pontos que devem ser observados como:

- a.** prévio estabelecimento de um modelo que expresse o conjunto de recursos e problemas;
- b.** o conhecimento das causas e condicionantes, das características e dos fenômenos;
- c.** a investigação dirigida através das evidências acessíveis;
- d.** uso intenso de todo o universo de dados disponíveis.

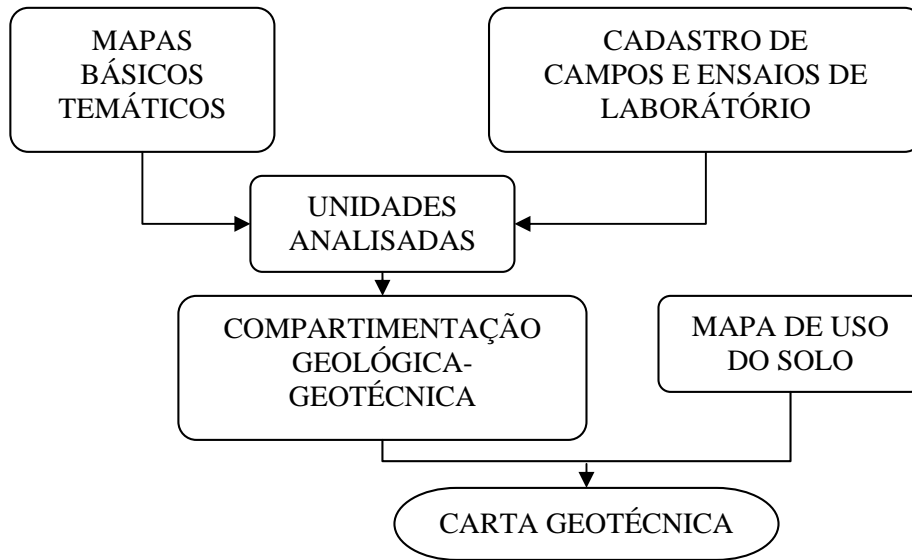
Analisando os objetivos desta metodologia percebe-se que seu enfoque principal é a identificação dos problemas e impactos geológico/geotécnicos, como também a obtenção de soluções para os mesmos, isso fica ainda melhor caracterizado pelo fluxograma apresentado na Figura 2.4.

Segundo CERRI (1990), as cartas geotécnicas são importante base para o planejamento urbano, assim ele definiu um roteiro para elaboração desse tipo de trabalho (Figura 2.5).

O emprego de mapas geotécnicos em planos diretores é salientado por Prandini et. al. (1995), que destaca alguns exemplos de cartas, citadas na Tabela 2.5.



**Figura 2.4:** Fluxograma da metodologia de cartografia geotécnica aplicada no IPT.



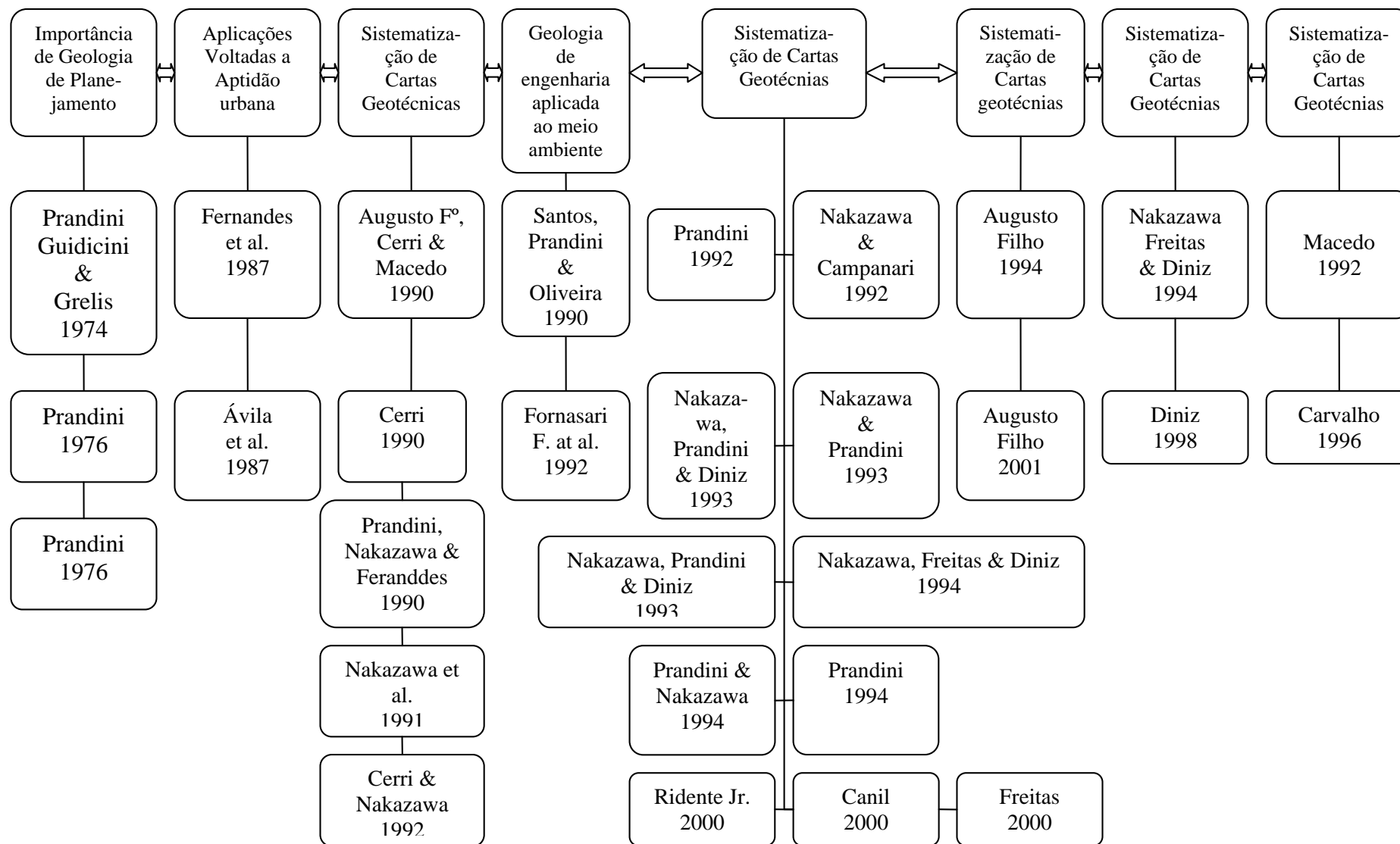
**Figura 2.5:** Roteiro metodológico para elaboração de cartas geotécnicas para planejamento urbano adotado no IPT (CERRI, 1990).

**Tabela 2.5:** Cartas geotécnicas do IPT utilizadas em planos diretores.

Local da carta geotécnica	Escala	Data
Morros de Santos e São Vicente/SP	1:5.000	1979
Grande São Paulo/SP	1:50.000	1985
São Paulo/SP	1:25.000 e 1:10.000	1985
Guarujá/SP	1:20.000	1989
Ubatuba/SP	1:25.000	1990
Campo Grande/MS	1:25.000	1990
Cuiabá/MS	1:25.000	1991
Petrópolis/RJ	1:150.000, 1:20.000 e 1:10.000	1992
Estado de São Paulo	1:500.000	1994

O diagrama da Figura 2.6 apresenta os trabalhos do IPT que contribuíram para cartografia geotécnica brasileira.





**Figura 2.6:** Contribuição do IPT para cartografia geotécnica (PARIZI, 2003).

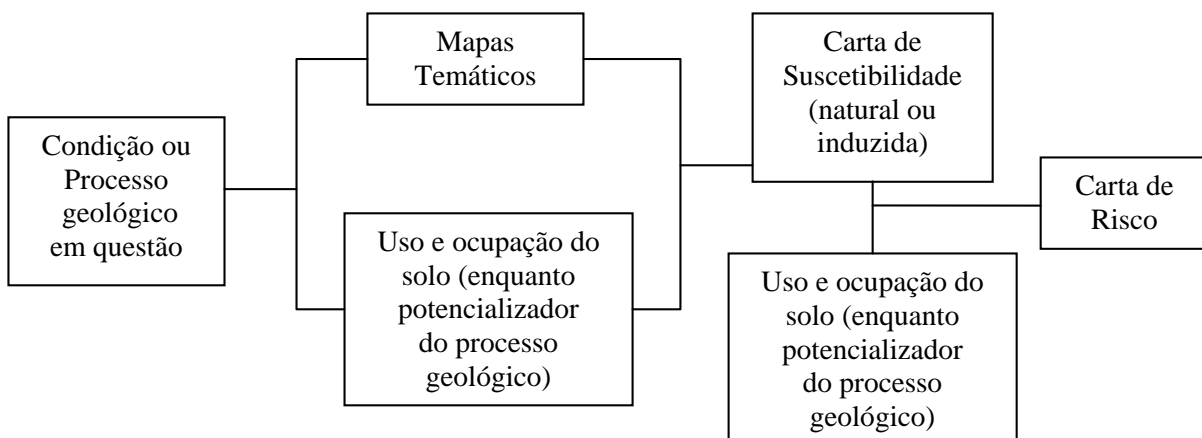
### 2.3.2. Metodologia UNESP/Rio Claro

A metodologia da UNESP de Rio Claro, foi desenvolvida a partir dos trabalhos de Cerri (1990) e Zaine (2000), tendo como princípio básico o aumento da escala em razão de critérios de necessidades de uso (ZUQUETTE & GANDOLFI, 2004).

Apresenta grande semelhança filosófica com a metodologia PUCE, como detalhamento, menos no que se refere aos procedimentos e conteúdos, suas maiores diferenças são em razão da escala. O método também tem grande influência da metodologia do IPT, principalmente nos aspectos relacionados às cartas de risco.

A classificação dos mapas deste método é realizada com base, nos objetivos, aplicações, natureza dos terrenos estudados e nos desafios inerentes às formas propostas de ocupação. Formando assim quatro classes de cartas: Geotécnicas Dirigidas, Geotécnicas Convencionais, de Suscetibilidade e de Riscos (BITTAR et al., 1992).

O roteiro metodológico para elaboração da carta de Risco é mostrado na Figura 2.7.



**Figura 2.7:** Roteiro metodológico para elaboração de Cartas de Risco Geológico (BITAR et al., 1992).

Segundo Cerri & Paula (2004), a carta de conflito de uso apresenta as recomendações e/ou restrições para a ocupação urbana, em função dos resultados obtidos com a elaboração da carta geológica/geotécnica. Os objetivos principais destas cartas são:

- a. apresentar critérios técnicos adequados ao parcelamento do solo para ocupação urbana, por meio da identificação de restrições legais e restrições devidas às características geotécnicas do terreno;
- b. auxiliar no planejamento mais criterioso e adequado para implantação de parcelamento do solo, visando orientar estudos de detalhe a serem realizados na execução das obras de instalação urbana;
- c. minimizar custos, identificando os locais mais favoráveis à instalação urbana, evitando obras desnecessárias e onerosas.

### **2.3.3. Metodologia EESC/USP**

Zuquette (1987), em sua tese de doutorado, sintetiza as principais diretrizes que foram difundidas na EESC/USP, apresentando uma proposta metodológica de cartografia geotécnica para condições brasileiras.

Desde então, esta metodologia vem sendo aplicada pelo Departamento de Geotecnia da EESC/USP, através de um grupo de pesquisadores que desenvolveram trabalhos no centro-oeste do Estado de São Paulo, mapeando uma área de aproximadamente 18.000 Km<sup>2</sup>, e posteriormente outras áreas. A Tabela 2.6 lista alguns dos principais trabalhos que contribuíram para aperfeiçoamento desta metodologia.

**Tabela 2.6:** Alguns dos mapeamentos geotécnicos desenvolvidos com a metodologia EESC/USP.

<b>Autor</b>	<b>Local mapeado</b>	<b>Ano</b>
GODOY, Manoel C. T. F. de	Presidente Prudente/SP – área urbana	1989
LOLLO, Jose Augusto de	Folha de Leme/SP	1991
AGUIAR, René Levy	Área de expansão urbana de São Carlos/SP	1989
FERRANTE, José Ernesto Tellez	Bacia do alto Jacare-Guaçu/SP	1990
BROLLO, Maria José	Araras/SP	1991
NISHIYAMA, Luiz	Quadricula de São Carlos/SP	1991
ALBRECHT, Kurt Joao	Águas de Lindóia/SP	1992
PEJON, Osni Jose	Folha de Piracicaba/SP	1992
DE MIO, Giuliano	Quadricula de Mogi-Guaçu/SP	1992
SOUZA, Noris C. D. C. de	Folha de Aguaí	1992
GRUBER, Gustavo A. Gomes	Folha de Cosmópolis/SP	1993
CARDOSO, Ana Brigida F.	Limeira/SP	1993
VECCHIATO, Antonio Brandt	Cuiabá/MT – área urbana	1993
COLLARES, Eduardo Goulart	Quadricula de Bragança Paulista/SP	1994
SARAIVA, Rodrigo Martins	Folha de Socorro/SP	1995
BARISON, Marcelo Ribeiro	Quadricula de Amparo/SP	1995
AGUIAR, Adelia Didia Caloba	Folha de Conchal/SP	1995
SOUZA, Marta Luzia de	Ouro Preto/MG	1996
MACARI, Renato	Campinas/SP – área urbana e expansão urbana	1996
COSTA, Tony Carlos Dias da	Nordeste de Campinas/SP	1996
GOMES, Ronaldo Lima	Sudeste de Campinas/SP	1997
AGUIAR, Rene Levy	Distrito Federal	1997
BACHION, Maria Letícia	Sudoeste de Campinas/SP- área urbana e expansão	1997
NISHIYAMA, Luiz	Uberlândia/MG	1998
FONTES, Silvana Brandão	Ouro Preto/MG (erosões)	1999
LIMA, Aline M. Meiguins de	Rio Capivari/SP	2000
ALMEIDA, Luis E. Gagliotti	Casa Branca /SP	2000
MURO, Marcos Domingues	São Carlos/SP – zoneamento para aterros	2000
BORGES, Domingos Júnior S.	Folha de Americana/SP	2003

Além destas cartas, outros trabalhos influenciaram esta metodologia, como os trabalhos de: Liporaci (1994) sobre procedimentos e metodologias, e de Lollo (1996) que abordou técnicas de avaliação do terreno no processo de cartografia geotécnica.

Segundo Zuquette & Nakazawa (1998), o princípio básico que orientou o desenvolvimento desta proposta metodológica está centrado no procedimento global do processo de mapeamento, desde a obtenção dos atributos até a elaboração de cartas específicas para os usuários.

Zuquette (1987) ao propor uma metodologia para condições brasileiras, procura adequar as condições socioeconômicas do país, dentro de uma relação custo/benefício favorável, sem o detrimento do nível técnico/tecnológico a ser adotado.

Outra característica importante desta obra é a nítida tendência metodológica voltada à elaboração de cartas dedicadas, especialmente, ao planejamento urbano (AGUIAR, 1989).

Zuquette (1987) menciona que o processo de análise dos componentes do meio físico, tem por finalidade básica levantar, avaliar e analisar os atributos que o compõem, sejam geológicos, hidrogeológicos e outros.

A aplicação da proposta metodológica da EESC/USP deve ser feita por uma equipe numerosa de profissionais especializados, assim como, o seu esqueleto básico deve permitir a sua aplicação em escalas variadas (COLLAÇO, 2003).

Segundo Zuquette & Gandolfi (1990), atendendo as condições brasileiras, deve-se respeitar as seguintes características:

- a.** apresentar o menor custo possível para não concorrer com investigação específica;
- b.** fornecer dados úteis;
- c.** permitir o acréscimo de informação;
- d.** servir a multifinalidades, tais como: obras de engenharia, saneamento, etc;
- e.** fornecer informações úteis à proteção do meio ambiente;
- f.** auxiliar no desenvolvimento de projetos específicos;
- g.** fornecer aos administradores públicos dados relativos a orientação da ocupação do solo;

**h.** realizar amostragem dirigida dentro da região e na unidade considerada homogênea (áreas-chaves).

De acordo com SOUZA (1992) o estudo de avaliação e especificação das unidades geotécnicas passa pelas seguintes etapas: levantamento e análise das informações produzidas anteriormente, reconhecimento dos atributos e identificação das unidades homogêneas. Para obtenção dos atributos utilizam-se os parâmetros apresentados na Tabela 2.7.

**Tabela 2.7:** Parâmetros avaliados para obtenção dos atributos e identificação das unidades homogêneas (continua).

<b>n °</b>	<b>ATRIBUTOS</b>	<b>FORMA DE OBTENÇÃO</b>	<b>DOCUMENTOS DE REGISTRO</b>
1	- tipo de material (inconsolidado ou rochoso) -distribuição em áreas características	- fotointerpretação - trabalhos de campo - ensaios de laboratório (granulometria, azul de metileno, mineralogia)	mapas de substrato rochoso ou/e materiais inconsolidados
2	natureza do perfil da unidade: - relações espaciais - características	- trabalhos prévios - trabalhos de campo - cortes, tradagens e sondagens alternativas - investigações de campo e laboratório	mapas de substrato rochoso ou/e materiais inconsolidados
3	espessura dos materiais inconsolidados	- trabalhos de campo - sondagens alternativas - penetrômetros simples - trado mecânico-manual - geofísica	mapa de materiais inconsolidados
4	profundidade do na	idem aos itens 1,2 e 3.	mapa de águas ou de materiais inconsolidados
5	declividade e sentido	- mapa topográfico - fotogrametria - trabalhos de campo (inclinômetro).	carta de declividade
6	- permeabilidade - drenabilidade - drenagem	- trabalhos prévios - estimativas - observação de campo - investigação de laboratório	mapa específico e memoriais
7	expansibilidade	- estimativa via mineralogia, etc e ensaios alternativo ( azul de metileno) - ensaio mcv (moisture condit. value)	memoriais

**Tabela 2.7:** Parâmetros avaliados para obtenção dos atributos e identificação das unidades homogêneas (conclui).

n <sup>o</sup>	ATRIBUTOS	FORMA DE OBTENÇÃO	DOCUMENTOS DE REGISTRO
8	compressibilidade	- observação de campo - trabalhos prévios - estimativas	memoriais
9	suporte	- observações anteriores - sondagens alternativas (borro)	memoriais e perfis
10	corrosividade	- ensaios específicos - ensaios alternativos - resistividade	memoriais
11	áreas de inundação	- fotointerpretação - trabalhos de campo	mapa
12	movimentos dos terrenos	- fotointerpretação - observações anteriores - trabalhos de campo	mapa
13	formas e comprimentos das encostas	- fotointerpretação - trabalhos de campo	memoriais e mapas
14	áreas de recarga	- mapa de substrato rochoso e dos materiais inconsolidados - fotointerpretação - trabalhos de campo	mapa
15	ctc (capacidade de troca catiônica)	- ensaio químico - ensaio de absorção de azul de metileno	memoriais
16	dados climáticos (erosividade)	- observações anteriores	mapa de dados
17	salinização (potencial)	- trabalhos específicos	memoriais
18	grau de alteração	- observação macroscópica - observação microscópica - ab-adsorção de azul de metileno	memoriais
19	canais de drenagem/ km	- fotointerpretação	mapa das águas
20	capacidade de campo e de murchamento	- ensaios específicos	memoriais
21	fraturamento estrutural	- fotointerpretação - trabalhos de campo	mapa do substrato rochoso
22	bacias hidrográficas	- mapas topográficos - fotointerpretação	mapa das águas

**Fonte: Zuquette & Gandolfi (1990)**

Após a fase de identificação de atributos, inicia-se a preparação do mapa preliminar com unidades homogêneas (SOUZA, 1992). A partir desta compartimentação do terreno é realizada a amostragem, podendo ser feita por investigações superficiais ou subsuperficiais.

De acordo com Collaço (2003), as escalas utilizadas estão diretamente ligadas à finalidade do mapeamento, podendo ser: Geral (Básica), Regional ou de Semi-detulhe (Detalhe). ZUQUETTE (1987) ainda relaciona as escalas com o número mínimo de observações por amostragem na área mapeada, como mostra o a Tabela 2.8.

**Tabela 2.8:** Número mínimo de observação por amostragem (AGUIAR, 1989).

FINALIDADE	ESCALA	LOCAIS OBSERVADOS		
		Qualitativamente		Quantitativamente
<b>Básico</b>	1: 500.000	Cristalino 1/15 km <sup>2</sup>	Sedimentar 1/15 km <sup>2</sup>	1/15 km <sup>2</sup>
	1: 200.000			
<b>Regional</b>	1: 100.000	2/15 km <sup>2</sup>	1/5 km <sup>2</sup>	1/10 km <sup>2</sup>
	1: 50.000	3/15 km <sup>2</sup>	2/5 km <sup>2</sup>	1/5 km <sup>2</sup>
	1: 25.000*	5 /15 km <sup>2</sup>	3/5 km <sup>2</sup>	1/ km <sup>2</sup>
	1: 25.000**	5/ 15km <sup>2</sup>	3/ km <sup>2</sup>	1/ km <sup>2</sup>
<b>Detalhe</b>	1: 10.000	15/ km <sup>2</sup>	10/ km <sup>2</sup>	3/ km <sup>2</sup>

\* proposto por ZUQUETTE (1987) \*\* adotado por AGUIAR (1989)

Aguiar (1989) salienta a forma de apresentação das informações obtidas nas diversas fases de um mapeamento geotécnico, sendo três os principais tipos de documentos utilizados:

- a. *Mapa das condições geotécnicas*: caracteriza o meio físico sem delimitar as similaridades geotécnicas das áreas, sendo mais indicado para escalas gerais;
- b. *Mapa de zoneamento geotécnico geral*: separa porções geotécnicas do terreno geotecnicamente semelhantes sem, no entanto, considerar suas finalidades;
- c. *Mapa de zoneamento geotécnico específico*: recomendado para trabalhos em escalas maiores de 1:50.000, onde as condições geotécnicas são agrupadas de modo a atender uma determinada finalidade.

Zuquette (1987) prevê quatro classes de documentos cartográficos, nas quais os atributos definidos ou avaliados podem ser representados por: Mapas Básicos Fundamentais, Mapas Básicos Opcionais, Mapas Auxiliares e Cartas Derivadas ou



Interpretativas. Na Tabela 2.9 são destacados os documentos pertencentes à cada classe.

**Tabela 2.9:** Quadro das classes de documentos cartográficos definidos por Zuquette (1993).

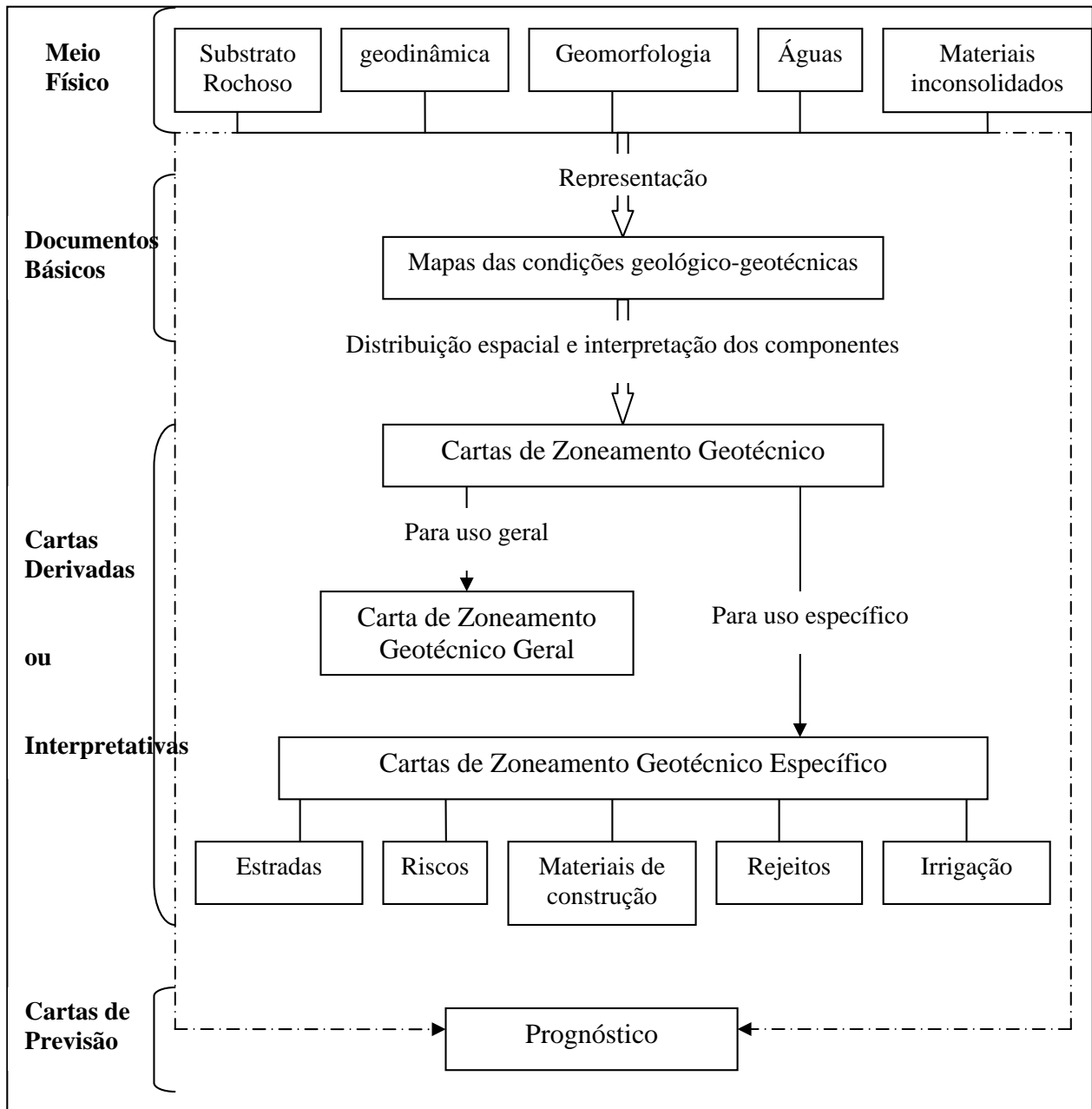
<b>Mapas auxiliares</b>	<b>Mapas Básicos Fundamentais</b>	<b>Mapas Básicos Opcionais</b>	<b>Cartas interpretativas ou Derivadas</b>
Documentação	Topográfico Geológico Mapa das águas	Pedológico Geofísico Geomorfológico Ocupação atual e prevista	Estradas e rodovias Restrições ambientais Estabilidade de taludes Fundações Erosibilidade Escavabilidade Irrigação Deposição de rejeitos Materiais de construção Obras enterradas Potencial ao movimento de massa Potencial à corrosividade Vulnerabilidade das águas sub. Potencial à ocupação agrícola

Segundo Zuquette (op.cit.), o produto final do estudo é a Carta de Zoneamento (orientação), ela orienta a tomada de decisão, quanto as diversas formas de uso e ocupação do solo, do ponto de vista geotécnico. É produzida a partir dos documentos descritos na Tabela 2.9 (básicos e derivados).

Conforme Collaço (2003), as unidades são definidas pelo peso de cada atributo, obedecendo a um dos seguintes critérios.

- a. *Geral*: define as unidades que melhor se enquadram nas necessidades das formas de ocupação;
- b. *Parcial*: quando existe para a mesma região, interesse em dois ou mais modos de ocupação, a serem implantados conjuntamente;
- c. *Individual*: quando houver uma única maneira de ocupação.

A Figura 2.8 ilustra a forma de obtenção e apresentação das informações do meio físico, bem como os produtos finais do mapeamento geotécnico, na abordagem metodológica da EESC/USP.



**Figura 2.8** - Fluxograma de obtenção e apresentação das informações do meio físico em mapeamentos geotécnicos (PEJON,1992).

Outra vertente característica da metodologia EESC/USP é o estudo geoambiental. Para isto são sintetizadas as informações (pré-existentes e

produzidas) em uma Carta de Zoneamento Geoambiental, realizada por meio da reclassificação das unidades de terreno.

## 2.4. Planejamento Urbano e Ambiental

O crescimento desordenado das cidades e as intensas atividades antrópicas, transformam o meio ambiente, causando problemas de natureza física, social e econômica. Neste contexto, a busca pela sustentabilidade nos municípios é cada vez maior, para isto criam-se instrumentos de planejamento e gestão de políticas públicas.

*“O conceito de desenvolvimento sustentável implica que a exploração dos recursos naturais deve ser feita em condições tais que as futuras gerações possam utilizar esses recursos e beneficiar-se de um processo contínuo e equilibrado, no qual a redução das desigualdades econômicas e sociais e a diminuição da pobreza sejam metas fundamentais (TUNDISI, 2000).”*

A infra-estrutura urbana deve ser alicerçada à um sólido planejamento, que contemple questões ambientais, dentre as quais o meio físico, devendo ser mapeado e cadastrado, possibilitando o zoneamento ambiental do local (LIPORACI & ROHM, 2004).

De acordo com Bottari (2005), a gestão ambiental das cidades pressupõe o planejamento urbano e, como qualquer outra atividade potencialmente impactante ao meio, a avaliação de impactos na apropriação do território.

O estatuto da cidade contribui nesta articulação, ao citar o Zoneamento Ambiental e a Avaliação de Impactos Ambientais, porém não os considera essenciais à implementação do Plano Diretor de cidades.

Não havendo critérios necessários à qualidade de vida e à sustentabilidade ambiental, os municípios têm um crescimento direcionado apenas aos interesses econômicos.

Segundo Mascaró & Mascaró (2001) o planejamento focado ao desenvolvimento urbano com vistas econômicas e ambientais, deve-se ter:

- a.** densidade de ocupação do solo apropriada a cada local específico, de acordo com características físicas e ambientais;
- b.** áreas urbanas utilizadas de forma aceitável ambiental, econômica e socialmente;
- c.** limites da capacidade de utilização pré-determinados, através da avaliação das condições de cada local.

O processo de urbanização das cidades brasileiras é desenvolvido e caracterizado predominantemente através do parcelamento do solo, na abertura de franjas de expansão de loteamentos e desmembramentos das glebas (BOTTARI, 2005).

Mota (1999) menciona que as principais alterações provocadas no processo de urbanização são o desmatamento, as movimentações e a impermeabilização do solo, o aterramento de corpos d'água, as modificações nos ecossistemas e a poluição ambiental. O autor ainda salienta os critérios a serem considerados em um planejamento urbano ambiental:

- a.** disciplinamento do uso do solo;
- b.** delimitação das áreas de preservação para terrenos às margens de recursos hídricos ou de grande declividade;

- c. definição de baixas taxas de ocupação em áreas de recarga de aquíferos, de declividade média ou adjacentes à áreas de proteção de recursos hídricos;
- d. estabelecimento do uso do solo e densidades em função de infra-estrutura existente ou projetada;
- e. definição das áreas de valor ecológico como de preservação permanente;
- f. conciliação áreas livres com áreas a serem protegidas;
- g. proteção dos caminhos naturais das águas e prevenção de barreiras naturais à poluição.

Com relação ao parcelamento do solo, Mota (op.cit.) também salienta que se considere:

- a. a topografia e a drenagem natural das águas pluviais;
- b. o desenho das vias acompanhando o número máximo de curvas de nível possíveis;
- c. baixa movimentação de solo;
- d. definição de lotes maiores e taxas de ocupação menores em áreas frágeis;
- e. preservação do caminho natural das águas;
- f. previsão de áreas livres próximas às de proteção;
- g. previsão de taxas máximas de impermeabilização.

#### **2.4.1. Plano Diretor**

A política de desenvolvimento urbano, executada pelo poder público municipal, conforme diretrizes gerais fixadas em Lei, têm por objetivo ordenar o pleno desenvolvimento das funções sociais da cidade e garantir o bem-estar de seus

habitantes, definindo que o instrumento básico desta política é o Plano Diretor (OLIVEIRA, 2001).

Esta definição é estabelecida pelo artigo 182 da Lei Federal nº 10.257 de 10 de Julho de 2001 (Estatuto da Cidade), que entre outros critérios regulamenta que os municípios com mais de 20 mil habitantes são obrigados a elaborarem o Plano Diretor até 11 de outubro de 2006.

Dentro deste instrumento municipal, cabe ao poder público promover o adequado ordenamento territorial, mediante planejamento e controle do uso, do parcelamento e da ocupação do solo, também sendo evidente a competência municipal para adotar as medidas que favoreçam o seu desenvolvimento territorial, com sustentabilidade cultural, social, política, econômica, ambiental e institucional.

O Estatuto da Cidade apresenta caminhos a serem seguidos e estabelece objetivos claros à alcançar, em sintonia com os acordos decorrentes da Conferência Mundial sobre Desenvolvimento e Meio Ambiente (ECO-92) realizada no Rio de Janeiro, e a Conferencia das Nações Unidas sobre Assentamentos Humanos (Habitat II), realizada no ano de 96 em Estambul.

Segundo Mota (1999) um Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano, para contemplar dimensões econômicas, sociais e ambientais, deve considerar as seguintes etapas:

**a. *Levantamento de dados***

- meio físico (características climáticas, topografia, geomorfologia, geologia e solos, hidrologia superficial, hidrogeologia).
- meio biótico e ecossistemas;
- meio antrópico (aspectos demográficos, uso do solo, infra-estrutura, qualidade ambiental existente, aspectos sócio-econômicos, políticos e institucionais)

**b. Diagnóstico**

- mapeamento de áreas consideradas próprias ou impróprias para ocupação urbana;
- identificação das áreas mais suscetíveis à erosão;
- identificação das áreas críticas de poluição atmosférica;
- caracterização de recursos hídricos;
- indicação das áreas com vegetação e degradadas;
- verificação dos níveis de ruídos;
- identificação de áreas destinadas a preservação ou ao uso controlado, de valor ecológico, de recargas de aquíferos, de amortecimento de cheias, etc;
- identificação dos recursos naturais sujeitos à degradação;
- identificações de usos de maior impacto ambiental;
- mapeamento de necessidades básicas de infra-estrutura;
- barreiras ao crescimento das cidades, naturais ou imposta pelo homem;
- análise das áreas de possível expansão urbana.

**c. Prognóstico**

- definição do uso dos solos através de cartas de zoneamento;
- definição de áreas a serem ocupadas e preservadas;
- estabelecimento de diretrizes para o parcelamento do solo, de acordo com cada unidade identificada no zoneamento;
- indicação de infra-estrutura a ser implantada;
- planejamento do sistema viário;
- especificação dos níveis de qualidade a serem alcançados;
- orientação ao desenvolvimento socioeconômico;
- definição dos objetivos para o sistema de planejamento e gestão integrados.

### **2.4.2. Agenda 21 e Habitat II**

De acordo com Leonelli (2003) a Agenda 21 é um programa de ação em forma de recomendações, que incorpora simultaneamente os direitos ao desenvolvimento e um meio ambiente saudável. Algumas das pautas relativas às dimensões sociais e econômicas deste instrumento são:

- a.** dinâmica demográfica e sustentabilidade;
- b.** proteção à saúde humana;
- c.** promoção de assentamentos humanos sustentáveis;
- d.** elaboração de políticas para o desenvolvimento sustentável.

Segundo Leonelli (op.cit) a conferência HABITAT II, teve como tema central “Adequada habitação para todos e o desenvolvimento de assentamentos humanos em um mundo em urbanização”. Com esta reunião foi elaborada a Agenda Habitat, que tem como pontos fundamentais:

- a.** *Descentralização e valorização do poder local:* as autoridades locais são reconhecidas como agentes primordiais para promoção de melhorias dos assentamentos humanos, no entanto as causas estruturais e problemas urbanos são de âmbito nacional e internacional, mas a ação para suas soluções pode ser mais efetiva no poder local;
- b.** *Participação na formulação de políticas públicas:* participação democrática da sociedade civil para elaboração e gestão das políticas públicas;
- c.** *Conceito de infra-estrutura:* a rede de infra-estrutura deve ser pensada através do viés de desenvolvimento sustentável, de acordo com parâmetros através de produção e consumo, a utilização de recursos naturais, adequados à gestão ambiental.



- d. *Intervenção nos assentamentos precários*: substituição do caráter provisório dos assentamentos precários, por estratégias de intervenção e melhoria, através de consolidação urbanização.

## **2.5. Mapeamento Geotécnico no Planejamento Urbano e Ambiental**

Mendes (2001) afirma que o conhecimento apropriado e a compreensão das atividades da composição e da dinâmica da superfície da Terra são fundamentais para o planejamento e o gerenciamento efetivos do meio ambiente e dos recursos naturais.

A necessidade do planejamento urbano faz com que seja imprescindível o conhecimento do meio físico, assim deve-se reconhecer a importância do mesmo por ser o componente ambiental que mais interage com o ambiente construído.

O mapeamento geotécnico fornece informações essenciais ao planejamento urbano e regional, tais como a seleção de área adequada à expansão urbana e a contribuição na obtenção de um plano urbano e regional respeitando e protegendo o ambiente de forma econômica. (MENDES, op.cit).

De acordo com Prandini et al. (1991), a cartografia geotécnica reflete desde a avaliação dos problemas existentes até a formulação das orientações de uso, sendo uma importante contribuição à 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.

Mathewson & Font (1974) alertam para a necessidade de que as informações geológico/geotécnicas cheguem aos planejadores e políticos, de maneira que

possam ser aplicadas diretamente à política administrativa de uso e ocupação do solo.

Para Zuquette (1987), as cartas geotécnicas fornecem informações para o planejamento, tanto urbano quanto regional, na Tabela 2.9 tais informações são agrupadas.

O mapeamento geotécnico tem sido usado em todo o mundo como ferramenta que auxilia na definição e na fiscalização da ocupação territorial das regiões de maneira ajustada tecnicamente, respeitando as áreas de interesse ambiental e as condições necessárias para que a população desfrute-as sem alterar suas condições básicas de vida.

**Tabela 2.10:** Informações da cartografia geotécnica para o planejamento (ZUQUETTE, 1987).

<i><b>Planejamento Urbano</b></i>	<i><b>Planejamento Regional</b></i>
Localização de estradas Planejamento para desenvolvimento residencial Fundações Suprimento de água Disposição de rejeitos industriais ou domésticos Seleção de área para indústrias Adaptação de edificações Áreas de recreação Controle de enchentes Sistematização de drenagens Descobrimento de possíveis jazidas minerais	Localização de estradas Proteção de áreas de recarga de aquíferos Construção de aterros Disposição de rejeitos Locais para obtenção de materiais de construção Análise geral para fundações Áreas agrícolas Avaliação de estradas Localização de sítios para reservatórios Controle de erosão em áreas maiores

## 2.6. Sistema de Informações Geográficas (SIG)

Segundo Calijuri (2000), o SIG constitui uma tecnologia para a investigação de fenômenos diversos, relacionados com engenharia urbana, meio ambiente, geologia, pedologia, vegetação, bacias hidrográficas, etc.

Para Silva (1999), o SIG é uma tecnologia que possui o ferramental necessário para se realizar análises de dados espaciais, portanto, oferece alternativas para entendimento da ocupação e utilização do meio físico.

Câmara et al. (1996) citam as principais funções do SIG, como sendo:

- a. integrar informações espaciais de dados cartográficos, censitários e de cadastramentos, imagens de satélite, redes e modelos numéricos de terreno, numa única base de dados;
- b. cruzar informações por meio de algoritmos de manipulação para gerar mapeamentos derivados;
- c. consultar, recuperar, visualizar e permitir saídas gráficas para o conteúdo da base de dados geocodificados.

Os SIG geralmente têm orientação espacial em sua capacidade de busca e análise, podendo posicionar geograficamente as características de feições em suas posições relativas, descrevendo objetos do mundo real em termos de:

- a. Sua posição em relação a um sistema de coordenadas conhecido;
- b. Seus atributos (cor, custo, tipo, valor); e
- c. Suas inter-relações espaciais, as quais descrevem como estão interligados e como se pode navegar entre os mesmos.

Segundo Souza (1994), em trabalhos cartográficos geotécnicos, os SIG são utilizados como apoio nas seguintes fases do trabalho:

- a.** *elaboração da base de dados*: reúne e atualiza todas as informações existentes sobre um tema ou uma área que se pretende estudar;
- b.** *interpretação de imagens*: facilita correção geométrica das imagens, permite melhorar a qualidade de visualização de cada imagem, gera novas imagens a partir das originais e realiza a sua classificação;
- c.** *análise espacial para geração de cartas geotécnicas*: a partir da interpretação elaboram-se cartas básicas poligonais, onde cada polígono está associado a uma classe e à cada classe é associado um conjunto de atributos.

Conforme Mendes (2001), um SIG tem os seguintes componentes:

- a.** interface com usuário;
- b.** entrada e integração de dados;
- c.** funções de consulta e análise espacial;
- d.** visualização e plotagem;
- e.** armazenamento e recuperação de dados (organizados sob a forma de um banco de dados geográficos).

O SIG armazena informações variadas, de natureza gráfica, como vetores e matrizes, para isto, há a necessidade de módulos ou interfaces que permitam ao usuário incorporar dados e visualizar graficamente estes dados.

Os mapas produzidos correspondem às informações espaciais georreferenciadas, planos de informação, temas ou *layers* (CÂMARA et al., 1996).

Dados espaciais caracterizam-se especificamente pela localização geográfica, um objeto qualquer somente tem sua localização estabelecida quando se pode descrevê-lo em relação a outro objeto cuja posição seja previamente

conhecida ou quando se determina sua localização em relação a um certo sistema de coordenadas (MENDES, 2001).

O banco de dados deve promover a visualização dos dados, sem detalhar como estes são armazenados e mantidos. Pois a grande complexidade com que eles são executados não precisa necessariamente ser aparente ao usuário (SILVA, 1999).

O nível conceitual do banco de dados deve ser utilizado por seus administradores, que devem ter experiência e qualificação para tal. Segundo Silva (op.cit.), ele pode ter diversos graus de autorização para seus usuários:

- a. leitura: permite somente a leitura de dados, sem autorização para modificá-los;
- b. entrada: permite a entrada de dados novos, mas não modificar os já existentes;
- c. atualização: permite a modificação dos dados, mas não a eliminação;
- d. índice: permite a criação e eliminação de índices;
- e. alteração: permite acrescentar ou eliminar atributos em uma relação; e
- f. redução: permite eliminar relações.

Collaço (2002) menciona que, em um banco de dados cartográficos, existe uma coleção de dados espaciais e de dados descritivos relacionados e organizados, para armazenagem e recuperação eficiente. Do ponto de vista da lógica, a representação cartográfica pode ser: “raster” ou vetorial.

O dado vetorial é a representação gráfica do mundo real através de sistemas de coordenadas (x,y), assim ele expressa onde determinado fenômeno ocorre, localizando todos os objetos.

Já o dado raster ou matricial refere-se à representação gráfica do mundo real através de *pixels* (picture element) ou células, com forma poligonal regular,

geralmente quadradas ou definidas pelas suas posições em relação às linhas ou colunas de uma malha, representando o que ocorre em todos os locais do terreno.

Na Tabela 2.11 são apresentadas as vantagens e desvantagens dos dois modelos descritos.

**Tabela 2.11:** Vantagens e desvantagens dos modelos Raster e Vetorial (SILVA, 1999).

Modelos	Raster (grid*)	Vetorial (shape*)
VANTAGENS	Estrutura simples	Estrutura de dados compacta.
	Operações de superposição são facilmente implementadas.	Permite uma codificação de topologia de forma eficaz.
	Altas variabilidades espaciais são eficientemente representadas	As análises de rede são facilmente implementadas.
	Permite operações matemáticas com precisão.	Possui contornos gráficos mais definidos se aproximando de desenhos feitos à mão.
	Operação de modelagem e simulação são facilitadas.	Permite maior interatividade nas alterações de dados.
DESVANTAGENS	A estrutura dos dados toma muito espaço na memória.	A estruturação dos dados é mais complexa.
	As relações topológicas são difíceis de serem representadas.	Operações de superposição são difíceis de serem implementadas.
	O produto final pode não ser esteticamente agradável.	A representação de alta variabilidade espacial não é tão eficaz.

\* termos utilizados no software *Arc view 3.2a*

A elaboração de mapas geotécnicos com auxílio de geoprocessamento é cada vez mais utilizada, pois possibilita a utilização de dados para cálculos de: estabilidade de taludes ou adequabilidade de fundações, além de filtrar dados para elaboração de cartas temáticas como: hidrogeológicas, uso do solo, geomorfológicas, entre outras.

Segundo Pons (2006) a automatização e melhoria no processo de mapeamento geotécnico podem ser obtidas pela utilização de SIG, por ser uma

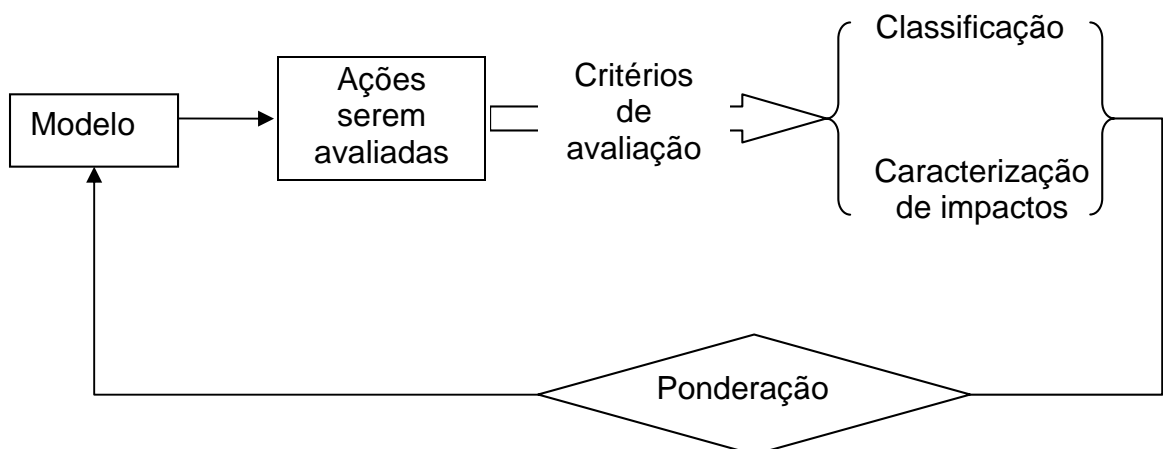
ferramenta potencial, na normalização dos dados, na manipulação das informações e combinação de mapas.

## 2.7. Análise Multi-Critério no Mapeamento Geotécnico

A análise multi-critério é uma ferramenta de apoio à decisão que deve ser vista como uma atividade com dois componentes principais: a construção do modelo e a gestão do processo.

Num processo de tomada de decisões deve-se buscar, de acordo com uma determinada finalidade, o melhor desempenho, a melhor avaliação, ou ainda o melhor compromisso entre as expectativas do decisor e suas disponibilidades em adotá-la.

Segundo Soares (2003), o processo de decisão é definido primeiramente pelas ações que serão avaliadas (alternativas), os critérios de avaliação e a ponderação dos mesmos, e finalmente pela agregação desses critérios a um modelo matemático pré-definido, na Figura 2.10 tem-se o fluxograma deste processo.



**Figura 2.9** - Procedimento do método de multi-critério

De acordo com Parizi (2003), este modelo apresenta flexibilidade na combinação entre mapas, possibilitando a utilização de uma escala de valores em função do grau de significância relativo de cada critério (atributo) envolvido na análise. Esta análise deve servir basicamente para ajudar o decisor a controlar os dados que são fortemente complexos e direcionar o trabalho à melhor estratégia de gerenciamento.

As etapas do processo de decisão são basicamente:

- a. *formulação do problema:*** finalidade da decisão;
- b. *determinação de um conjunto de ações potenciais:*** objetos sobre os quais serão procedidas as avaliações e comparações;
- c. *elaboração de uma família de critérios (atributos):*** definição de atributos que permita avaliar as características do meio físico e os efeitos causados por ações antrópicas;
- d. *determinação de pesos dos atributos e limites de discriminação:*** os pesos exprimem, através de números, a importância relativa de cada atributo, podendo ser realizada por diversas técnicas (hierarquização de atributos, notação, distribuição de pesos, taxa de substituição, regressão múltipla, etc);
- e. *agregação dos critérios:*** associar os atributos já definidos, a um modelo matemático escolhido, avaliando os diferentes critérios para cada ação, comparando-as entre si por um julgamento relativo ao valor de cada ação. Existem dois métodos de agregação: o total e o parcial, no primeiro as ações são comparadas em conjunto por uma única operação, enquanto no segundo esta comparação é feita par a par estabelecendo relações de superação entre as mesmas.



São vários os métodos para tomada de decisão que permitem analisar possibilidades frente a múltiplos critérios e prioridades conflitantes, auxiliando na modelação e agregação das preferências dos planejadores, sendo um instrumento que pode ajudar um grupo decisor a reavaliar seus pontos de vista, pois permite incorporar, sistematicamente, aspectos sociais, econômicos, técnicos e ambientais (SANTOS, 2004).

A análise de multi-critério é uma ferramenta de apoio à decisão que deve ser vista como uma atividade com dois componentes principais: a construção do modelo e a gestão do processo.

De acordo com Parizi (2003), este modelo apresenta flexibilidade na combinação entre mapas, possibilitando a utilização de uma escala de valores em função do grau de significância relativo de cada critério (atributo) envolvido na análise. A vantagem desse método é permitir ao usuário adicionar as observações de campo e sua experiência através de ajuste dos pesos dos atributos e suas classes.

Entre os modelos de análise multi-critério, a soma ponderada atribui pesos para cada critério (atributo) e em seguida, para cada ação avaliada (finalidade) realizar um somatório do produto do peso pela avaliação do atributo, este valor obtido é dividido pela soma dos pesos atribuídos como indica a equação 1 (SOARES, 2003).

$$S^j = \frac{\sum_{i=1}^n E_i^j \cdot p_i}{\sum_{i=1}^n p_i} \quad (1)$$

$p_j$  = Coeficiente de ponderação  
 $E_i^j$  = Avaliação (valor) do atributo  $i$  para a ação  $j$   
 $S_j$  = Soma ponderada da ação  $j$

Aguiar (1989) utilizou este método para analisar as possíveis áreas de expansão urbana do município de São Carlos, identificando, através da ponderação, as unidades com restrição à ocupação. O produto final representa o índice da área estudada, podendo ser dividido em classes, cada uma representando a adequabilidade das unidades delimitadas.

Moura (2003) relata o procedimento de ponderação de pesos para o estudo de planejamento urbano realizado em Ouro Preto/MG, onde se utilizou o sistema de análise geo-ambiental SAGA-UFRJ (programa desenvolvido pelo Lageop-UFRJ). Neste caso foram atribuídos pesos, que somam 100%, a cada variável (atributo) componente da análise, e internamente, na atribuição de notas que seguem à escala de 0 a 10 ou de 0 a 100, para cada componente da legenda da variável.

A Tabela 2.12 apresenta a árvore de decisões na avaliação da síntese de riscos à ocupação, utilizado no caso. Ainda segundo Moura (2003) essa ponderação final dos pesos foi definida após varias tentativas até se obter um mapa que melhor representasse a realidade.

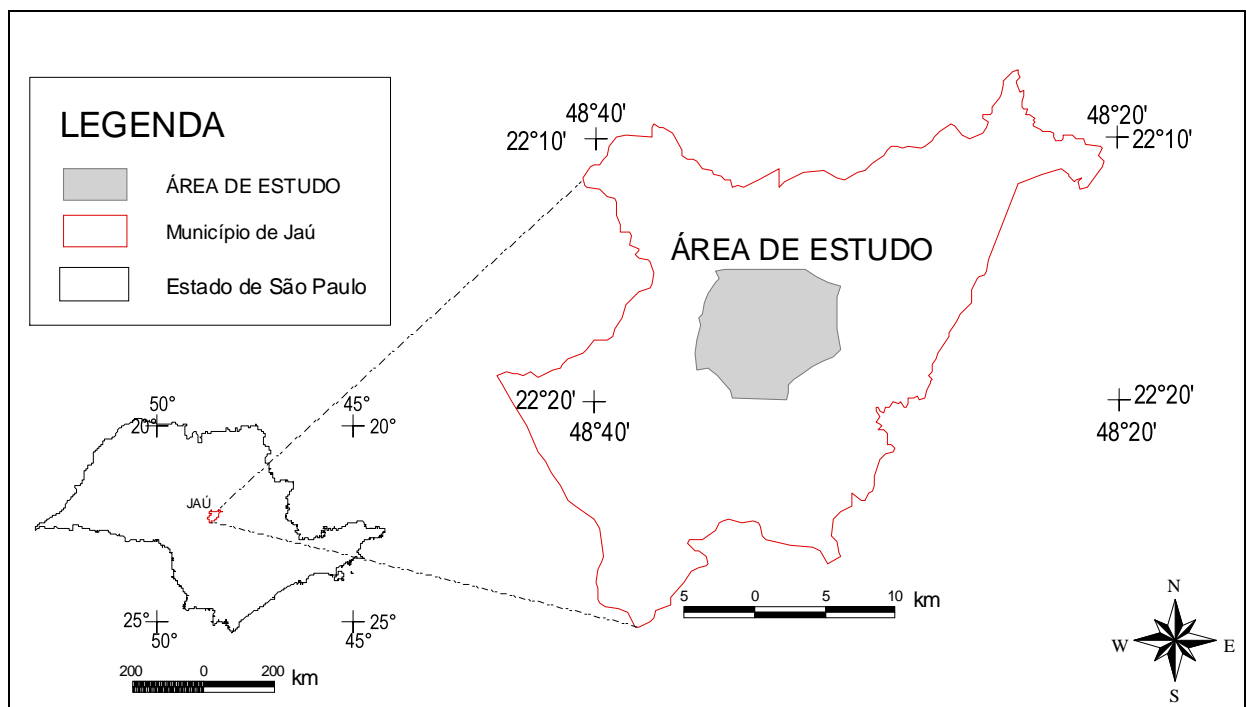
**Tabela 2.12:** Árvore de decisões na avaliação de riscos à ocupação (MOURA 2003).

Temas da avaliação	Pesos (%)	Componentes de legenda	Notas
Faixa de domínio Rio Principal	12	Faixa domínio rio e lagoa	10
		Fundo de mapa	0
Faixa de domínio rodovia	12	Faixa domínio de rodovia	10
		Fundo de mapa	0
Risco Geotécnico	30	Nulo	0
		Remoto	1
		Baixo	3
		Moderado	5
		Alto	9
		Muito Alto	10
		Fundo de mapa	Sem dados
Declividades	30	0 – 5 %	2
		5 – 10 %	0
		10 – 20 %	6
		20 – 30 %	7
		30 - 47 %	9
		Acima de 47%	10
Mineração a céu aberto	16	Área atingida por mineração	10
		Fundo de mapa	0

### 3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O município de Jaú possui uma área de 688 Km<sup>2</sup> e altitude média de 522 metros, está localizada no centro-oeste do Estado de São Paulo (Figura 3.1), e tem como marco central a Latitude Sul 22° 17' 44" e Longitude Oeste 48° 33' 30".

A área estudada é a região urbanizada e área de expansão urbana do município, totalizando 70,3 Km<sup>2</sup>. Esta área foi escolhida por ser passível da aplicação de uma metodologia para planejamento urbano, também pela disponibilidade de um bom acervo fotográfico e dados geotécnicos ainda não utilizados e pelo município ainda não possuir diretrizes para parcelamento e uso do solo urbano (até o momento). A Figura 3.1 ilustra a localização do município de Jaú no estado de São Paulo e a área de estudo no município.



**Figura 3.1:** Localização da área de estudo no município de Jaú e no Estado de São Paulo.

### 3.1. Características Gerais do Município

O abastecimento público é proveniente de 5 mananciais superficiais tratados em duas Estações de Tratamento de Águas (ETA) e 14 poços de água subterrânea. O município conta com uma Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) que iniciou seu funcionamento em 2003, trabalhando em regime de Concessão, trata atualmente 80% do esgoto municipal.

A cidade não possui aterro sanitário, portanto os resíduos são dispostos em um “Lixão”, sendo cobertos com solo compactado.

De acordo com a classificação de Köppen o clima da cidade é do tipo CWA Mesotérmico, também chamado de Tropical de Altitude, caracterizado por possuir inverno seco e verão chuvoso, com temperatura média superior a 22°. A precipitação média anual é de 1.428 mm, com período chuvoso de outubro a março e período seco de abril a setembro, apresentando uma umidade relativa média do ar de 70% (PALANCA & KOFFLER, 1996).

Jaú esta situada num planalto basáltico de baixas altitudes, com morrotes alongados e espigões onde predominam interflúvios sem orientação preferencial topos achatados, vertentes ravinadas com perfis retilíneos. Drenagem de média a alta densidade, com padrões dendríticos e vales fechados (PONÇANO et al. 1981).

O município está inserido na UGRHI 13 (Unidade Hidrográfica de Gerenciamento de Recursos Hídricos). Sua maior participação dentro da unidade é no setor agroindustrial, por ter grandes usinas de açúcar e álcool, que acabam sendo a causa de um dos problemas futuros apontados no Relatório Zero de 1999, elevadas demandas de água para o setor. Ainda no mesmo relatório são citados

problemas quanto ao rebaixamento do nível do lençol freático e a contaminação das águas subterrâneas (SAO PAULO, 2004).

O Plano Diretor municipal foi regulamentado através da Lei Complementar Nº 277, de 10 de outubro de 2006, mas ainda esta em fase de elaboração de suas diretrizes, devendo ser finalizado em 2008 contemplando: parcelamento, uso e ocupação do solo, plano plurianual, zoneamento ambiental, planos e projetos de bairros e distritos, dentre outros instrumentos de planejamento e gestão territorial.

### **3.2. Alguns Estudos Científicos Realizados na Área**

A cidade de Jaú foi tema de alguns estudos científicos nas áreas: de transportes por Romão (2002), Barbosa (2005) e Andolfato (2005), botânica por Souza (2000), e planejamento urbano por Leonelli (2003).

Veniziani (2003) fez o levantamento da proteção vegetal na bacia do Córrego Santo Antônio, para utilização da equação universal de perda de solo.

Outro trabalho importante é o livro “Jaú – imagens de um rio!” dos autores Souza & Cremonezi (2003), que tratam de alguns aspectos relativos ao meio físico na bacia do Rio Jaú como: recursos hídricos, geomorfologia, solos, problemas e impactos ambientais, entre outras.

#### **4. MÉTODO E ETAPAS DE PESQUISA**

Segundo Rampazzo (2002), a pesquisa é um procedimento reflexivo, sistemático e crítico que permite descobrir novos fatos ou dados, soluções ou leis, em qualquer área de conhecimento. Dessa forma, a pesquisa é uma atividade voltada para a solução de problemas por meio dos processos do método científico.

Na presente investigação, a pesquisa bibliográfica foi realizada para obtenção da fundamentação teórica necessária à sua realização, com o objetivo de aprofundar o conhecimento dos temas referentes à cartografia geotécnica.

Com base nesta revisão e no escopo desta pesquisa, diretamente relacionada ao planejamento urbano e a utilização de SIG como ferramenta básica de análise, optou-se por adotar, como referencia geral para o desenvolvimento do trabalho, o método de mapeamento geotécnico inicialmente proposto por Matula (1976).

Matula fez uso de geofatores para a região metropolitana de Bratislava (antiga Tchecoslováquia). Devido as condições ambientais distintas desta região em relação às brasileiras, a aplicação deste método em nosso território requer adequações.

Já aplicado no município de Presidente Prudente (SP) por Godoy (1989), tal método sofreu modificações, que para o presente estudo, foram avaliadas e adaptadas segundo os objetivos da pesquisa e as exigências da utilização de programas de SIG.

Assim, com base nestes aspectos, foram definidos os atributos geotécnicos e ambientais, que interferem na ocupação urbana, positiva ou negativamente, denominados de geofatores.

A definição dos geofatores depende das características da área a ser estudada, e também da finalidade da pesquisa. Neste trabalho foram definidas três grupos de geofatores:

- a. **Grupo A:** relacionados aos fenômenos de geodinâmica externa, ou seja, os processos como erosão pluvial e inundações que podem acarretar graves problemas para a urbanização;
- b. **Grupo B:** São os que determinam as propriedades do terreno, descrevendo as características dos materiais (rochas e solos), do relevo local e das condições de drenagem e água subterrânea;
- c. **Grupo C:** relacionados às áreas que contenham jazidas minerais, às Áreas de Proteção Permanente (APP), às Reservas Ambientais e às áreas de recarga de aquíferos.

A classificação dos mapas foi feita de acordo com Mathewson e Font (1974). Estes pesquisadores dividiram os documentos cartográficos em quatro ordens:

- a. **Mapas de 1ª Ordem:** são os mapas básicos de observação, contém informações topográficas, dos solos e das rochas;
- b. **Mapas de 2ª Ordem:** são os mapas que tratam diretamente das características físicas dos solos (resistência, declividade, etc.), e da avaliação dos processos geodinâmicos (erosões, inundações, etc.);
- c. **Mapas de 3ª Ordem:** determinam as áreas adequadas para um propósito específico de uso do solo, suscetibilidade ou risco;

**d. Mapas de 4ª Ordem:** uso do solo para o planejamento, mapas traduzidos para serem aplicados por gestores do uso do solo e do planejamento municipal.

Com base nestes princípios gerais foram definidas seis etapas principais de trabalho, para o desenvolvimento da pesquisa:

- a. *Definição dos geofatores a serem aplicados na área de estudo;*
- b. *Estruturação da base de dados e elaboração dos Mapas de 1ª Ordem, MDT e Mapas de 2ª;*
- c. *Levantamentos de campo;*
- d. *Definição do modelo de ponderação dos geofatores, e elaboração dos Mapas de 3ª Ordem;*
- e. *Ensaio geotécnicos e complementação dos levantamentos de campo;*
- f. *Elaboração do Mapa de 4ª Ordem e das Diretrizes para o Planejamento.*

Os resultados obtidos nestas etapas de trabalho são apresentados no Capítulo 5 (Resultados).

#### **4.1. Materiais Utilizados**

A partir da definição da área de estudo e da finalidade do produto cartográfico, fez-se o levantamento dos dados já existentes em trabalhos anteriores, em órgãos públicos e empresas do setor geotécnico.

Para elaboração da base cartográfica e dos mapas temáticos fez-se uso de fotografias aéreas, mapas, programas computacionais e outras ferramentas. A seguir tais materiais são descritos.



#### 4.1.1. Mapas e Fotografias Aéreas

Nas Tabelas 4.1 e 4.2 estão descritos os materiais (mapas e fotografias aéreas) utilizados na elaboração da base cartográfica, e na identificação preliminar das unidades geológico-geotécnicas.

**Tabela 4.1:** Principais mapas pré-existentes utilizados na pesquisa.

Mapa	Identificação das Folhas	Escala	Executor	ANO	Projeção Cartográfica
Plano Cartográfico do Estado de São Paulo	JAÚ I-SF-22-Z-B-II-4-NE-A JAÚ II-SF-22-Z-B-II-4-NE-B JAÚ III-SF-22-Z-B-II-4-NE-C JAÚ IV-SF-22-Z-B-II-4-NE-D	1:10.000	IGC <sup>*</sup>	1980	UTM – Córrego Alegre
Mapa Geológico do Estado de São Paulo	Folha de Bauru	1:250.000	DAEE <sup>**</sup>	1984	UTM – Córrego Alegre
Levantamento Pedológico Semi-Detalhado do Estado de São Paulo	Quadricula Jaú SF.22-Z-B-II	1:100.000	IAC <sup>***</sup>	1982	UTM – Córrego Alegre

<sup>\*</sup>Instituto de Geografia e Cartografia

<sup>\*\*</sup>Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo

<sup>\*\*\*</sup>Instituto Agrônomo de Campinas

**Tabela 4.2:** Relação e características das fotografias aéreas utilizadas na pesquisa.

Ano	Tipo	Projeção Cartográfica	Escala	Fonte	Cedida por
1972	Pares Esterioscópios	UTM- Córrego Alegre	1:25.000	Terrafoto SA	CATI <sup>*</sup> -Jaú
2000	Mosaico Digital	UTM - SAD69	1:12.500	Base SA	SAEMJA <sup>**</sup>
2005	Mosaico Digital	UTM - SAD69	1:8.000	Engemap	PM <sup>***</sup> de Jaú

<sup>\*</sup>Coordenadoria de Assistência Técnica Integral

<sup>\*\*</sup>Serviço de Água e esgoto do Município de Jaú

<sup>\*\*\*</sup>Prefeitura Municipal

Para a confecção dos mapas de trabalho da pesquisa utilizaram-se os seguintes programas de SIG:

- a. *SPRING versão 4.3.1*: geo-referenciamento dos mapas base e vinculação de algumas tabelas;
- b. *ArcView GIS versão 3.2a*: confecção e sobreposição dos mapas, e análise visual das áreas;
- c. *Arcinfo versão 7.1*: produção do *grid (MDT)* e Mapa de Curvatura de Encostas;
- d. *AutoCADMAP-2002*: digitalização das folhas altimétricas e localização de pontos na malha urbana.

#### **4.1.2. Investigações Geotécnicas**

Foram adquiridos dados de investigações geotécnicas, em órgãos municipais e estaduais, empresas particulares e profissionais.

Foram utilizadas 134 sondagens à percussão com ensaio SPT (*Standart Penetration Test*) com profundidades variando entre 1 e 30 metros, que forneceram dados sobre: consistência ou compacidade dos solos (valores SPT), profundidade do nível d'água e topo rochoso (impenetrável ao SPT).

Também foram obtidos os perfis geológicos de 21 poços tubulares profundos (quatro deles com ensaio geofísico), perfurados para extração de água subterrânea.

Dados de 19 poços de inspeção de pequena profundidade executados na investigação de poços de gasolina, também foram coletados e verificados. Todos estes dados serão descritos no item 5.2.2.

## 5. RESULTADOS

Os resultados obtidos nesta pesquisa são descritos nos itens deste capítulo, sendo muitos deles ilustrados através de mapas. A classificação dos mapas foi feita de acordo com Mathewson e Font (1974) descrita anteriormente no Capítulo 4 (Método e Etapas da Pesquisa).

### 5.1. Definição dos Geofatores

A escolha dos geofatores depende das características específicas do meio físico, dos aspectos geotécnicos presentes na área de estudo e da finalidade do trabalho, neste caso, a elaboração de um instrumento para subsidiar o planejamento urbano e ambiental.

Considerando os trabalhos anteriores que se basearam na abordagem proposta por Matula (1976) e os condicionantes geotécnicos presentes na área, foram definidos geofatores específicos para cada grupo, como mostra a Tabela 5.1.

**Tabela 5.1:** Geofatores inicialmente propostos para área

<b>Tipo de Geofatores</b>		<b>Geofatores</b>
<b>A</b>	Processos de geodinâmica externa	Processos erosivos
		Colapsividade
		Áreas inundáveis
<b>B</b>	Características dos solos e das rochas	Profundidade do topo rochoso
		Materiais inconsolidados
	Relevo	Declividade
		Curvatura de encostas
	Hidrogeologia	Profundidade do nível d'água
		Densidade de drenagem
<b>C</b>	Áreas a serem preservadas	Áreas de proteção ambiental
		Reservas minerais
		Áreas de recarga de aquífero

## 5.2. Mapas de 1ª Ordem

Os mapas de 1ª Ordem serviram de base aos demais produtos cartográficos. Neste trabalho eles são formados pelos documentos topográficos, hidrográficos e geológicos, as fotografias aéreas e as informações geotécnicas, (disponíveis ou produzidas durante a pesquisa). A interpretação e análise dos mapas de 1ª Ordem fornecem as condições para a produção dos mapas das próximas etapas.

Assim, têm-se como Mapas de 1ª Ordem: Base Cartográfica (Topográfico, Hidrográfico, Microbacias e fotografias aéreas digitais), Mapa de Unidades Geológicas e Mapa de Documentação.

### 5.2.1. Base Cartográfica

A base cartográfica foi produzida a partir da digitalização das folhas topográficas na escala 1:10.000 (Tabela 4.1), abrangendo as curvas de nível, pontos cotados e a hidrografia na área estudada.

A digitalização foi executada manualmente no programa *CadMap*, foram sobrepostos os arquivos digitais finalizados, aos fotomosaicos, tanto de 2000 quanto de 2005, gerando duas bases de períodos distintos (Apêndice A.1, Mapa de Documentação, p. 156).

A área de estudo foi dividida em microbacias pertencentes à bacia do Rio Jaú. Esta divisão facilita a localização dos dados e também a sintetização dos resultados. A Tabela 5.2 apresenta as microbacias, seus cursos d'água principais, suas áreas e ordens respectivas, segundo o critério de Strahler apud Christofolletti (1980).

**Tabela 5.2:** Divisão das microbacias na área de estudo.

<b>N °</b>	<b>Curso d'água</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Ordem</b>
1	Córrego Bom Retiro	2,2	1 <sup>a</sup>
2	Córrego Santo Antônio	7,3	3 <sup>a</sup>
3	Córrego da Figueira	9,2	2 <sup>a</sup>
4	Córrego dos Pires	16,2	2 <sup>a</sup>
5	Córrego São José	4,8	1 <sup>a</sup>
6	Córrego Santa Cruz	2,5	2 <sup>a</sup>
7	Córrego Jataí	6,4	1 <sup>a</sup>
8	Rio Jaú	14,3	5 <sup>a</sup>
9	Córrego da Barra Mansa	7,3	*

\*Não possui drenagem perene na área de estudo.

### 5.2.2. Mapa de Documentação

Neste mapa são apresentados a base cartográfica e os pontos de interesse contendo as informações coletadas e produzidas na área de estudo, abrangendo: nascentes e afloramentos rochosos, poços profundos e de inspeção, pontos de observação de campo e de coleta de amostras, e ainda pontos de sondagem à percussão, descritos em maior detalhe nos itens a seguir.

#### 5.2.2.1. Nascentes e afloramentos

Numa primeira etapa de campo foram observados afloramentos rochosos expostos em taludes de corte. As coordenadas UTM destes locais foram levantadas utilizando GPS portátil (erro médio 10 m) e foram registradas as profundidades médias observadas para o topo rochoso, todos eles em basalto. A Tabela 5.3 apresenta a relação dos afloramentos rochosos de basalto (An), cadastrados na rea de estudo, suas coordenadas UTM (SAD69), os locais de ocorrência e suas profundidades médias. A Figura 5.1 ilustra um deles.

**Tabela 5.3:** Afloramentos rochosos de basalto (Pn) cadastrados em visitas de campo.

Afloramento	X	Y	Local	Profundidade (m)
A1	749707,8	7534939,3	Pedreira desativada	1,5
A2	749720,6	7534173,2	Pedreira desativada	2
A3	753424,8	7532381,3	Rodovia – SP225	3
A4	756159,9	7532149,9	RPPN - Morro	3
A5	755874,3	7532000,0	PRRN- Estrada	6
A6	749752,0	7533734,3	Pedreira desativada	2,5



**Figura 5.1:** Talude na rodovia SP-225, exemplo de afloramento rochoso de basalto (A3).

Também foram locados os pontos de nascentes que se encontram dentro da área de estudo. Além da coleta das coordenadas dos pontos com GPS, fez-se uma breve descrição de cada local (Tabela 5.4), a fim de se avaliar suas condições ambientais frente à legislação vigente (Lei N<sup>o</sup> 7.803, de 18 de julho de 1989). As Figuras 5.2, 5.3 e 5.4 (A, B e C) ilustram algumas das nascentes visitadas.

**Tabela 5.4:** Breve descrição das condições ambientais das nascentes na área de estudo.

No.	Córrego	Coordenada X	Coordenada Y	Elevação	Cercamento	Mata ciliar	Limpeza	Observações
N1	Bom Retiro	753380,7	7529952,8	545,0	não	não	não	Localizada dentro de propriedade particular, à jusante de um bairro residencial, totalmente desprotegida e cheia de entulhos.
N2	Figueira	750754,9	7529993,4	549,7	não	não	não	Localizada dentro de propriedade particular, à jusante de um bairro residencial, totalmente desprotegida e cheia de entulhos.
N3	Pires 1	755116,8	7535624,6	572,1	sim	sim, densa	sim	Preservada, com cercamento respeitando os 50 metros determinados por Lei (Figura 5.2).
N4	Pires 2	755055,8	7534933,9	562,1	sim	sim, densa	sim	Preservada, com cercamento respeitando os 50 metros determinados por Lei.
N5	Pires 3	754312,3	7536401,9	570,1	não	não	não	Localizada em área comercial ao lado da rodovia Jaú-Brotas, totalmente desprotegida.
N6	São José	750753,1	7536374,3	559,0	não	não	não	Localizada dentro de propriedade particular, com criação de bovinos com livre acesso à nascente (Figura 5.3).
N7	Santa Cruz	749175,6	7536709,0	551,6	sim	não	sim	Foi construída uma galeria em torno da nascente, com acesso como mostra as fotos da Figura 5.4 A e B.
N8	Jataí	749310,0	7532306,6	549,4	não	sim, pouco densa	não	Localizada dentro de propriedade particular, com criação de bovinos e aves que tem acesso à nascente.
Sistemas de Coordenadas UTM - Datum horizontal SAD69								



**Figura 5.2:** Exemplo de nascente preservada, devidamente cercada e com mata ciliar densa (N3).



**Figura 5.3:** Exemplo de nascente não preservada, ausência de mata ciliar e livre acesso do gado (N6).





**Figura 5.4: A e B)** Entrada da galeria construída sobre a nascente (N7), que conduz a água para o Córrego Santa Cruz. **C)** Sujeira e vazamento de galeria pluvial sobre a nascente do Córrego Bom Retiro (N1).

### 5.2.2.2. Observações de campo e de amostragem

Realizaram-se várias visitas ao campo para o reconhecimento da área, a checagem dos contatos geológicos (Tabela 5.5) e a escolha dos locais a serem amostrados (Tabela 5.6).

Ao final do desenvolvimento do mapa de 4ª Ordem verificou-se a validade das classes de restrições obtidas frente ao cenário real da área estudada. A Tabela 5.7 indica as coordenadas (x,y) e a elevação dos pontos de observação (no item 6 tais dados são abordados novamente).

As cotas altimétricas (elevação) de todos foram obtidas através do MDT, da mesma maneira mostrado item 5.2.2.2.

**Tabela 5.5:** Pontos levantados em visitas de campo (Cn).

Pontos (Cn)	X	Y	Elevação
C1	756318	7533995	631,3
C2	756331	7534018	632,4
C3	756300	7534243	629,9
C4	756341	7534468	640,0
C5	747516	7534510	518,0
C6	747516	7534510	518,0
C7	747516	7534510	518,0
C8	747516	7534510	518,0
C9	747516	7534510	518,0
C10	747516	7534510	518,0
C11	747516	7534510	518,0
C12	747516	7534510	518,0
C13	747516	7534510	518,0
C14	747516	7534510	518,0
C15	747516	7534510	518,0
C16	747516	7534510	518,0
C17	747516	7534510	518,0
C18	747516	7534510	518,0
C19	747516	7534510	518,0
C20	747516	7534510	518,0
C21	747516	7534510	518,0

**Tabela 5.6:** Pontos finais de campo (Fn), validação do mapa de 4ª Ordem.

<b>Campo Final (Fn)</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>Elevação</b>
F1	748730	7534198	500,4
F2	749285	7532471	545,1
F3	754820	7531881	519,4
F4	754017	7532099	521,6
F5	753527	7532664	577,8
F6	749501	7535254	534,9
F7	750257	7534487	502,7
F8	753874	7535631	550,9
F9	750732	7531139	551,9
F10	752948	7530497	566,9
F11	753515	7529721	568,9
F12	755765	7533407	591,0
F13	750093	7535136	504,9
F14	749273	7535076	526,3

### 5.2.2.3. Perfis de poços

Foram coletados dados de 21 poços profundos para exploração de água subterrânea e 19 poços de inspeção mais rasos utilizados na investigação de poços de gasolina que continham descrição geológica.

Os boletins dos perfis dos poços, muitas vezes, não dispunham da localização geográfica do furo, assim optou-se por ir a cada local, onde foram coletadas as coordenadas no sistema de projeção UTM-SAD69, adotado nos produtos cartográficos da na pesquisa. Utilizou-se um *Global Positioning System* (GPS) portátil. Adotou-se a precisão média de 10 metros para o registro das coordenadas.

As Tabelas 5.7 e 5.8 apresentam a relação dos poços de inspeção (Pn) e dos poços profundos, respectivamente, com suas coordenadas UTM, profundidades totais, cotas da boca, do nível d'água (NA), do topo rochoso e as litologias correspondentes. As cotas das bocas dos poços foram obtidas com base no MDT, elaborado a partir da base topográfica 1:10.000.

**Tabela 5.7:** Relação dos poços de inspeção utilizados na pesquisa.

Nº	X	Y	Prof.	COTA	NA	Basalto
P22	752540	7533775	8,5	555,5	seco	547,2
P23	752536	7533799	8,2	555,3	seco	547,1
P24	752535	7533795	5,0	555,5	seco	-
P25	752547	7533775	5,0	555,6	seco	-
P26	752547	7533802	2,0	555,3	seco	-
P27	752545	7533802	2,0	555,3	seco	-
P28	752539	7533791	2,0	555,6	seco	-
P29	752531	7533790	2,0	555,6	seco	-
P30	752256	7532740	5,4	497,5	497,5	492,5
P31	752248	7352757	5,4	497,0	492,7	492,6
P32	752240	7532743	6,6	497,3	492,5	492,2
P33	752237	7532754	5,7	496,8	492,6	491,8
P34	752229	7532752	6,0	496,8	492,5	491,7
P35	750753	7531843	15,2	575,0	seco	-
P36	750750	7531842	5,0	575,0	seco	-
P37	750747	7531842	5,0	575,0	seco	-
P38	750744	7531855	2,0	575,5	seco	-
P39	750750	7531860	2,0	575,6	seco	-
P40	750748	7531863	5,0	575,7	seco	-

Prof. = profundidade do furo do poço

NA = Nível d'água

**Tabela 5.8:** Relação dos poços profundos, utilizados na pesquisa.

Nº	X	Y	Prof.	COTA	NA	Basalto	Arenito
P1	749078	7531745	77,5	572,0	555,0	544,0	-
P2	752233	7533507	101,2	533,0	514,7	523,0	-
P3	749090	7533457	180,0	490,0	436,2	479,5	-
P4	752128	7536134	100,0	613,0	586,0	582,0	-
P5	752702	7533414	90,0	542,0	522,2	532,0	-
P6	751027	7532711	94,0	531,0	511,0	512,0	-
P7	753777	7537572	36,0	620,0	604,0	608,0	-
P8	751968	7532730	80,0	495,0	483,0	489,0	-
P9	750098	7531797	24,5	585,0	564,0	585,0	-
P10	752242	7534061	150,0	535,0	502,0	517,0	-
P11	751213	7531051	276,0	540,0	515,0	529,0	273,0
P12	750209	7533457	590,0	528,0	387,6	524,0	187,0
P13	752355	7532691	150,0	495,0	490,7	491,0	-
P14	750974	7534076	150,0	485,0	481,3	480,0	-
P15	752672	7532265	150,0	500,0	492,0	490,0	-
P16	749443	7530893	608,0	593,0	414,4	513,0	189,0
P17	756005	7532985	91,5	560,0	546,8	549,5	-
P18	752856	7534708	552,0	520,0	475,3	511,4	218,0
P19	751242	7531417	530,0	520,0	451,7	490,3	192,0
P20	750094	7434105	149,0	485,0	480,4	477,5	-
P21	753100	7535050	180,0	515,0	438,0	449,0	-

Prof. = profundidade do furo do poço

NA = Nível d'água

#### 5.2.2.4. Sondagens SPT

Os locais com sondagens à percussão foram locados na malha viária utilizando-se o programa *CADMap*, e posteriormente através da ferramenta *Surface Tools (Arcview 3.2a)* extraiu-se do MDT as cotas e as coordenadas das bocas dos furos, totalizando 134 sondagens. Através dos boletins de sondagens identificaram-se as profundidades do NA e do topo rochoso (basalto), quando atingido pela perfuração (Tabela 5.10).

Ainda para a formação de um banco de dados elaborou-se uma tabela, onde cada sondagem foi descrita metro a metro, com o valor de SPT, a identificação visual e tátil para as três primeiras camadas, descritas no boletim de sondagem. Na Tabela 5.9 é mostrado um exemplo da disposição destes dados.

**Tabela 5.9:** Exemplo da descrição dos dados de Sondagens SPT.

Nº	PROF.	X	Y	COTA	Cota Prof.	NSPT	CLASS.
S1	1,00	751339,73	7531949,01	548,41	547,41	6,53	2
S1	2,00	751339,73	7531949,01	548,41	546,41	4,67	2
S1	3,00	751339,73	7531949,01	548,41	545,41	8,00	2
S1	4,00	751339,73	7531949,01	548,41	544,41	7,00	-
S1	5,00	751339,73	7531949,01	548,41	543,41	6,53	-
S1	6,00	751339,73	7531949,01	548,41	542,41	8,68	-
S1	7,00	751339,73	7531949,01	548,41	541,41	9,62	-
S1	8,00	751339,73	7531949,01	548,41	540,41	10,56	-
S1	9,00	751339,73	7531949,01	548,41	539,41	12,18	-
S1	10,00	751339,73	7531949,01	548,41	538,41	18,00	-
S1	11,00	751339,73	7531949,01	548,41	537,41	47,00	-
S1	12,00	751339,73	7531949,01	548,41	536,41	55,00	-
Class. 2 = argila arenosa				unidade = metros			

**Tabela 5.10:** Breve descrição dos furos de sondagens à percussão obtidas na área estudada (continua).

Nº	X	Y	Cota	Prof.	Cota prof.	NA	Cota NA	Basalto
1	751340	7531949	548,41	12,00	536,41			11,6
2	751347	7531953	548,32	12,00	536,32			11,6
3	748570	7530599	554,49	25,45	529,04	9,76	544,73	
4	748587	7530621	555,67	25,45	530,22	9,42	546,25	
5	748599	7530574	555,27	25,45	529,82	10,27	545,00	
6	748616	7530612	556,67	30,30	526,37	9,91	546,76	
7	748635	7530639	558,11	25,45	532,66	10,85	547,26	
8	748648	7530612	558,06	25,45	532,61	10,50	547,56	
9	752995	7535636	566,48	20,11	546,37			
10	752981	7535621	566,42	20,11	546,31			
11	752967	7535607	566,52	14,45	552,07			
12	752953	7535621	567,74	14,45	553,29			
13	752967	7535635	567,68	14,45	553,23			
14	752981	7535650	567,61	14,45	553,16			
15	752946	7535656	569,30	14,45	554,85			
16	750609	7530984	566,08	9,10	556,98			9,1
17	750603	7530956	566,56	7,45	559,11			7,45
18	750625	7530959	564,24	10,40	553,84			10,4
19	750619	7530931	564,75	8,40	556,35			8,4
20	750623	7530904	564,09	7,25	556,84			7,25
21	752686	7528492	625,33	14,45	610,88			
22	752668	7528493	625,70	15,45	610,25			
23	752649	7528493	626,07	15,45	610,62			
24	752677	7528508	625,21	15,45	609,76			
25	752659	7528509	625,64	15,45	610,19			
26	752687	7528524	624,75	20,70	604,05			20,7
27	752669	7528525	625,18	15,45	609,73			
28	752650	7528525	625,59	15,45	610,14			
29	752186	7536654	627,17	18,35	608,82			18,35
30	752193	7536650	627,07	17,45	609,62			
31	752191	7536662	627,25	17,45	609,80			
32	749990	7530999	600,00	16,35	583,65			16,35
33	749989	7531000	600,00	15,45	584,55			
34	749992	7530999	600,00	15,45	584,55			
35	749989	7530996	600,00	15,37	584,63			15,37
36	752773	7532345	505,81	3,06	502,75			
37	752772	7532356	507,35	2,08	505,27			
38	752821	7532342	505,97	3,14	502,83			
39	751508	7532968	507,07	11,19	495,88			
40	751501	7532946	507,97	12,09	495,88			
41	751481	7532948	508,71	12,10	496,61			
42	753091	7531973	502,41	11,07	491,34	2,07	500,34	
43	753112	7531972	503,16	10,09	493,07	2,80	500,36	
44	753102	7531968	502,55	10,06	492,49	2,46	500,09	
45	753092	7531962	501,94	10,08	491,86	3,15	498,79	
46	753103	7531957	502,11	9,10	493,01	3,00	499,11	
47	752897	7532223	502,06	8,60	493,46	5,10	496,96	8,6
48	752889	7532226	501,92	7,80	494,12	5,10	496,82	7,8

**Tabela 5.10:** Breve descrição dos furos de sondagens à percussão obtidas na área estudada (continua).

Nº	X	Y	Cota	Prof.	Cota prof.	NA	Cota NA	Basalto
49	752847	7532251	501,33	7,10	494,23	5,08	496,25	7,1
50	752936	7532215	503,31	7,60	495,71	5,12	498,19	7,6
51	752212	7536011	606,66	27,42	579,24			
52	752209	7535988	605,83	28,38	577,45			
53	752062	7531677	530,54	9,25	521,29			
54	750669	7531817	571,31	12,45	558,86			
55	752658	7532860	517,25	1,35	515,90			1,35
56	752667	7532878	517,94	2,37	515,57			2,37
57	752653	7532876	517,51	1,25	516,26			1,25
58	752652	7532877	517,50	1,05	516,45			1,05
59	752638	7532881	517,27	0,60	516,67			0,60
60	752652	7532894	517,92	0,77	517,15			0,77
61	752651	753283	517,85	1,15	516,70			1,15
62	752638	7532892	517,54	2,70	514,84			2,70
63	752627	7532901	517,60	2,05	515,55			2,05
64	752619	7532912	517,63	6,05	511,58			6,05
65	751003	7534683	520,48	2,85	517,63			2,85
66	751004	7534684	520,09	2,86	517,23			2,86
67	751002	7534681	520,01	4,84	515,17			4,84
68	751016	7534674	519,98	6,45	513,53			6,45
69	751031	7534664	519,97	2,73	517,24			2,73
70	751032	7534666	519,71	2,90	516,81			2,90
71	751030	7534663	519,96	2,48	517,48			2,48
72	751030	7534665	519,92	3,09	516,83			3,09
73	751033	7534663	519,93	3,21	516,72			3,21
74	750997	7534673	519,86	9,11	510,75			
75	749658	7532815	545,39	22,41	522,98	19,50	525,89	
76	749654	7532860	542,95	19,45	523,50	18,44	524,51	
77	749674	7532862	543,60	22,14	521,46	20,50	523,10	
78	749696	7532865	544,25	21,24	523,01			
79	749706	7532833	545,94	17,13	528,81			
80	749146	7531683	575,74	22,45	553,29			
81	749145	7531695	575,54	24,45	551,09			
82	749147	7531668	576,15	26,45	549,70			
83	749167	7531697	575,46	27,30	548,16			
84	749168	7531670	576,15	26,45	549,70			
85	748291	7531661	578,73	18,07	560,66			
86	748300	7531635	578,34	17,29	561,05			
87	748309	7531610	578,01	16,45	561,56			
88	756291	7535693	633,87	29,07	604,80	17,29	616,58	
89	756289	7535673	633,86	30,23	603,63	17,10	616,76	
90	756250	7535700	632,21	28,40	603,81	17,09	615,12	
91	756250	7535723	632,04	28,41	603,63	17,10	614,94	
92	754157	7536167	579,99	19,30	560,69	0,10	579,89	
93	751183	7534238	490,17	4,50	485,67			4,25
94	751198	7534259	490,00	4,60	485,40			4,35
95	751341	7534305	490,34	4,40	485,94	3,30	487,04	

**Tabela 5.10:** Breve descrição dos furos de sondagens à percussão obtidas na área estudada (concluí).

Nº	X	Y	Cota	Prof.	Cota prof.	NA	Cota NA	Basalto
96	751622	7534268	495,86	4,60	491,26			
97	751839	7534319	500,87	4,50	496,37			
98	752026	7534388	507,00	4,40	502,60			
99	751117	7534161	489,38	3,50	485,88	2,70	486,68	3,5
100	751440	7534325	493,82	4,50	489,32	3,80	490,02	
101	752449	7532498	498,29	4,40	493,89			
102	752540	7532333	500,00	6,50	493,50	5,50	494,50	
103	752742	7532280	500,00	5,50	494,50			
104	752910	7532134	500,95	5,50	495,45			
105	753038	7531980	501,46	3,40	498,06			
106	753196	7531866	501,47	3,60	497,87			
107	753396	7531855	502,93	3,50	499,43			
108	751730	7532946	490,00	3,30	486,70			
109	751811	7532874	490,01	4,40	485,61			
110	751977	7532907	495,96	3,50	492,46			
111	752191	7532871	500,35	3,30	497,05			3,3
112	752323	7532956	508,44	2,40	506,04			
113	750997	7534041	485,36	3,60	481,76	3,30	482,06	
114	750948	7533941	485,45	4,50	480,95	3,90	481,55	
115	750966	7533777	486,51	4,50	482,01	2,60	483,91	4,5
116	751152	7533617	488,96	5,00	483,96	3,80	485,16	
117	752411	7532436	499,07	6,40	492,67	3,10	495,97	
118	752506	7532260	500,00	5,50	494,50	3,70	496,30	5,5
119	752662	7532177	500,00	5,00	495,00	1,90	498,10	
120	752768	7532008	500,66	5,50	495,16	4,40	496,26	
121	752890	7531850	500,18	5,60	494,58			
122	753058	7531741	500,82	4,50	496,32			
123	753245	7531706	500,50	4,40	496,10			
124	752169	7532526	497,31	2,40	494,91			2,4
125	752068	7532461	499,58	4,60	494,98			4,6
126	751906	7532191	507,65	6,70	500,95			
127	751919	7532136	509,69	8,70	500,99			8,7
128	751710	7531779	515,00	5,40	509,60			5,4
129	751641	7531731	515,32	4,50	510,82			4,5
130	751462	7531592	519,82	4,60	515,22			4,6
131	751382	7531532	520,11	4,50	515,61			
132	751186	7531317	526,18	4,60	521,58			6,1
133	752620	7532921	517,76	6,10	511,66			6,1
134	752608	7532922	517,50	6,05	511,45			6,05

Prof. = profundidade do furo  
NA = Nível d'água.



### **5.2.3. Mapa de Unidades Geológicas**

As Unidades Geológicas foram digitalizadas (*Arcview 3.2a*) a partir do Mapa Geológico do Estado de São Paulo escala 1:250.000 (Tabela 4.1).

Foi realizada uma checagem não sistemática nos trabalhos de campo, visando melhor adequação dos contatos entre as principais formações geológicas presentes na área de estudo, compensando em parte a grande diferença entre as escalas do mapa geológico (1:250.000) utilizado como base e as adotadas na pesquisa (1:10.000).

Salienta-se também, que este mapa foi considerado um produto cartográfico intermediário, utilizado principalmente para produção do Mapa de Materiais Inconsolidados, apresentado no item 5.3.7.

Ocorrem duas formações principais na área de estudo, a Serra Geral e a Itaqueri (DAEE,1982).

A Formação Serra Geral (Grupo São Bento) de idade cretácea-jurássica é caracterizada pelos derrames de lavas eruptivas superpostas que abrangem áreas enormes com camadas espessas, tendo coloração de cinza a negra e uma textura afanítica (minerais não visíveis a olho nu). É composta essencialmente por basaltos que apresentam espessura individual bastante variável, desde poucos metros a mais de 50 m e extensão individual que pode ultrapassar a dez quilômetros. Neles, intercalam-se arenitos com as mesmas características dos arenitos da Formação Botucatu, a maioria com estruturas típicas de dunas e outros indicando deposição subaquosa. Também estão presentes rochas intrusivas básicas de idade correlata aos basaltos, compostas por diques e sills de diabásio (PONÇANO et al. 1981).

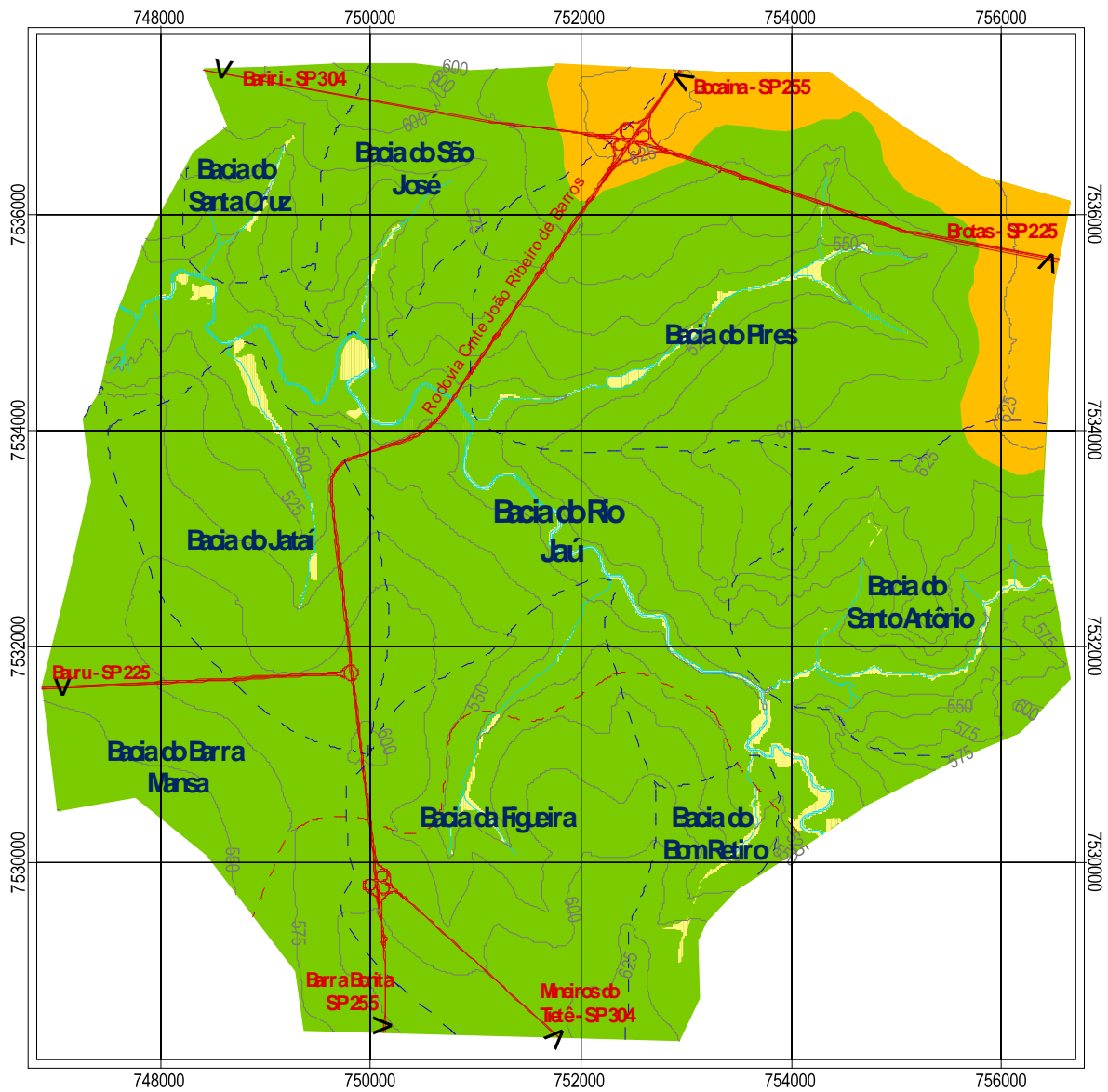
A Formação Itaqueri de idade cretácea-terciária constitui-se de um pacote de até 120 metros de espessura, de camadas alternadas de arenitos com cimento argiloso, folhetos e conglomerados, estes situados tanto na base quanto no interior do pacote. Os arenitos são de granulação variada, podem ser argilosos e apresentar intensa silicificação. Os clastos dos conglomerados são de composição variada, provenientes de fora da bacia de deposição. Estes sedimentos foram acumulados em ambiente de elevada energia, sujeitos à mudanças bruscas de velocidade das águas, possivelmente em depósitos de leques aluviais em clima de acentuada aridez (IPT, 1993).

Recobrando estas duas unidades geológicas, ocorrem as coberturas cenozóicas compostas basicamente de depósitos aluvionares associados às maiores drenagens presentes na área de estudo.

A Tabela 5.11 apresenta a distribuição em área de cada unidade geológica na região analisada. A Figura 5.5 ilustra a ocorrência destas unidades.

**Tabela 5.11:** Distribuição em área das unidades geológicas.

<b>Unidade Geológica</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>% da área total</b>
Aluvião	1.1	2
Formação Itaqueri	4.8	7
Formação Serra Geral	64,4	91
Área total	70,3 km <sup>2</sup>	







 <p>PROJEÇÃO CARTOGRÁFICA - UTM Datum horizontal: SAD69 Datum vertical: Imbituba FUSO 22</p>	<b>CONVENÇÕES</b>	<b>LEGENDA</b>
	<p>Curvas de nível (5m)</p> <p>—525— Cheia</p> <p>— — — Hidrografia</p> <p>- - - - - Microbacias</p> <p>- - - - - Ferrovia</p> <p>— — — Rodovia</p>	<p>Unidades geológicas</p> <p> Aluvião</p> <p> Formação Itaqueri (Arenito)</p> <p> Formação Serra Geral (basalto)</p>

Figura 5.5: Mapa de unidades geológicas.

### 5.3. Modelo Digital de Terreno - MDT

O MDT é uma representação numérica do relevo da área de estudo, além da visualização 3D, permite a produção de outros mapas como de declividade e de curvatura de encostas, classificados como mapas de 2ª Ordem neste trabalho (Item 5.5).

O MDT foi elaborado a partir da base topográfica 1:10.000, utilizando-se o modulo *topogrid* do *Arcinfo 7.1*, que considera as curvas de nível, os pontos cotados, as linhas drenagem e o seu sentido de fluxo. Adotou-se um *grid* de 5m para elaboração do MDT. Posteriormente este grid foi convertido para o formato TIN (*Trinagular Irregular Network*) dentro do *Arcview 3.2a*, que permite sua visualização 3D e a produção do mapa de declividade.

A Figura 5.6 ilustra a visualização 3D do MDT no formato TIN com a sobreposição do fotomosaico do ano de 2000.



**Figura 5.6:** Visualização 3D da área de estudo. Parâmetros: exagero vertical = 6; visada Sul-Norte; sobreposição fotomosaico do ano de 2000, drenagens e microbacias.

## 5.4. Mapas de 2ª Ordem

Os Mapas de 2ª Ordem são analíticos, descrevem, classificam e agrupam as características geodinâmicas, geotécnicas, geomorfológicas, hidrogeológicas, e ambientais, sendo representados neste trabalho pelos geofatores A, B e C. Todas as análises e os produtos cartográficos associados a elaboração destes mapas foram realizados utilizando o SIG *Arcview 3.2a*.

Dos geofatores inicialmente propostos para análise (Tabela 5.1, p.75), quatro deles não foram diretamente estudados na definição final das restrições geotécnicas e ambientais da área de estudo, são eles:

- a. **Geofatores A** - *Colapsividade*: a revisão bibliográfica e as consultas aos profissionais de geotecnia que atuam na área estudada não apontaram este processo como significativo, optando-se pela não abordagem do tema, que demandaria estudos e investigações específicas, distanciando-se do escopo principal da pesquisa.
- b. **Geofatores B** - *Profundidade do nível d'água*: as cotas do NA do aquífero livre (superficial) obtidas a partir dos furos de sondagem a percussão ocorrem concentradas em alguns locais e referem-se a períodos pluviométricos distintos (estações seca e chuvosa), dificultando a elaboração de generalizações para toda área de estudo.
- c. **Geofatores C** - *Reservas minerais*: a consulta ao Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM) não indicou a existência de reservas minerais legais na área de estudo, foram identificadas duas pedreiras desativadas.
- d. **Geofatores C** - *Áreas de recarga de aquífero*: o principal aquífero na área de estudo associado a Formação Botucatu, encontra-se relativamente protegido

pelo basaltos da Formação Serra Geral. Ocorrem áreas de recarga no aquífero da Formação Serra Geral que é condicionado por estruturas geológicas, sendo mais restrito e menos importante sob o ponto de vista de reservas de água subterrânea.

A Tabela 5.12 apresenta os mapas de 2ª Ordem produzidos para caracterizar os geofatores A, B e C, considerados nas análises finais de restrições geotécnicas e ambientais da área de estudo.

**Tabela 5.12:** Grupos de geofatores representados nos mapas de 2ª Ordem.

<b>Grupos</b>		<b>Geofatores – Mapas de 2ª Ordem</b>
<b>A</b>	Processos de Geodinâmica Externa	Densidade de sulcos e ravinas
		Densidade de escorregamentos
		Densidade de inundações
<b>B</b>	Características dos solos e das rochas	Materiais inconsolidados
		Profundidade do topo rochoso
	Relevo	Declividade
		Densidade de encostas côncavas
Hidrogeologia	Densidade de drenagem	
<b>C</b>	Áreas a serem preservadas	Áreas de proteção ambiental

Para elaboração dos mapas de densidade, estabeleceu-se uma malha regular com espaçamento de 1km (*grid*), cobrindo a área estudada (Figura 5.7). O tamanho de cada célula (1 km<sup>2</sup>) foi determinado através da relação entre a área de estudo e os pontos de amostragem (3,3 pontos/ km<sup>2</sup>), compatível com a escala de trabalho 1:10.000, segundo Zuquette (1987).

As densidades foram calculadas considerando-se a razão entre o comprimento linear, a área e o número de ocorrências de um determinado geofator e a área de cada célula desta malha (1 km<sup>2</sup>).

Os valores de densidade obtidos foram associados aos centros destas células, gerando uma malha de pontos com espaçamento de 1 km (Figura 5.7). Por fim estes pontos foram interpolados, utilizando o método do inverso do quadrado da

distância, gerando o mapa final de densidade do geofator analisado (arquivo *raster* com *grid* de 5m).

	2 #	3 #	4 #	5 #	6 #	7 #	8 #		
	12 #	13 #	14 #	15 #	16 #	17 #	18 #	19 #	20 #
21 #	22 #	23 #	24 #	25 #	26 #	27 #	28 #	29 #	30 #
31 #	32 #	33 #	34 #	35 #	36 #	37 #	38 #	39 #	40 #
41 #	42 #	43 #	44 #	45 #	46 #	47 #	48 #	49 #	50 #
51 #	52 #	53 #	54 #	55 #	56 #	57 #	58 #	59 #	60 #
61 #	62 #	63 #	64 #	65 #	66 #	67 #	68 #	69 #	70 #
71 #	72 #	73 #	74 #	75 #	76 #	77 #	78 #	79 #	80 #
	82 #	83 #	84 #	85 #	86 #	87 #	88 #		
		93 #	94 #	95 #	96 #	97 #			

**Figura 5.7:** *Grid* utilizado na elaboração dos mapas de densidade.

Os valores de densidade após a interpolação foram classificados através da função *natural breaks*, (quebras naturais). Este método de classificação identifica os pontos de quebra entre as classes de uma população de dados, usando uma fórmula estatística baseada na variabilidade (otimização de Jenk). É um método bastante complexo, porém, basicamente ele minimiza a soma da variância dentro de cada uma das classes, encontrando assim, os agrupamentos e os padrões inerentes à população de dados analisada.

A classificação da informação é feita em quantas classes o usuário desejar, no caso optou-se por 4 classes, seguindo o conceito de restrições à ocupação como baixa, média, alta e muito alta, da menor para a maior densidade, obtida em cada



classe do geofator. Ele é um dos métodos de classificação de dados disponível no *Arcview 3.2a*.

#### 5.4.1. Mapa de Densidade de Sulcos e Ravinas

Este mapa foi desenvolvido através da análise visual das ocorrências de sulcos e ravinas. Esta avaliação iniciou-se pela identificação de cada processo nos fotomosaicos de 2000 (*zoom* máximo=1:1.500) e 2005 (*zoom* máximo=1:500), sendo delimitadas e representadas por linhas. Ainda pode-se avaliar a evolução destes processos no período de tempo em questão.

O mapa de densidade de sulcos e ravinas ( $m/km^2$ ) foi elaborado segundo os procedimentos descritos no item 5.4 (p. 93) e utilizando como referência a situação destes processos identificados no fotomosaico de 2005. As densidades obtidas foram agrupadas em quatro classes (função *natural breaks*) e associadas aos níveis de restrição geotécnica baixa, média, alta e muito alta (valores de densidade crescentes). A Tabela 5.13 sintetiza a distribuição em área das classes de restrição obtidas nos mapas de densidade de sulcos e ravinas (Figura 5.8).

**Tabela 5.13:** Distribuição em área das classes de densidade para sulcos e ravinas.

Restrição	Densidade Sulcos e Ravinas ( $m/km^2$ )	Áreas $km^2$	% da Área total
Baixa	0-83	55,3	79
Média	83-283	12,3	17
Alta	283-539	1,4	2
Muito Alta	539-2892	1,3	2
<b>Área Total</b>		<b>70,3 <math>Km^2</math></b>	

A Figura 5.9 apresenta um exemplo de delimitação de uma ravina, no ano de 2000 e a sua situação no ano de 2005, indicando uma evolução do processo.

A Figura 5.10 mostra uma fotografia do local, obtida em uma das visitas de campo no ano 2006.

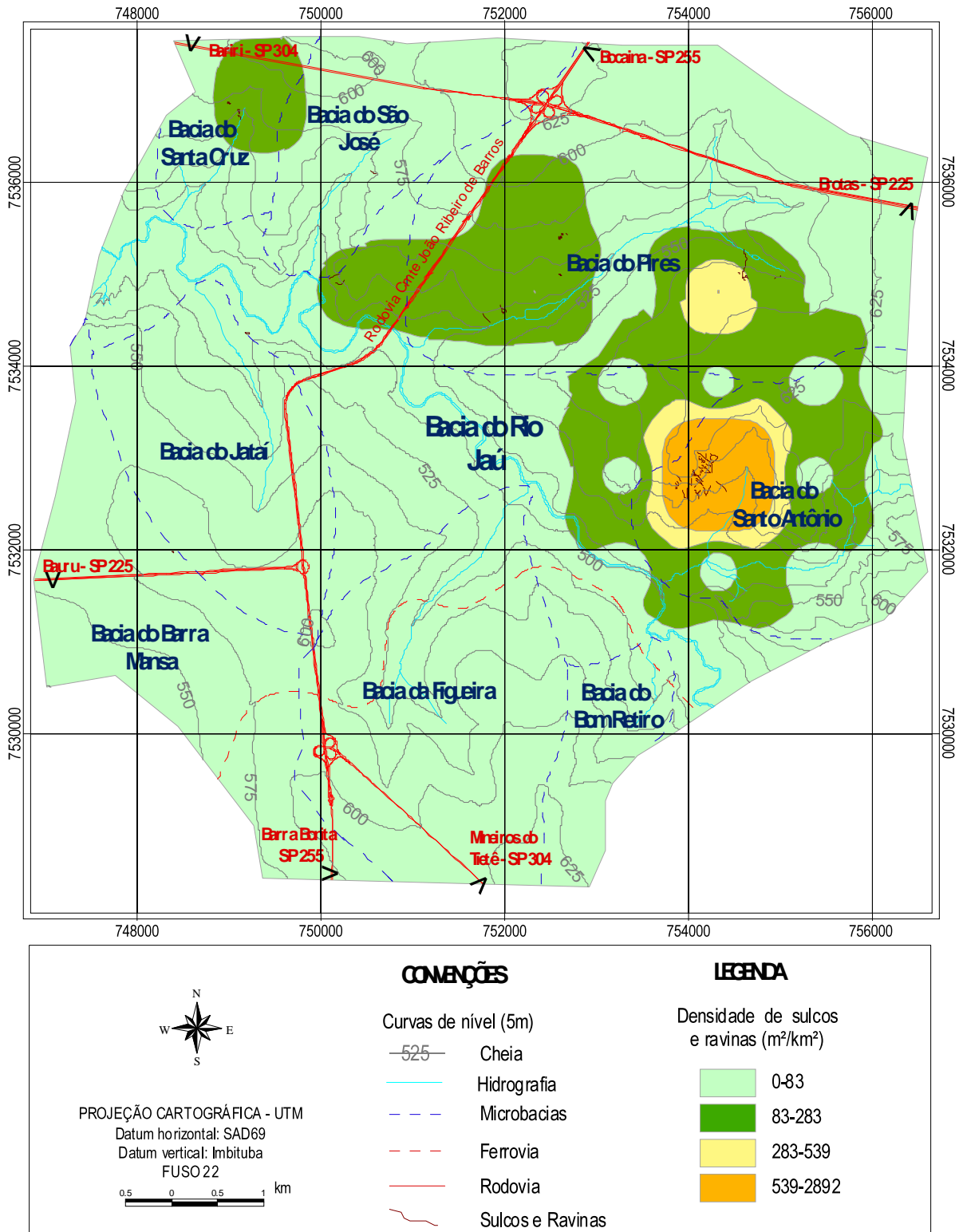
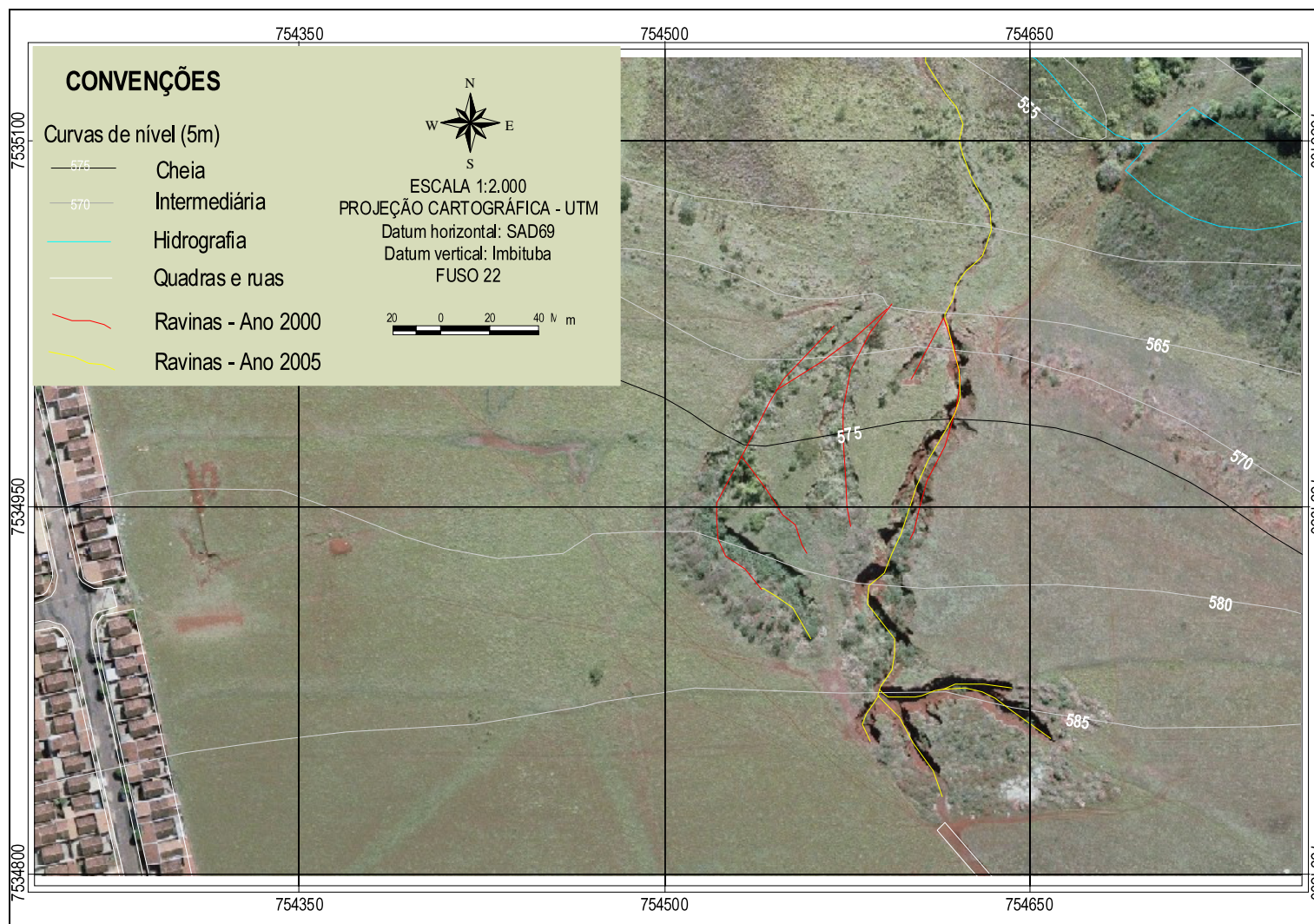


Figura 5.8: Mapa de densidade de sulcos e ravinas.



**Figura 5.9:** Exemplo de comparação de processos erosivos - Ravina na Microbacia do Pires – Fotomosaico ano 2005



**Figura 5.10:** Detalhe da ravina situada na bacia do Córrego Pires mesma da Figura 5.9.

#### **5.4.2. Mapa de Densidade de Escorregamentos**

Este mapa foi elaborado através da análise visual das ocorrências dos processos de escorregamentos nos fotomosaicos de 2000 e 2005, sendo delimitados e representados por polígonos. Avaliou-se a evolução destes processos no período de tempo em questão, como feito para os processos de sulcos e ravinas.

O mapa de densidade de escorregamentos ( $m^2/km^2$ ) seguiu os procedimentos descritos no item 5.5 e também utilizou como referência a situação destes processos identificados no fotomosaico de 2005. As densidades foram agrupadas e classificadas como no item anterior (5.4.1 – Mapa de densidade de sulcos e ravinas). O mapa de densidade de escorregamentos é mostrado na Figura 5.11. A Tabela 5.14 mostra a distribuição em área das classes de restrição obtidas

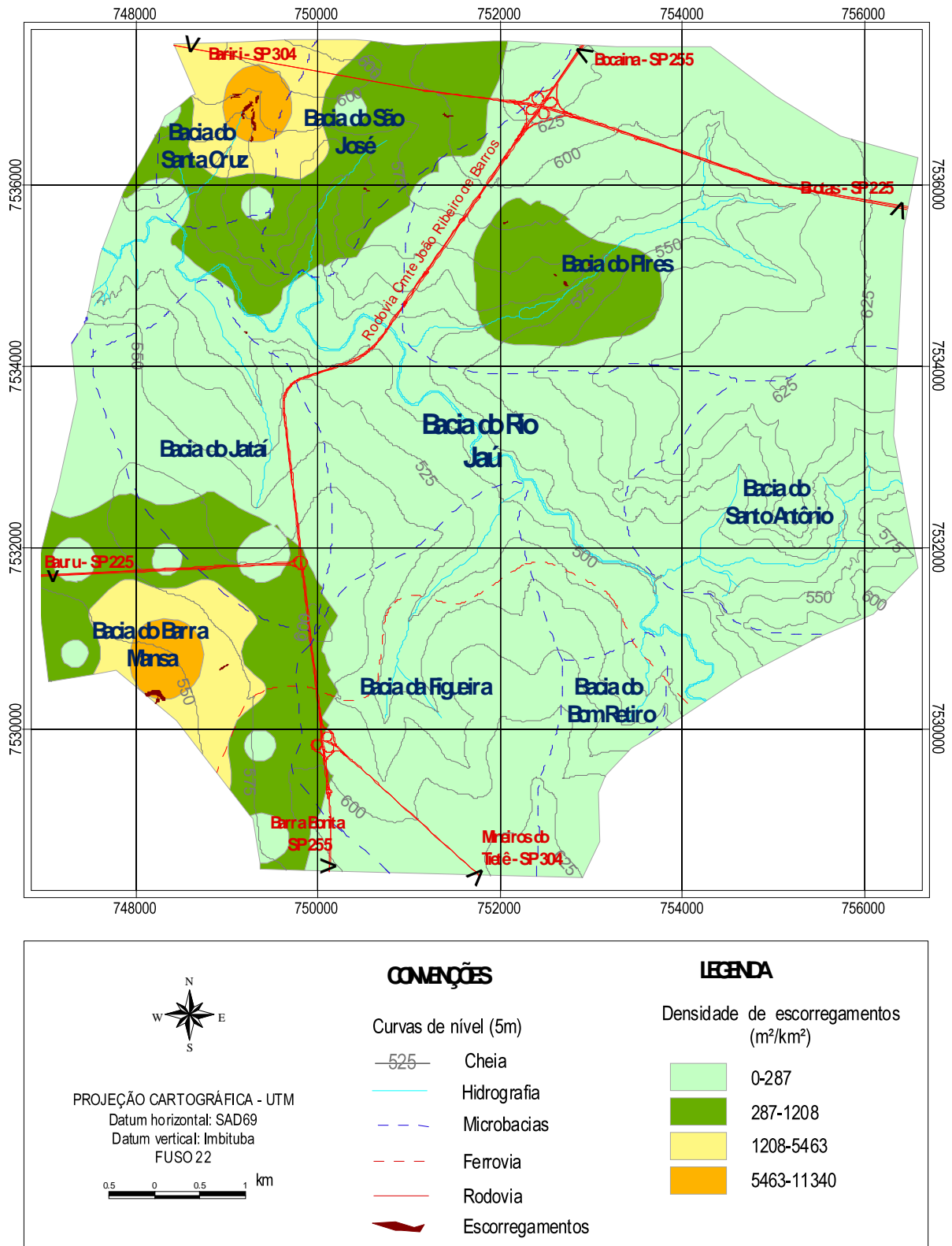
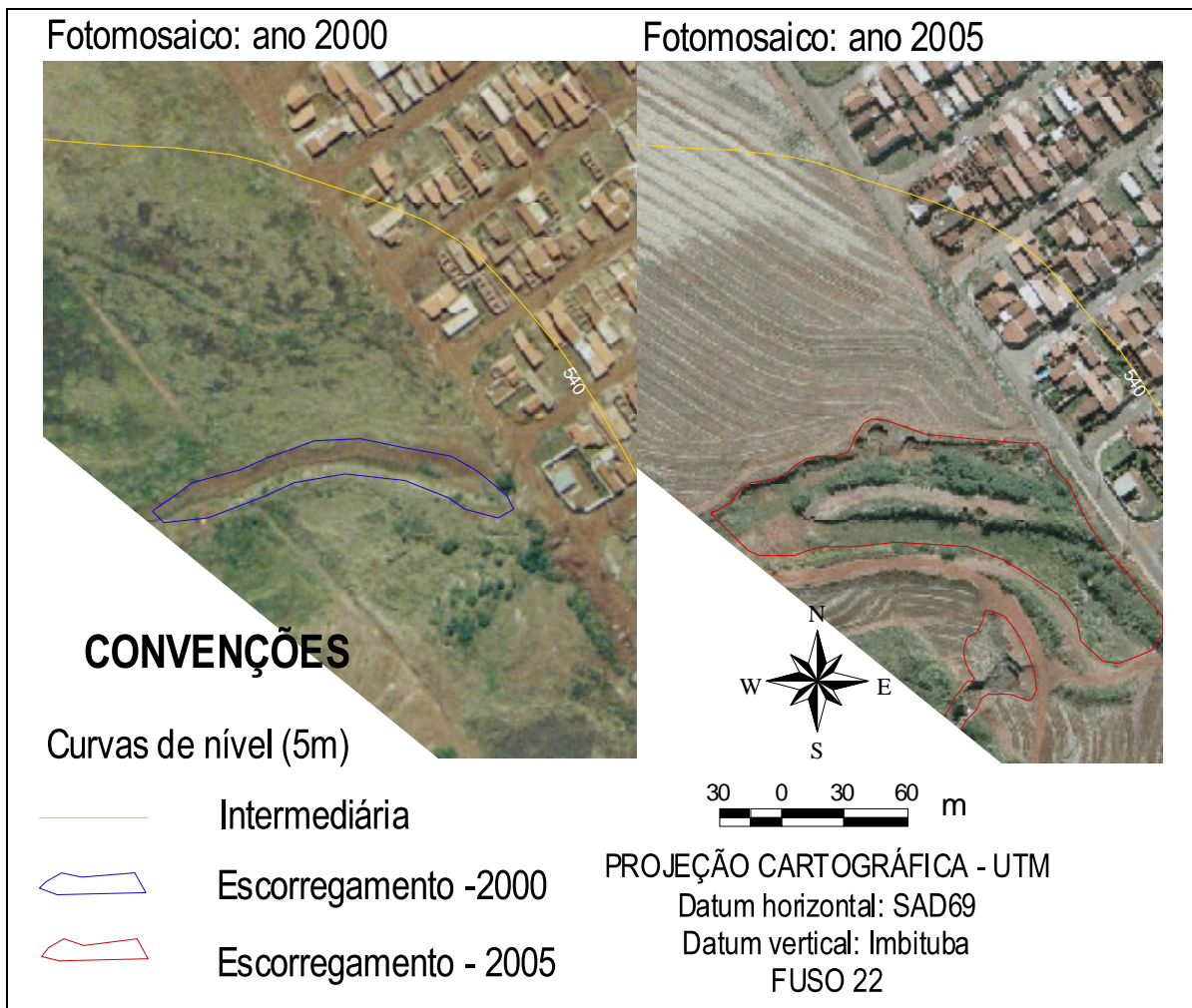


Figura 5.11: Mapa de Densidade de Escorregamentos.

**Tabela 5.14:** Distribuição em área das classes de densidade para escorregamentos.

Restrição	Densidade de Escorregamentos (m <sup>2</sup> /km <sup>2</sup> )	Áreas Km <sup>2</sup>	% da Área total
Baixa	0-287	52,8	75
Média	287-1208	12,7	18
Alta	1208-5463	3,7	5
Muito Alta	5463-11340	1,1	2
<b>Área Total</b>		<b>70,3 Km<sup>2</sup></b>	

Na Figura 5.12 são comparados os fотомosaicos de 2000 e 2005, ressaltando o aparecimento de um processo de um escorregamento no ano de 2005 (Figura 5.13) paralelamente houve o crescimento urbano no Jardim Padre Augusto Sani.

**Figura 5.12:** Exemplo de delimitação de escorregamento (Jardim Padre Augusto Sani) e comparação entre os fотомosaicos dos anos de 2000 e 2005.



**Figura 5.13:** Fotografia de escorregamento no Jardim Padre Augusto Sani, microbacia do córrego Barra Mansa (Cedida pela Defesa Civil de Jaú).

#### **5.4.3. Mapa de Densidade de Inundações**

Os locais sujeitos à inundações e alagamentos constantes na área de estudo foram obtidos junto à Defesa Civil do município de Jaú. Foram identificados 38 locais que foram cartografados na base topográfica, sendo representados por pontos.

O mapa de densidade de inundação ( $n^{\circ}$  de ocorrências/km<sup>2</sup>) foi produzido conforme procedimento descrito no item 5.5. A Tabela 5.15 apresenta a distribuição em área das densidades de inundação e a Figura 5. 14 ilustra o mapa de densidade de inundação obtido.

A Figura 5.15 mostra uma fotografia de um alagamento no bairro jardim América, durante chuva em janeiro de 2007.

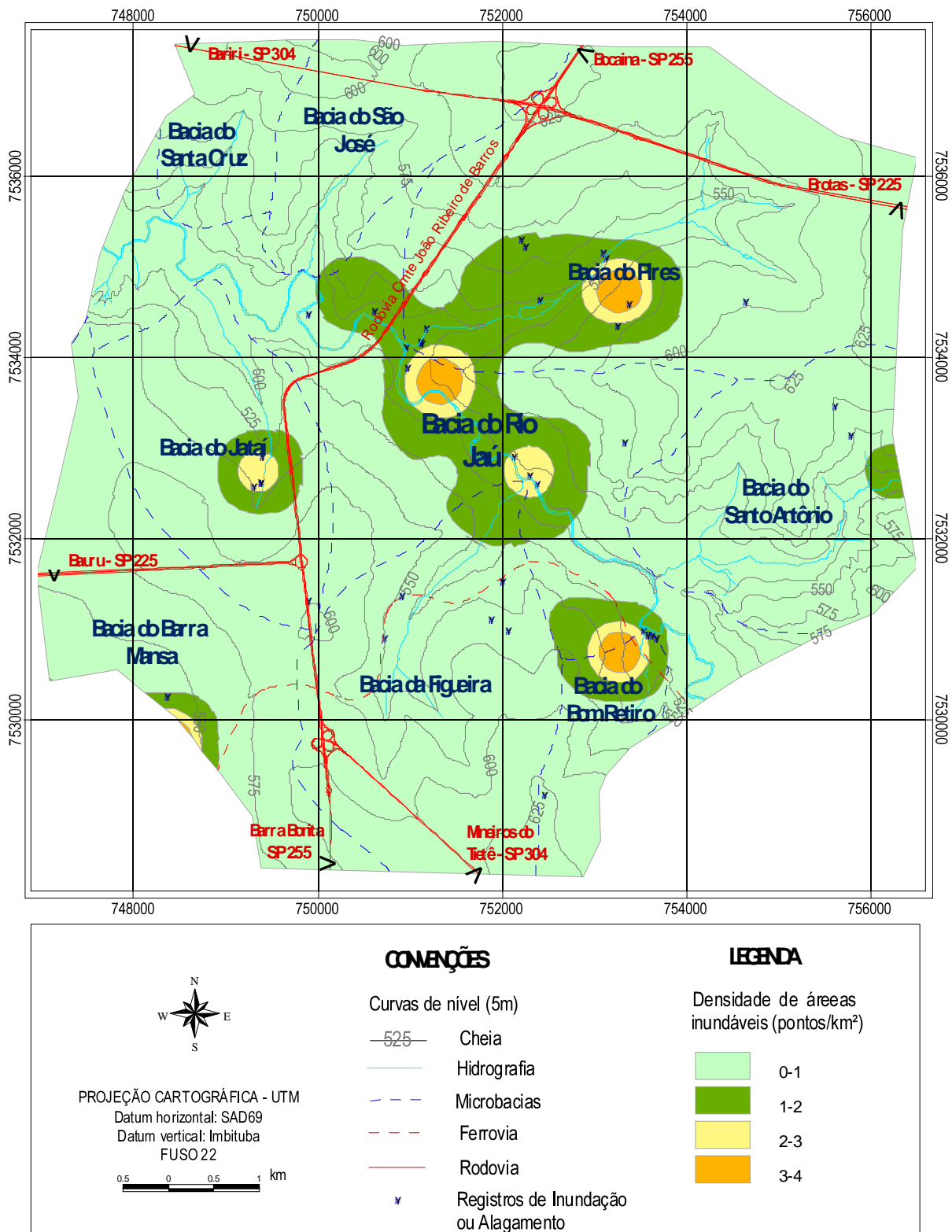


Figura 5.14: Mapa de densidade de inundações.



**Tabela 5.15:** Distribuição em área da densidade de inundações.

Restrição	Densidade de Inundações (ocorrências/km <sup>2</sup> )	Áreas km <sup>2</sup>	% da Área total
Baixa	1	60,8	86
Média	2	7,7	11
Alta	3	1,2	2
Muito Alta	4	0,5	1
<b>Área Total</b>		<b>70,3 Km<sup>2</sup></b>	

**Figura 5.15:** Alagamento no Bairro Itamarati, microbacia do Córrego dos Pires (Cedida pela Defesa Civil de Jaú).

#### 5.4.4. *Mapa de Materiais Inconsolidados*

A definição das principais unidades de materiais inconsolidados presentes na área estudada baseou-se na classificação de perfis de alteração proposta por Vaz (1996) que utiliza critérios genéticos (solos residuais e transportados) e parâmetros da mecânica dos solos e rochas (textura, índices físicos, grau de alteração, fraturamento, resistência, etc.).

Numa primeira etapa, os mapas de unidades geológicas (Figura 5.5, p. 91) e o de declividade, reclassificada para os intervalos de 0-25% e maior que 25%, foram sobrepostos, resultando na identificação de quatro grandes unidades de materiais inconsolidados: depósitos aluvionares (DA), solo residual de arenito, da Formação Itaqueri (RI) e solo residual dos basaltos e intrusivas básicas associados da Formação Serra Geral, subdividido nos tipos 1 e 2 (R1SG e R2SG) em função da declividade ( $\geq 25\%$  e  $< 25\%$ , respectivamente), que reflete diretamente no grau de evolução pedológico e nas características gerais do perfil de alteração (estrutura, textura, resistência, etc.).

Na seqüência dos trabalhos de caracterização e mapeamento dos materiais inconsolidados, foram realizados levantamentos de campo, com a descrição de perfis de alteração expostos nos taludes de corte (Figura 5.1, p. 78); análise das investigações geotécnicas adicionadas à base de dados do projeto (sondagens a percussão, poços rasos e profundos, amostragem dos solos e execução de ensaios de caracterização geotécnica em laboratório).

Na Tabela 5.16 é mostrada a distribuição em área destas unidades e a Figura 5.16 ilustra o mapa obtido. Já a Tabela 5.17 apresenta uma síntese das características geológico-geotécnicas das unidades de materiais inconsolidados mapeados na área de estudo.

**Tabela 5.16:** Materiais Inconsolidados por área.

<b>Solos</b>	<b>Restrição</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>% da área total</b>
<b>DA</b>	Muito alta	1.1	2
<b>RI</b>	Alta	4.8	7
<b>R1SG</b>	Média	6.6	9
<b>R2SG</b>	Baixa	57.8	82
<b>Total</b>		70.3 km <sup>2</sup>	

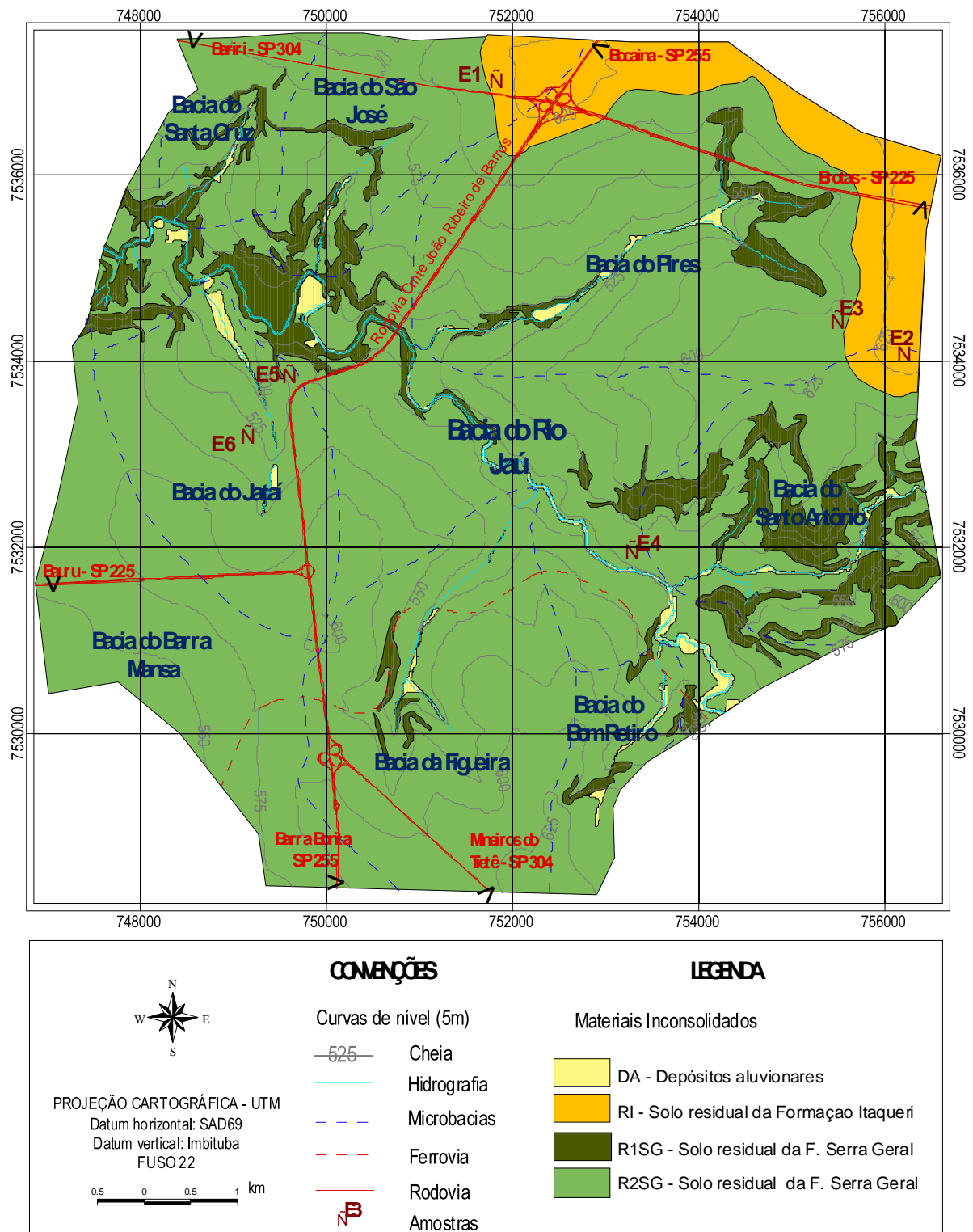


Figura 5.16: Mapa de Materiais Inconsolidados

**Tabela 5.17:** Síntese das características geológico-geotécnicas dos materiais inconsolidados mapeados.

<b>Material inconsolidado</b>	<b>Sigla</b>	<b>Características geológico-geotécnicas</b>
Depósitos aluvionares	<b>DA</b>	Solo transportado, cuja distribuição é governada por cursos d'água e pelo relevo (baixas declividades), pode possuir matéria orgânica, reduzindo sua capacidade de suporte, sendo um solo com alta restrição à ocupação.
Solo residual da Formação Itaqueri	<b>RI</b> (Figura 5.17)	Textura arenosa, areno-argilosa ou argilo-arenosa; de cor avermelhada originário do arenito, suscetível à processos erosivos.
Solo residual da Formação Serra Geral	<b>R1SG</b> (Figura 5.18)	Horizonte de solo residual maduro pouco espesso, ocorrência de horizonte de solo residual jovem, e eventualmente ocorrem afloramentos de rocha (basalto) a profundidades reduzidas (<5m). Presença de estruturas reliquias da rocha mãe, cores variegadas, textura argilosa com fragmentos de rocha.
	<b>R2SG</b> (Figura 5.19)	Horizonte de solo residual maduro espesso (>5m). Estrutura homogênea, poroso, laterizado, textura argilosa.



**Figura 5.17:** Solo residual da Formação Itaqueri (RI), com sulcos erosivos de médio porte.



**Figura 5.18:** Solo residual da Formação Serra Geral, apresentando estruturas reliquias do basalto (R1SG).



**Figura 5.19:** Solo residual da Formação Serra Geral (R2SG).

### 5.2.2.5. Ensaios geotécnicos

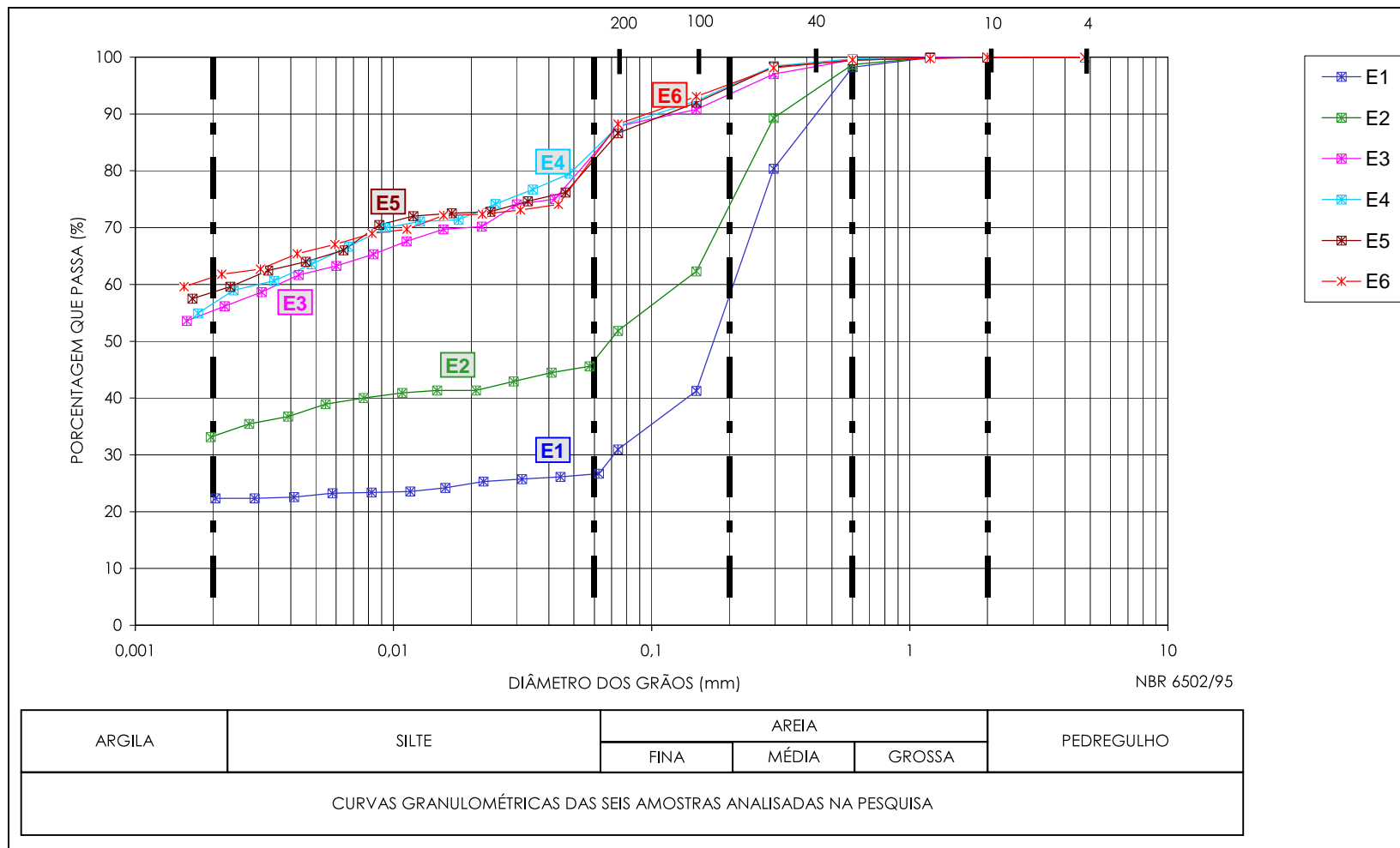
Também foi executada uma campanha de amostragem expedita (seis locais) para a realização de ensaios de caracterização geotécnica em laboratório, objetivando complementar as informações de interesse para a avaliação do comportamento potencial dos materiais inconsolidados identificados na área de estudo frente à implantação de obras civis urbanas.

Os ensaios geotécnicos realizados foram: Análise Granulométrica Conjunta (NBR-6502), Massa Específica dos Sólidos (NBR08) e Limites de Atterberg (ABNT métodos de ensaios MB-30 e MB31), e os resultados obtidos são resumidos na Tabela 5.18. Na Figura 5.20 são apresentadas as curvas granulométricas para as seis amostras ensaiadas.

**Tabela 5.18:** Resultados dos ensaios para as seis amostras.

ENSAIOS		Massa Específica dos Sólidos		Análise Granulométrica Conjunta					Limites de Atterberg		
Amostras	Tipo de Solo	$\rho_s$ (g/cm <sup>3</sup> )	W (%)	ARGILA	SILTE	AREIA (%)			LL	LP	IP
				(%)	(%)	FINA	MÉDIA	GROSSA			
E1	RI	2,666	5,4	22	6	31	40	2	19	15	4
E2	RI	2,694	12	33	14	28	24	2	30	25	5
E3	R2SG	3,062	16,2	56	29	10	5	1	46	37	9
E4	R2SG	2,880	27,2	57	28	11	5	0	65	49	16
E5	R2SG	2,899	19,3	59	23	13	5	1	52	40	12
E6	R2SG	3,049	14,1	62	22	12	4	1	47	37	10

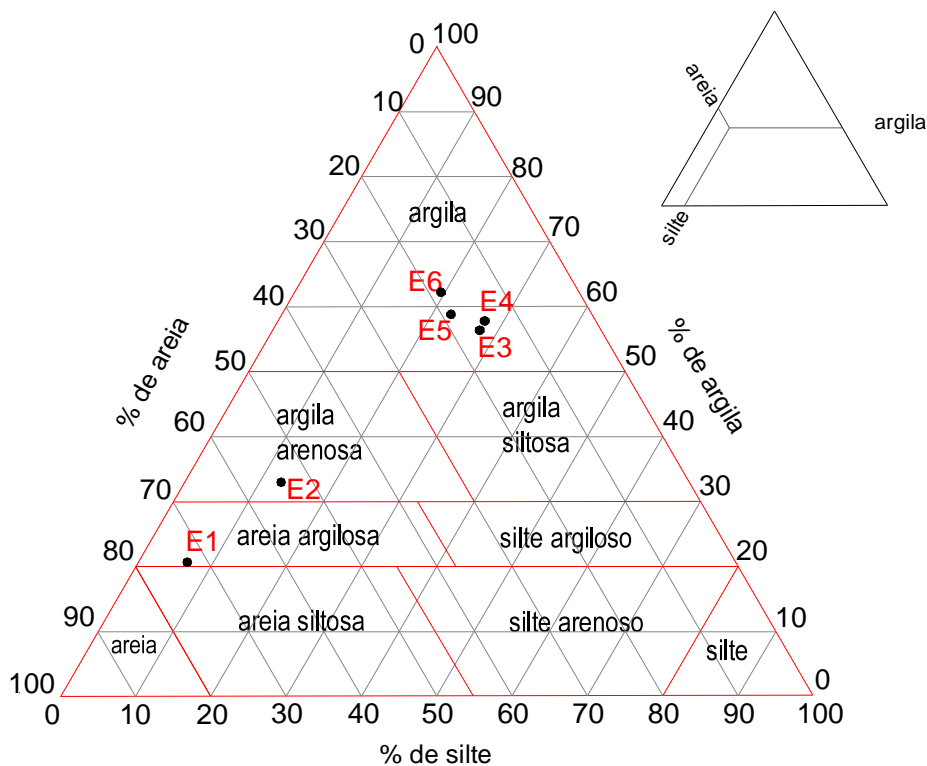
$\rho_s$  = massa específica dos sólidos    LP = Limite de Plasticidade  
 IP = Índice de Plasticidade    w = teor de umidade    LL = Limite de Liquidez



**Figura 5.20:** Curvas Granulométricas das seis amostras de solos ensaiadas.

Utilizaram-se dois métodos de classificação para as amostras: classificação granulométrica, pelo diagrama triangular (Triângulo de Feret), e classificação HRB (Rodoviária).

Na primeira, os solos foram classificados textualmente levando em conta as frações de argila, silte e areia de cada um, que foram lançadas no diagrama triangular da Figura 5.21, obtendo-se os resultados mostrados na Tabela 5.19.



**Figura 5.21:** Diagrama Triangular com as seis amostras localadas (Fonte: BUENO & VILAR, 1980).

**Tabela 5.19:** Classificação granulométrica através do diagrama triangular.

AMOSTRAS	Tipo de solo	Análise Granulométrica Conjunta					Classificação Granulométrica
		ARGILA (%)	SILTE (%)	AREIA (%)			
				FINA	MÉDIA	GROSSA	
E1	RI	22	6	31	40	2	Areia argilosa
E2	RI	33	13	28	24	2	Argila arenosa
E3	R2SG	56	29	10	5	1	Argila
E4	R2SG	57	28	11	5	0	Argila
E5	R2SG	59	23	13	5	1	Argila
E6	R2SG	62	22	12	4	1	Argila



A classificação triangular leva em conta somente o tamanho das partículas, assim optou-se também pela utilização da classificação *HRB* (*Highway Research Board*) conhecida no Brasil como Classificação Rodoviária, que também considera os Limites de Atterberg, além caracterizar o solo quanto a utilização como base ou sub-base de pavimentos. Na Tabela 5.20 são descritas as classes de solo segundo a classificação HBR obtidas para as amostras ensaiadas.

**Tabela 5.20:** Classificação das amostras pelo método HRB.

AMOSTRAS	Tipo de solos	Classificação Rodoviária (HRB)		
		Grupos	Classificação Geral	Qualidade para uso como Sub-leito
E1	RI	A-2-4	Areia argilosa	Bom
E2	RI	A-4	Solo siltoso	Regular
E3	R2SG	A-5	Solo siltoso	Regular
E4	R2SG	A-7-6	Solo argiloso	Ruim
E5	R2SG	A-7-6	Solo argiloso	Ruim
E6	R2SG	A-7-5	Solo argiloso	Ruim

Também foi realizada uma análise visual qualitativa da composição mineralógica das amostras de solo ensaiadas, utilizando um microscópio digital modelo Olympus MIC-D (aumento máximo 256 vezes). As frações de grãos retidas na peneira #50 (areia média), durante os ensaios de granulometria das amostras de solos, foram fotografadas com esta lupa digital, utilizando aumentos de 22 e 50 vezes.

As Figuras 5.22 e 5.23 (A a F) ilustram as 12 fotos obtidas. Observa-se em todas elas um amplo predomínio de grãos de quartzo em termos volumétricos, muitos deles inclusive, apresentam-se arredondados (amostras E1 e E2, Figura 5.22 B e D).

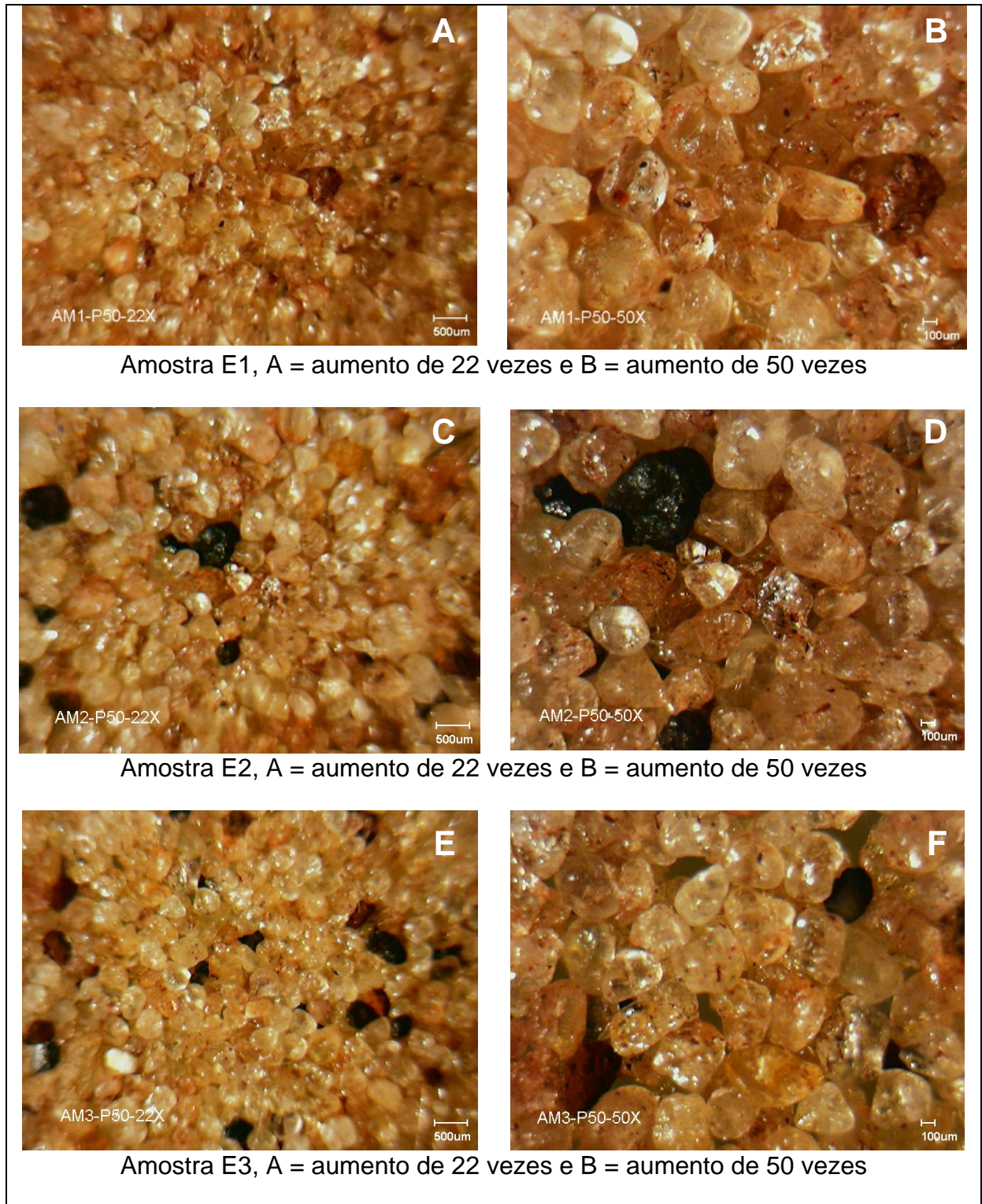
Esta característica mineralógica é esperada para as amostras E1 e E2, que provém do solo classificado como residual do arenito Itaqueri (RI) no mapa de materiais inconsolidados (Figura 5.19).

Porém, para as amostras E3, E4, E5 e E6, oriundas de solos residuais dos basaltos da Formação Serra Geral era de se esperar a presença de muito pouco quartzo, uma vez que estas rochas são de composição básica (baixo teor de  $\text{SiO}_2$ ), apresentando a predominância de plagioclásios, minerais máficos (escuros) e metálicos (magnetita). A amostra E6 é que apresenta a maior concentração de minerais máficos e metálicos (magnetita), porém ainda, com muito quartzo (Figura 5.23, E e F).

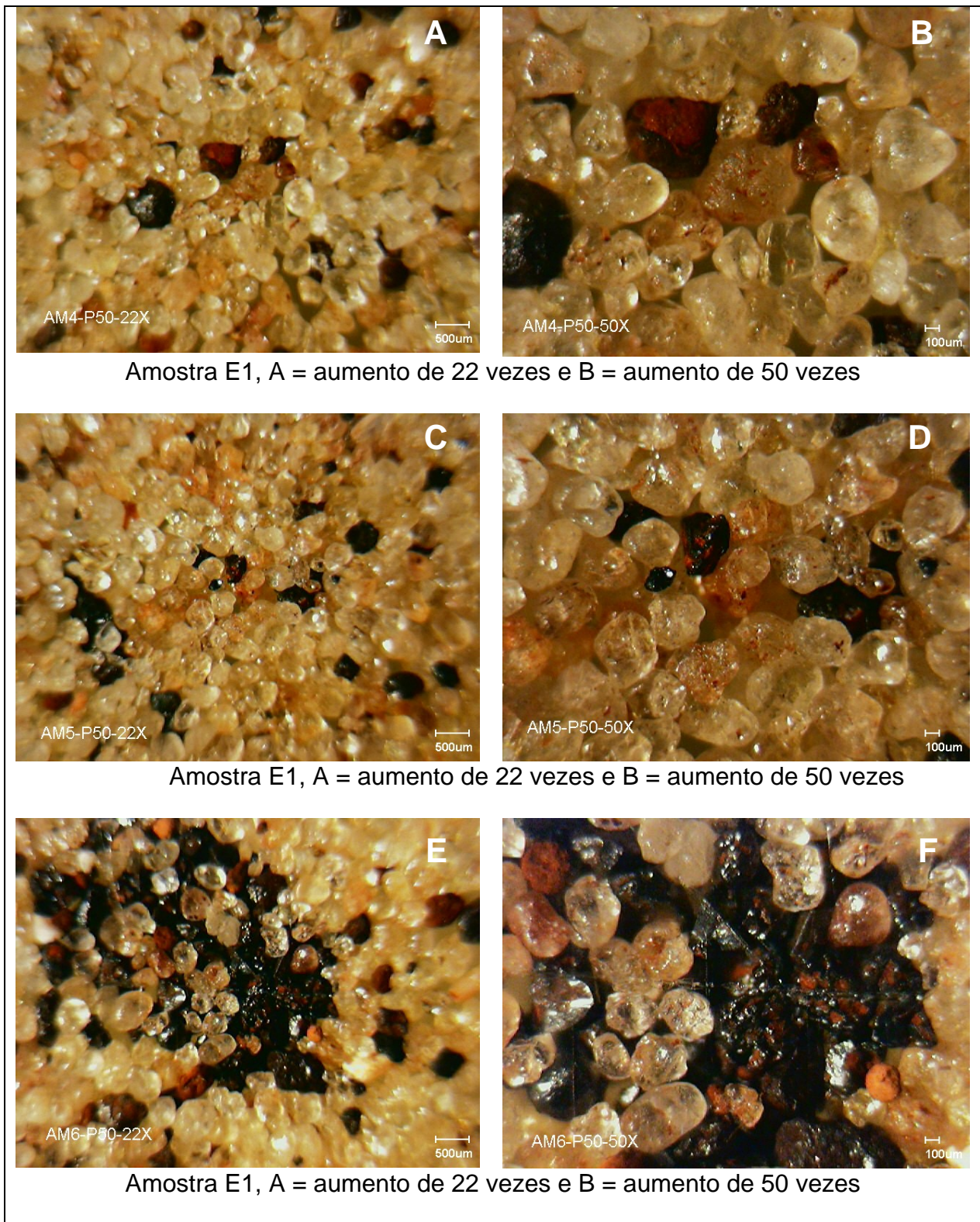
Portanto, como estas amostras foram coletadas a baixas profundidades e nos horizontes de solos residual maduro da Formação Serra Geral (R2SG), elas devem estar “contaminadas” por grãos de quartzo transportados por colúviação e mapeadas no mapa de materiais inconsolidados, ou mesmo dos solos residuais do arenito da Formação Itaqueri, que recobrem os basaltos na porção Norte/Nordeste da área de estudo.

A amostra E3 (Figura 5.22, E e F), localizada na zona de transição entre as duas formações geológicas (Figura 5.5, p. 91) representa bem esta situação.

Todas as amostras apresentam uma película de coloração avermelhada relacionada à presença de óxidos e hidróxidos de ferro, típicos dos processos de laterização que ocorrem na alteração e pedogênese de rochas em clima tropical.



**Figura 5.22:** Fotografias com aumento de 22 e 50 vezes das amostras E1, E2 e E3.



**Figura 5.23:** Fotografias com aumento de 22 e 50 vezes das amostras E4, E5 e E6.

#### 5.4.5. Mapa de Profundidade do Topo Rochoso

Os dados de poços com a identificação do topo rochoso, as sondagens à percussão que atingiram profundidades com valores impenetráveis ao ensaio SPT e as visitas de campo com a identificação de afloramentos rochosos, foram agrupados totalizando 92 pontos de amostragem.

As profundidades de topo rochoso obtidas nestes locais foram interpoladas, utilizando o método do inverso da distância ao quadrado e uma malha (*grid*) de 5m.

Os quatro intervalos de profundidades do topo rochoso foram estabelecidos com base nas restrições geotécnicas potenciais na execução de obras de infraestrutura urbana que necessitam de escavação (sistemas viários e de saneamento, por exemplo).

A ocorrência do topo rochoso pouco profundo tende a onerar significativamente estas obras além de aumentar os impactos ambientais potenciais (uso de explosivos).

A Tabela 5.21 apresenta a distribuição em área das classes de profundidade do topo rochoso consideradas. A Figura 5.24 ilustra o mapa obtido.

**Tabela 5.21:** Distribuição em área das classes de profundidade de topo rochoso.

Restrição	Classes (m)	Área (Km <sup>2</sup> )	% da área total
Baixa	>10	36,7	52,2
Média	5-10	18,6	26,4
Alta	2-5	14,8	21,0
Muito Alta	0-2	0,3	0,4
<b>Área Total</b>		<b>70,3 Km<sup>2</sup></b>	

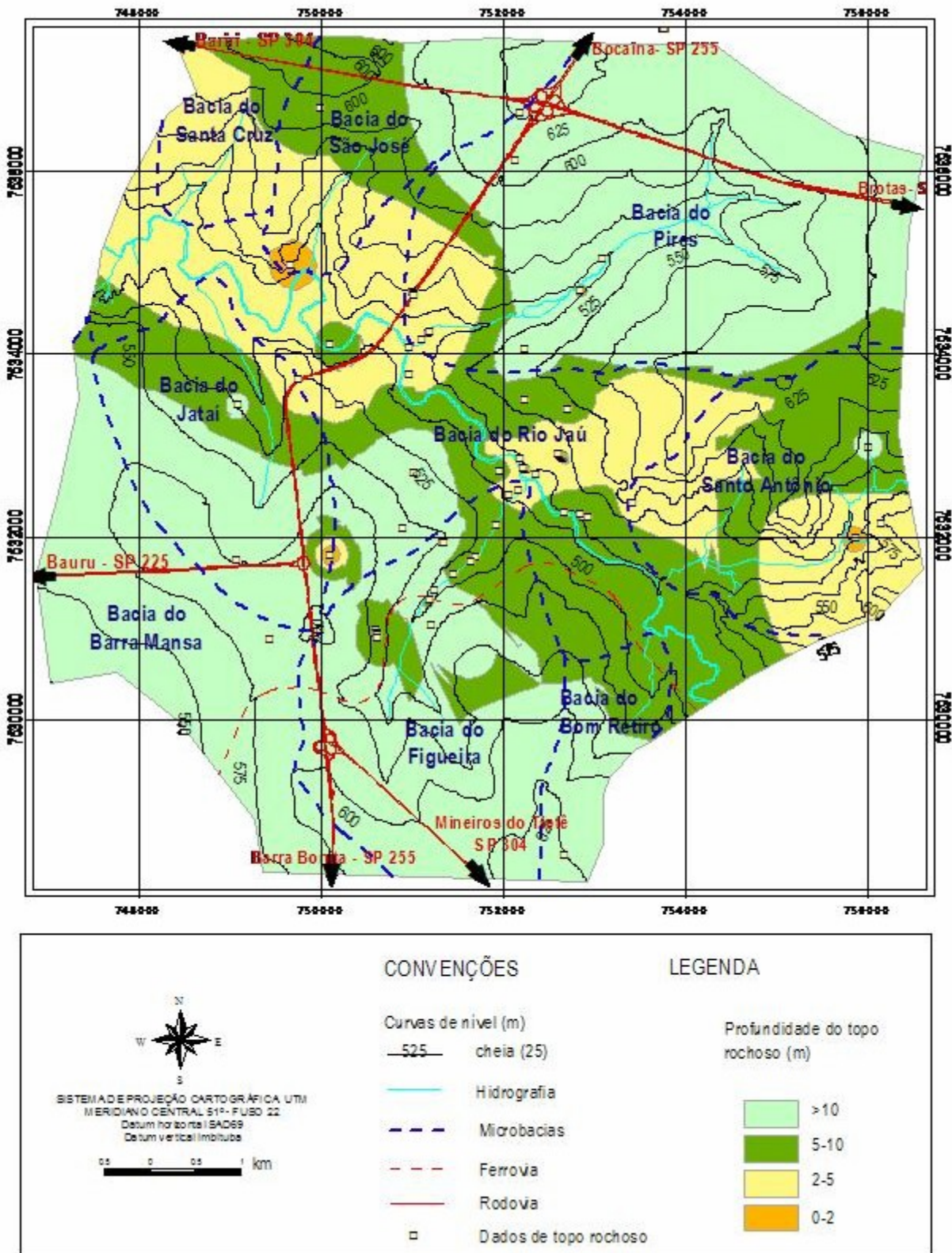


Figura 5.24: Mapa de profundidade do topo rochoso.

### 5.4.6. Mapa de Declividade

O Mapa de Declividade foi elaborado a partir do MDT no formato TIN, utilizando a função *derive slope*, criando-se uma grade numérica (*grid*) de declividade em graus, que posteriormente foi classificada em quatro intervalos de classes de declividades expressas em percentagem.

Estas quatro classes foram estabelecidas mantendo-se o mesmo numero de níveis de restrição adotados nos demais mapas de 2ª Ordem (geofatores) elaborados e considerando-se as restrições potenciais ao parcelamento dos solos, conforme proposto pelo IPT (1991).

A Tabela 5.22 apresenta a distribuição em área obtida destas classes de declividade, destacando suas principais restrições potenciais ao parcelamento do solo. A Figura. 5.25 ilustra o Mapa de Declividade obtido.

**Tabela 5.22:** Classes de declividades por área.

<b>Restrição</b>	<b>Declividade (%)</b>	<b>Área (Km<sup>2</sup>)</b>	<b>% da área total</b>	<b>Restrições ao uso do solo (IPT, 1991)</b>
<b>Baixa</b>	0 - 6	40,0	57	Poucas restrições
<b>Média</b>	6 -15	25,3	36	Intensificação dos processos erosivos pluviais.
<b>Alta</b>	15 -30	4,4	6	Maior dificuldade para serviços de terraplanagem, implantação do sistema viário, drenagem, etc.
<b>Muito Alta</b>	>30	0,7	1	Intensificação dos movimentos de massa e a ocupação está sujeita às restrições da Lei Lehman*
<b>Área Total</b>		<b>70,3 Km<sup>2</sup></b>		

\* Lei Federal 6.766/79

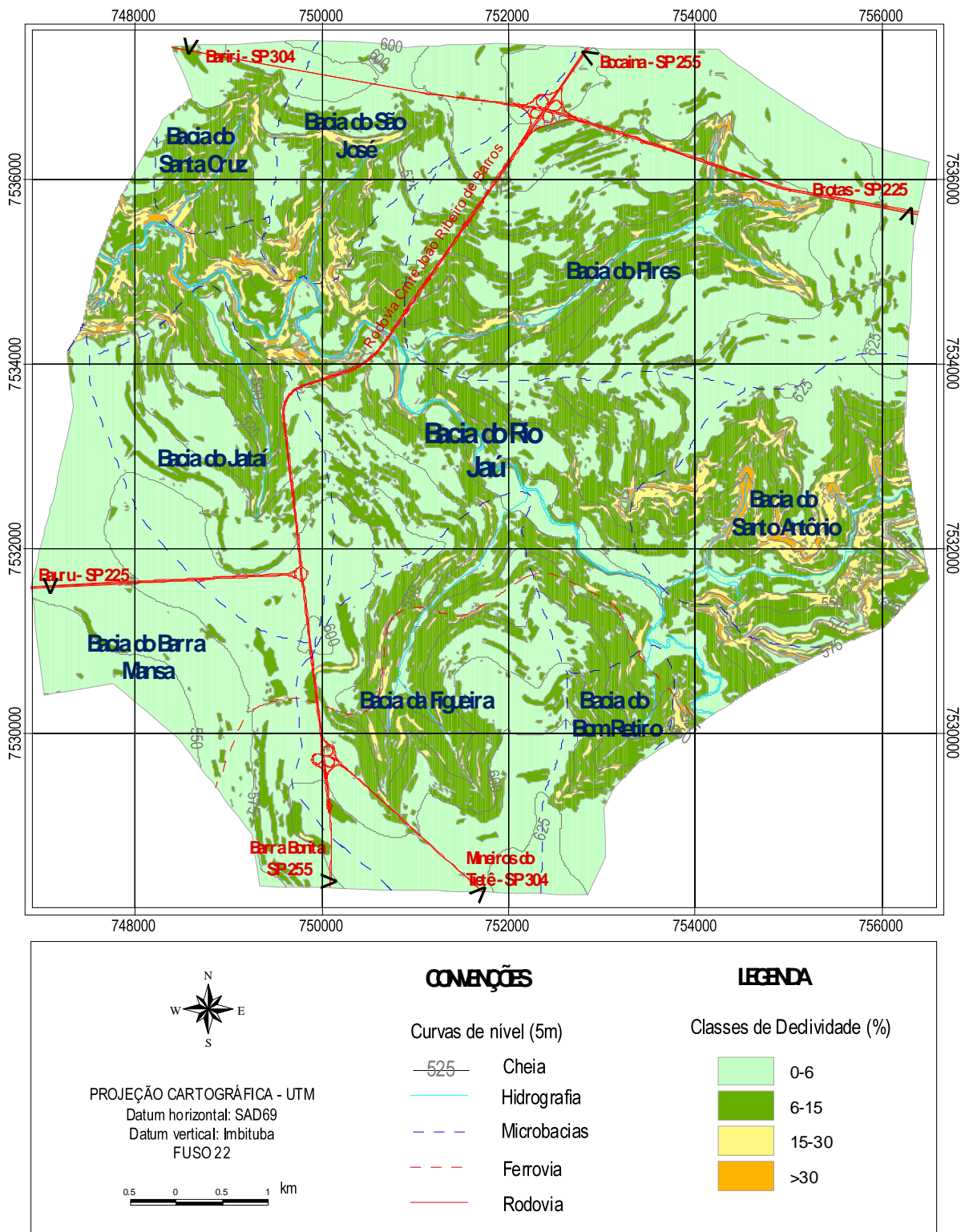


Figura 5.25: Mapa de declividade



### 5.4.7. Mapa de Densidade de Encostas Côncavas

Numa primeira etapa foi produzido o Mapa de Curvatura de Encostas, que classifica as encostas em côncavas, convexas ou retilíneas, sua análise é importante na determinação da dinâmica dos processos associados ao fluxo superficial das águas.

Este mapa foi elaborado a partir da análise do MDT com auxílio do programa Arcinfo 7.1, utilizando a função curvature, onde os valores das células representam a concavidade ou a convexidade de vertentes; a curvatura é dada pela segunda derivada da altitude, sendo que a primeira derivada é a declividade.

A curvatura de uma encosta está relacionada aos fatores hidrológicos, tais como, conteúdo de água no solo, fluxo convergente/divergente, taxa de erosão/deposição e outros (Moore et al., 1991).

As encostas côncavas são representadas por células com valores negativos, as convexas são representadas por valores positivos e as planas têm valor igual a zero. A distribuição em área de cada uma das tipologias de encosta obtidas na região estudada é apresentada na Tabela 5.23.

**Tabela 5.23:** Áreas ocupadas por cada tipo de encosta.

<b>Tipo de Encosta</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>% da área total</b>
<b>Retilínea</b>	25,0	36
<b>Convexa</b>	16,0	23
<b>Côncava</b>	29,3	42
<b>Área Total</b>		<b>70,3 Km<sup>2</sup></b>

Nos processos da dinâmica superficial (inundações, erosões, escorregamentos, etc), o formato côncavo pode ser considerado como o mais

restritivo, pois as vertentes com curvatura côncava tendem a concentrar o fluxo das águas superficiais, podendo induzir os processos de erosão e inundação. Assim optou-se por utilizar as áreas de ocorrência das encostas côncavas na ponderação final dos geofatores.

Elaborou-se, portanto, o mapa de densidade de encostas côncavas, considerando-se a razão entre as áreas ( $m^2$ ) destas encostas e as células de 1 km, agrupando-se os valores de densidade obtidos em quatro níveis de restrição, conforme procedimento utilizado nos demais mapas de densidade de 2ª Ordem elaborados.

A Figura 5.26 ilustra o mapa resultante e a Tabela 5.24 apresenta a distribuição em área destas classes de densidade na região estudada.

**Tabela 5.24:** Intervalos de densidade para curvatura de encostas côncavas.

<b>Restrição</b>	<b>Densidade de Encostas Coletoras (<math>m^2/km^2</math>)</b>	<b>Área (<math>Km^2</math>)</b>	<b>% da área total</b>
<b>Baixa</b>	41908-268182	2,1	3
<b>Média</b>	268182-391825	21,4	30
<b>Alta</b>	391825-474750	35,4	50
<b>Muito Alta</b>	474750-653241	11,5	16

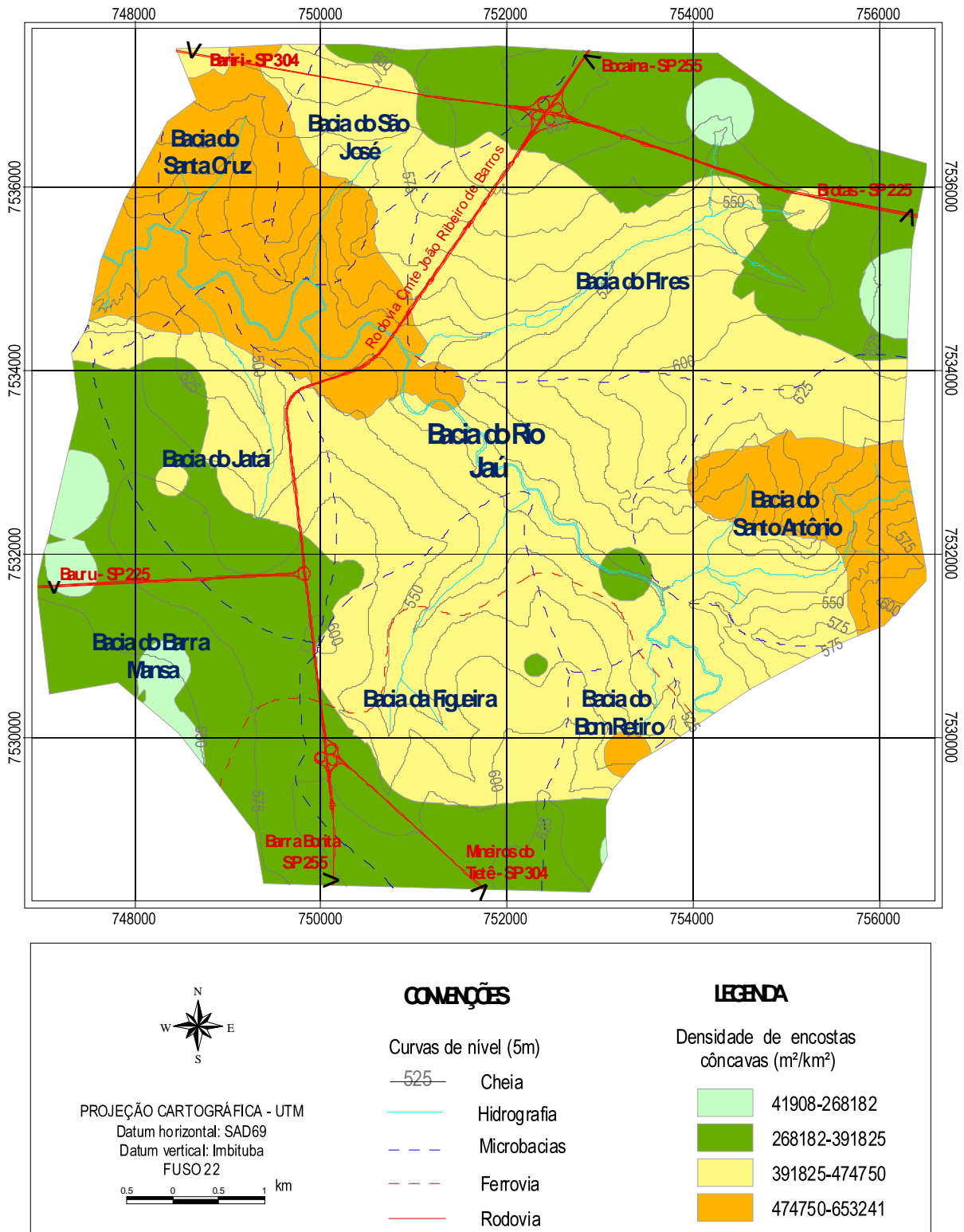


Figura 5.26: Mapa da densidade de curvatura de encostas coletoras.

### 5.4.8. Mapa de Densidade de Drenagem

A densidade de drenagem é um atributo originalmente utilizado para a caracterização hidromorfológica de uma bacia hidrográfica, sendo expressa pela razão entre o comprimento total dos canais de drenagem e a área da bacia (HORTON, 1945 apud CRISTOFOLLETTI, 1980).

Na pesquisa atual a densidade de drenagem foi calculada considerando as células de 1 km<sup>2</sup>, conforme procedimento já descrito no item 5.5.

A densidade de drenagem além de estar correlacionada a outras propriedades e características ambientais (clima, substrato rochoso, solos, relevo, etc), pode ser utilizada como um indicador dos processos de cheias e inundações. Em geral, pode-se considerar que o incremento da densidade de drenagem tende a aumentar o grau de restrição para a ocupação urbana no terreno.

Com base nestas considerações, os valores de densidade de drenagem obtidos na área de estudo foram agrupados nos quatro níveis de restrição adotados nos demais mapas de densidade produzidos. A Tabela 5.25 apresenta a distribuição em área destas classes de densidade de drenagem na região analisada e a Figura 5.27 ilustra o resultado cartográfico obtido

**Tabela 5.25:** Intervalos de densidade de drenagem

<b>Restrição</b>	<b>Densidade Drenagem (m/km<sup>2</sup>)</b>	<b>Área Km<sup>2</sup></b>	<b>% da Área total</b>
<b>Baixa</b>	0-310	29,6	42
<b>Média</b>	310-1100	28,3	40
<b>Alta</b>	1100-2134	11,9	17
<b>Muito Alta</b>	2134-4215	0,5	1
<b>Área Total</b>		<b>70,3 Km<sup>2</sup></b>	

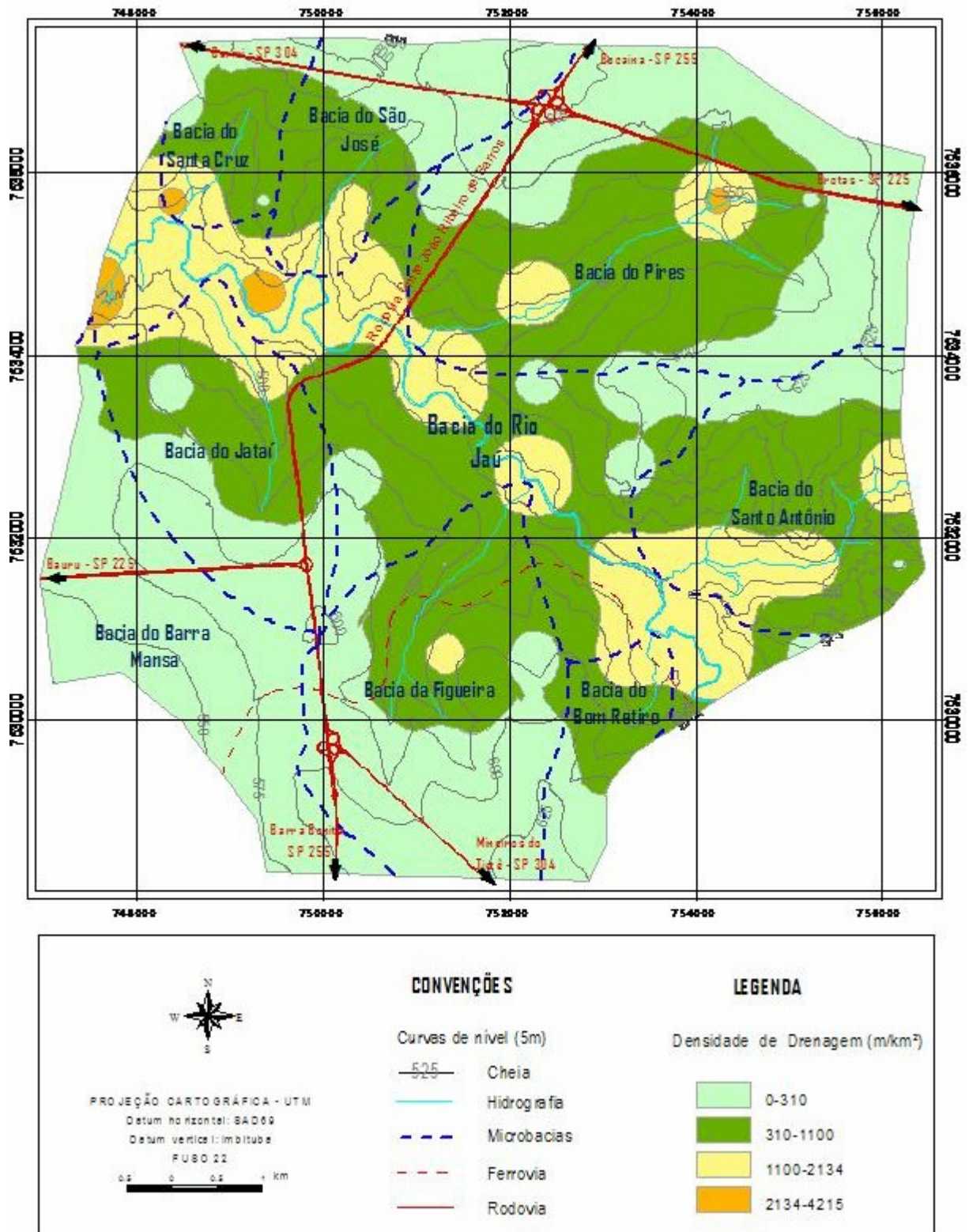


Figura 5.27: Mapa de densidade de drenagem.

#### 5.4.9. *Mapa de Restrições Ambientais*

Este mapa delimita as áreas que tenham restrições ambientais, garantidas por Lei. Para o local em estudo existem dois tipos de áreas com restrições ambientais legais:

**a. APP** (*Lei Nº 7.803, de 18 de julho de 1989*): é a faixa mínima de vegetação necessária à proteção dos recursos hídricos, da biodiversidade e do solo. Ela é delimitada às margens dos cursos d'água (nascentes, córregos, rios, lagos). A Tabela 5.26 apresenta a largura das faixas de APP para cada tipo de corpo d'água presentes na área estudada. Na área de estudo foram delimitadas as APP em toda malha hidrográfica através do comando *buffer* (define uma área de influência em relação a qualquer representação cartográfica do mapa). No caso, as representações cartográficas são os córregos, rios e lagos.

**b. Reserva Particular de Patrimônio Natural (RPPN)** Decreto Nº. 1.922 (BRASIL,1996): é uma área de domínio privado a ser especialmente protegida, por iniciativa de seu proprietário, mediante reconhecimento do Poder Público, por ser considerada de relevante importância pela sua biodiversidade, ou pelo seu aspecto paisagístico, ou ainda por suas características ambientais que justifiquem ações de recuperação. Existe uma RPPN no município de Jaú localizada na área de expansão urbana, dentro da Fazenda Amadeu Botelho. Foi criada em 2000 pela Portaria 19, é formada por bioma de Mata Atlântica e sua área total é de 1,4 Km<sup>2</sup>.

A Figura 5.28 ilustra um trecho da área de estudo que contém APP e a RPPN Amadeu Botelho. A Figura 5.29 apresenta uma visão aérea da RPPN.

**Tabela 5.26:** Largura da faixa de APP.

<b>Corpo d'água</b>	<b>Largura (m)</b>
Nascentes ou olhos d'água (qualquer que seja a topografia)	50
Rios ou Córregos com menos de 10 metros de largura	30
Rios ou Córregos de 10 a 50 metros de largura	50
Lagos ou lagoas naturais (área urbana)	30

Fonte: BRASIL, 1989



**Figura 5.28:** Visão aérea da RPPN – Amadeu Botelho

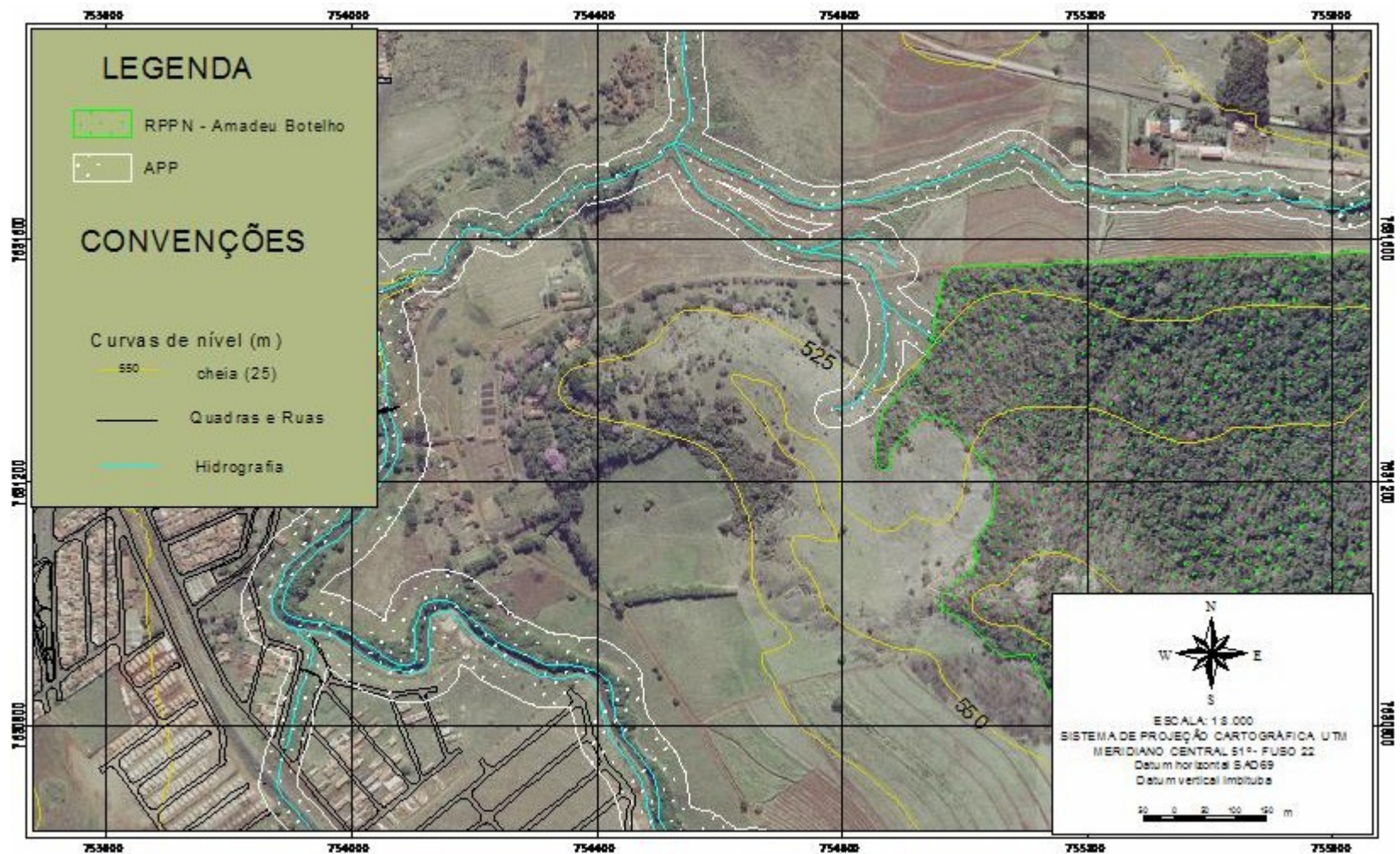


Figura 5.29: Ilustração de parte do mapa de restrições ambientais.



## 5.5. Modelo de Ponderação dos Geofatores

Antes da elaboração dos mapas de 3ª e 4ª Ordens foi necessário definir o modelo de ponderação utilizado na hierarquização entre os grupos de geofatores A, B e C e os geofatores utilizados em cada grupo.

O modelo de ponderação elaborado baseou-se na análise multi-critério (item 2.7, p. 62) com a definição de pesos considerando a importância relativa entre os geofatores e as classes de geofatores dos grupos A e B.

Para os geofatores A, foi dada maior importância para os processos de mais freqüentes, com maiores danos potenciais para a ocupação urbana e que influenciam diretamente nos demais processos.

Os geofatores B foram analisados conforme sua relevância enquanto característica do meio físico para o planejamento urbano na área estudada. A ponderação dos pesos para os geofatores deve ser avaliada segundo as características da área em questão e sempre buscando a validação dos resultados em campo.

Analisando cada um dos geofatores, suas conseqüências e freqüências, para o caso, elaborou-se uma síntese dos critérios de hierarquização para os geofatores A e B (Tabela 5.27).

Com base nesta hierarquização e nos trabalhos de: Parizi (2003) e Moura (2003), testaram-se diversos pesos para os geofatores A e B, separadamente.

Os pesos finais (em percentagem) dos geofatores dos grupos A e B foram definidos após várias adequações e verificações, analisando-se os resultados (álgebra de mapas) frente à situação da área, onde se buscou o melhor desempenho do modelo de ponderação em relação às características do meio-físico

e aos locais de ocorrência de processos de geodinâmica externa. A Tabela 5.28 apresenta os pesos para os geofatores A e B e para suas classes de restrição.

**Tabela 5.27:** Síntese dos critérios hierarquização dos geofatores A e B.

<b>Grupo</b>	<b>Geofator</b>	<b>Importância relativa</b>	<b>Análise</b>
<b>A</b>	Densidade de sulcos e ravinas	Media	Processos relativamente freqüentes e afetando vários locais. Podem induzir escorregamentos e inundações (pelo assoreamento de drenagens).
	Densidade de escorregamentos	Baixa	Processos pouco freqüentes e afetando áreas restritas, associadas muitas vezes a evolução de processos erosivos de maior porte.
	Densidade de inundações	Alta	Processos bastante freqüentes e com um histórico de danos sociais e econômicos significativos. Podem induzir erosão e escorregamentos marginais às drenagens.
<b>B</b>	Materiais Inconsolidados	Média	Pode impor restrições às obras urbanas (solos aluvionares, por exemplo), além de controlar processos de erosão e escorregamentos. Os solos arenosos (RI), mais vulneráveis à processos erosivos se localizam em uma pequena porção da área (7%) em declividade baixa (0-2%) e os solos DA ocupam apenas 2% da área, sendo também integrantes das áreas de restrição ambiental (Geofatores C).
	Profundidade do Topo Rochoso	Baixa	Impõe restrições para serviços de terraplenagem e implantação de sistemas de adução e saneamento. Pouco significativo na área estudada, onde há predomínio de solos profundos, 77% da área total apresenta profundidades acima de 5m, destes 50% são >10m.
	Declividade	Alta	Impõe características específicas ao projeto urbanístico (sistema viário, disposição dos lotes, terraplenagem, etc), além de condicionar a dinâmica de processos de erosão e escorregamento. Pode impor restrições legais (Lei Lehman). No local apresenta escarpas e declividades elevadas (> 30%).
	Densidade de encostas côncavas	Média	Influencia diretamente o escoamento superficial e conseqüentemente, a dinâmica dos processos de erosão e inundação.
	Densidade de drenagem	Média	Impõe restrições ao projeto urbanístico (terraplenagem, sistema viário) e influencia diretamente a dinâmica das inundações.

**Tabela 5.28:** Síntese dos pesos finais definidos para os geofatores e para as suas classes restrição.

Geofatores	Peso	Classes de restrições (peso=PC)				
		Baixa (PC=1)	Média (PC=2)	Alta (PC=3)	Muito alta (PC=4)	
A	Densidade de sulcos ravinias (m/km <sup>2</sup> )	40	0-83	83-283	283-539	539-2892
	Densidade de escorregamentos (m <sup>2</sup> /km <sup>2</sup> )	10	0-287	287-1208	1208-5468	5468-11340
	Densidade inundações (n <sup>o</sup> ocorrências/km <sup>2</sup> )	50	1	2	3	4
B	Materiais inconsolidados	20	R2SG	R1SG	RI	DA
	Profundidade do topo rochoso (m)	10	>10	5-10	2-5	0-2
	Declividade (%)	30	0-6	6-15	15-30	>30
	Densidade de encostas côncavas (m <sup>2</sup> /km <sup>2</sup> )	20	41908-268182	268182-391825	391825-474750	474750-653241
	Densidade de drenagem (m/km <sup>2</sup> )	20	0-310	310-1100	100-2134	2134-4215

Para as classes de cada geofator adotaram-se os pesos de 1 a 4, seguindo a hierarquia dos agrupamentos de baixa, média, alta e muita alta restrição, definidos nos mapas de 2<sup>a</sup> Ordem. As equações 2 e 3 descrevem as formulas de ponderação adotadas, segundo o modelo da Soma Ponderada, proposta por Soares (2003).

$$GeofatoresA = \frac{PC_{drav} \times 40 + PC_{desc} \times 10 + PC_{dinun} \times 50}{100} \quad (2)$$

$$GeofatoresB = \frac{(PC_{mi} \times 20) + (PC_{tr} \times 10) + (PC_{decl} \times 30) + (PC_{denc} \times 20) + (PC_{ddren} \times 20)}{100} \quad (3)$$

Onde:

10,20,30,40 e 50 são os pesos do geofator nos grupos A e B.

PC = Peso das classes de restrição do geofator (1,2,3 e 4)

drav = densidade de sulcos e ravinias

tr = profundidade do topo rochoso

desc = densidade de escorregamentos

decl = declividade

dinun = densidade de inundações

denc = densidade de encostas côncavas

mi = materiais inconsolidados

ddren = densidade de drenagem

Os geofatores C, por representarem restrições ambientais legais, foram considerados igualmente como áreas de muito alta restrição, sendo sobrepostos aos demais geofatores no mapa final de restrições geotécnicas e ambientais elaborado. (Mapa de 4ª Ordem).

## 5.6. Mapas de 3ª Ordem

Os mapas de 3ª Ordem representam a síntese cartográfica das restrições geotécnicas e ambientais considerando cada um dos três grupos de geofatores A, B e C e suas respectivas classes de restrição em separado.

Para os grupos de geofatores A e B, os mapas de 2ª Ordem de cada um dos geofatores considerados, agrupados segundo as quatro classes de restrição (baixa, média, alta e muito alta), foram convertidos em arquivos matriciais (grid) com células de 5m, a cada célula foi atribuído o peso correspondente à classe de restrição do geofator analisado.

Os arquivos matriciais gerados pelo procedimento acima foram somados, seguindo as equações de ponderação 2 e 3 (apresentadas no item 5.5, p.126), dentro da função *map calculator* disponível no módulo *spatial analyst* do *Arcview* 3.2a.

Os arquivos finais obtidos pela somas ponderadas foram classificados em quatro intervalos de restrição ambiental e geotécnica (baixa, média, alta e muito alta), resultando nos mapas de 3ª Ordem síntese das restrições geotécnicas e ambientais dos geofatores A e B.

O mapa de 3ª Ordem síntese das restrições geotécnicas e ambientais, associadas aos geofatores C, foi obtido pela totalização das áreas de APP e de preservação ambiental (RPPN – Amadeu Botelho), classificadas como alta restrição.

As Tabelas 5.29, 5.30 e 5.31 apresentam a distribuição em área das classes de restrição dos mapas de 3ª Ordem dos geofatores A, B e C respectivamente. As Figuras 5.30, 5.31 e 5.32 ilustram os mapas síntese de 3ª Ordem obtidos para os geofatores A, B e C.

**Tabela 5.29:** Áreas ocupadas pelas classes de restrição para os geofatores A, dentro de cada microbacia.

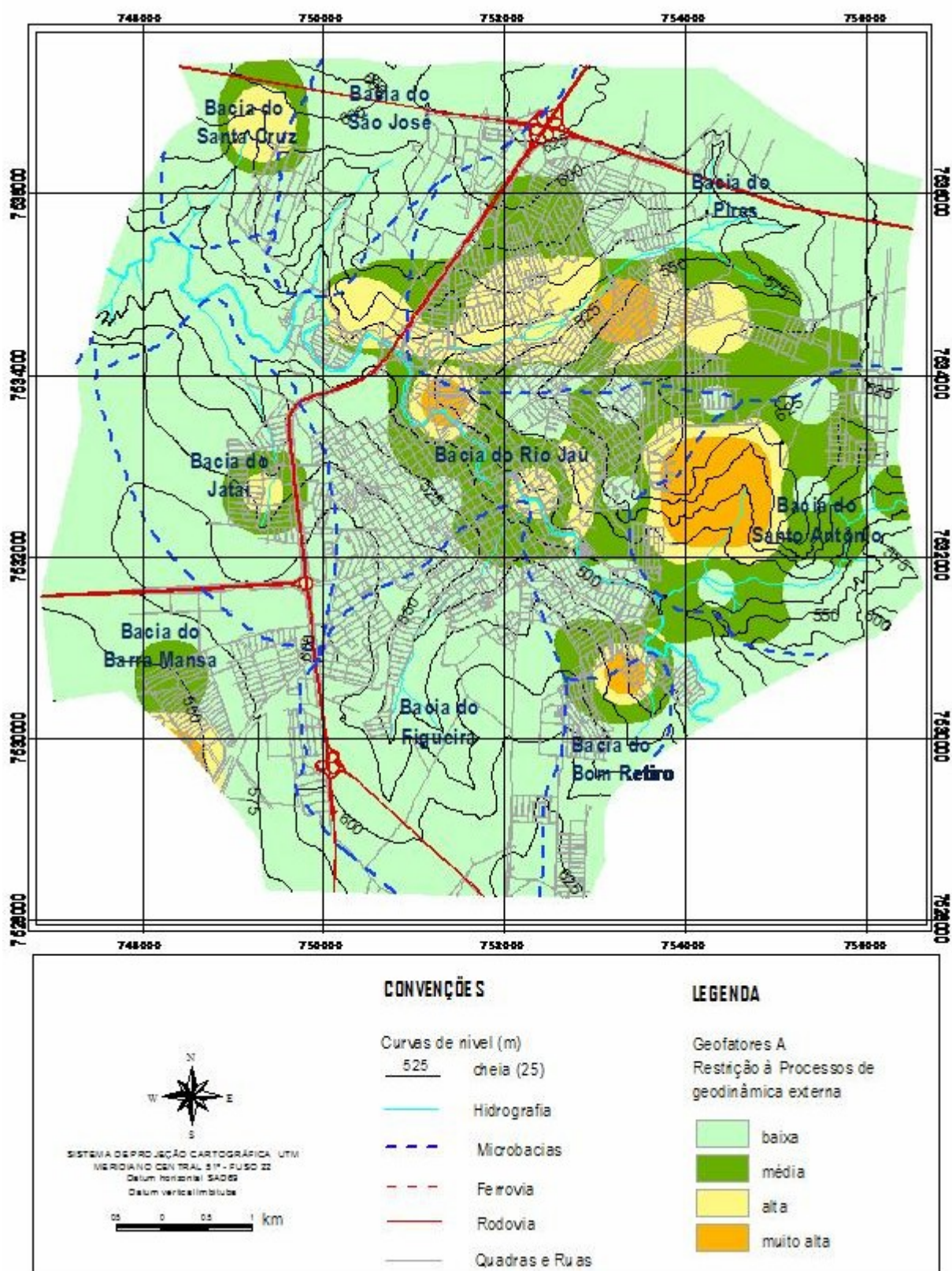
GEOFATORES A			% da área da classe de restrição por microbacia			
Nº	Microbacia	Área (km <sup>2</sup> )	Baixa	Média	Alta	Muito Alta
1	Córrego Bom Retiro	2,2	72,2	16,9	5,8	5,1
<b>2</b>	<b>Córrego Santo Antônio</b>	<b>7,3</b>	<b>34,3</b>	<b>39,3</b>	<b>9,4</b>	<b>17,0</b>
<b>3</b>	<b>Córrego da Figueira</b>	<b>9,2</b>	<b>95,3</b>	<b>4,4</b>	<b>0,3</b>	<b>0,0</b>
4	Córrego dos Pires	16,2	54,8	24,9	17,3	3,0
<b>5</b>	<b>Córrego São José</b>	<b>4,8</b>	<b>95,4</b>	<b>3,2</b>	<b>1,4</b>	<b>0,0</b>
6	Córrego Santa Cruz	2,5	64,2	17,2	18,6	0,0
7	Córrego Jataí	6,4	88,3	8,9	2,8	0,0
8	Rio Jaú	14,3	58,2	27,7	11,6	2,5
9	Córrego da Barra Mansa	7,3	89,0	7,5	2,8	0,7

**Tabela 5.30:** Áreas ocupadas pelas classes de restrição para os geofatores B, dentro de cada microbacia.

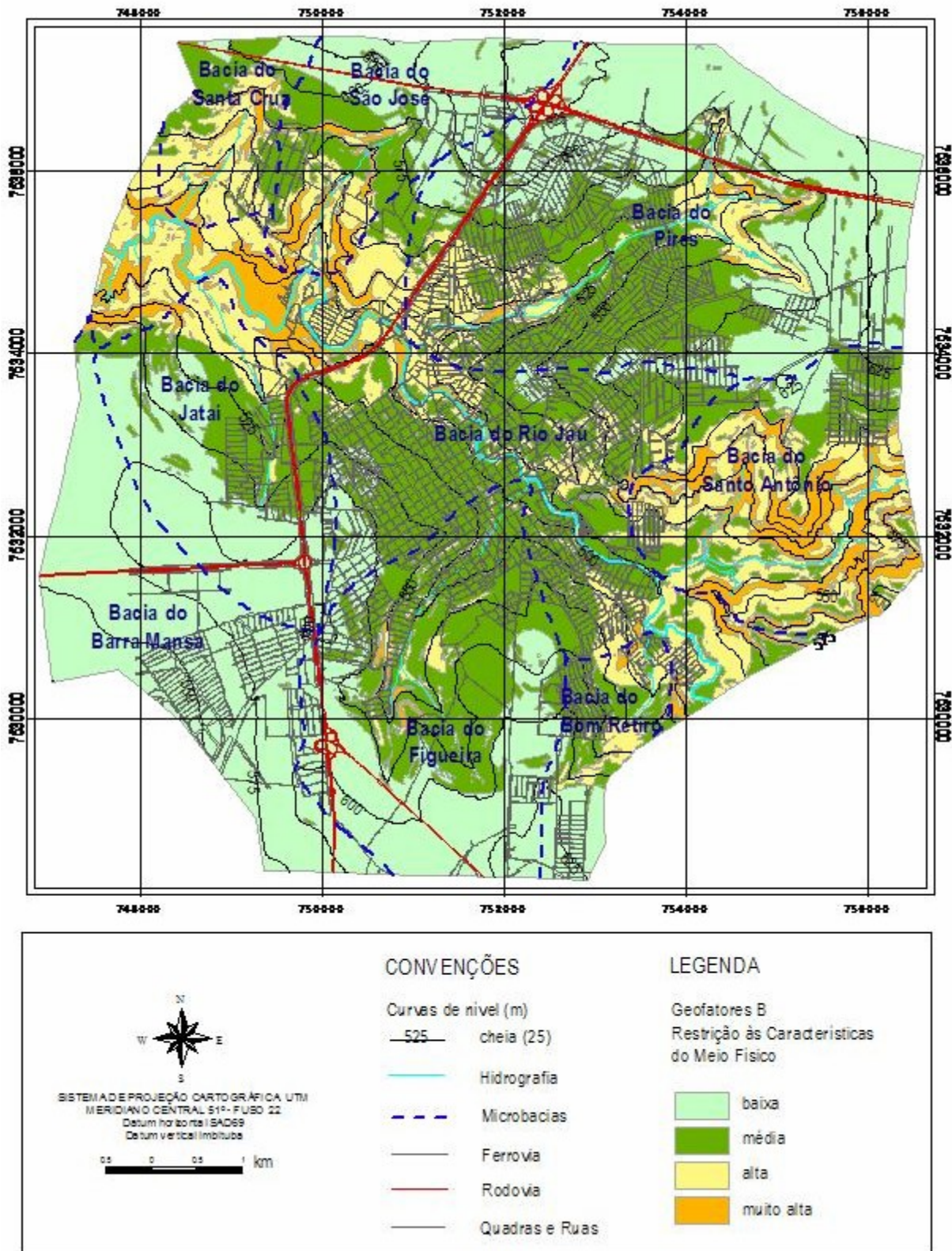
GEOFATORES B			% da área da classe de restrição por microbacia			
Nº	Microbacia	Área (km <sup>2</sup> )	Baixa	Média	Alta	Muito Alta
1	Córrego Bom Retiro	2,2	31,9	39,4	25,7	2,7
<b>2</b>	<b>Córrego Santo Antônio</b>	<b>7,3</b>	<b>5,3</b>	<b>26,7</b>	<b>38,7</b>	<b>29,4</b>
3	Córrego da Figueira	9,2	45,5	50,2	3,6	1,2
4	Córrego dos Pires	16,2	49,1	36,5	12,8	1,7
5	Córrego São José	4,8	48,1	26,8	14,9	11,0
6	Córrego Santa Cruz	2,5	8,4	34,6	46,1	12,0
7	Córrego Jataí	6,4	52,9	33,4	12,2	1,0
<b>8</b>	<b>Rio Jaú</b>	<b>14,3</b>	<b>5,8</b>	<b>46,6</b>	<b>32,1</b>	<b>15,1</b>
<b>9</b>	<b>Córrego da Barra Mansa</b>	<b>7,3</b>	<b>99,4</b>	<b>0,8</b>	<b>0,0</b>	<b>0,1</b>

**Tabela 5.31:** Áreas ocupadas pelas classes de restrição para os geofatores C, dentro de cada microbacia.

<b>Nº</b>	<b>Microbacia</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>área Geofator C (km<sup>2</sup>)</b>	<b>% da área da microbacia</b>
1	Córrego Bom Retiro	2,2	0,08	3,6
<b>2</b>	<b>Córrego Santo Antônio</b>	<b>7,3</b>	<b>1,04</b>	<b>14,3</b>
3	Córrego da Figueira	9,2	0,25	2,7
4	Córrego dos Pires	16,2	0,47	2,9
5	Córrego São José	4,8	0,13	2,6
6	Córrego Santa Cruz	2,5	0,12	4,7
7	Córrego Jataí	6,4	0,18	2,7
<b>8</b>	<b>Rio Jaú</b>	<b>14,3</b>	<b>1,81</b>	<b>12,6</b>
<b>9</b>	<b>Córrego da Barra Mansa</b>	<b>7,3</b>	<b>0,00</b>	<b>0,0</b>

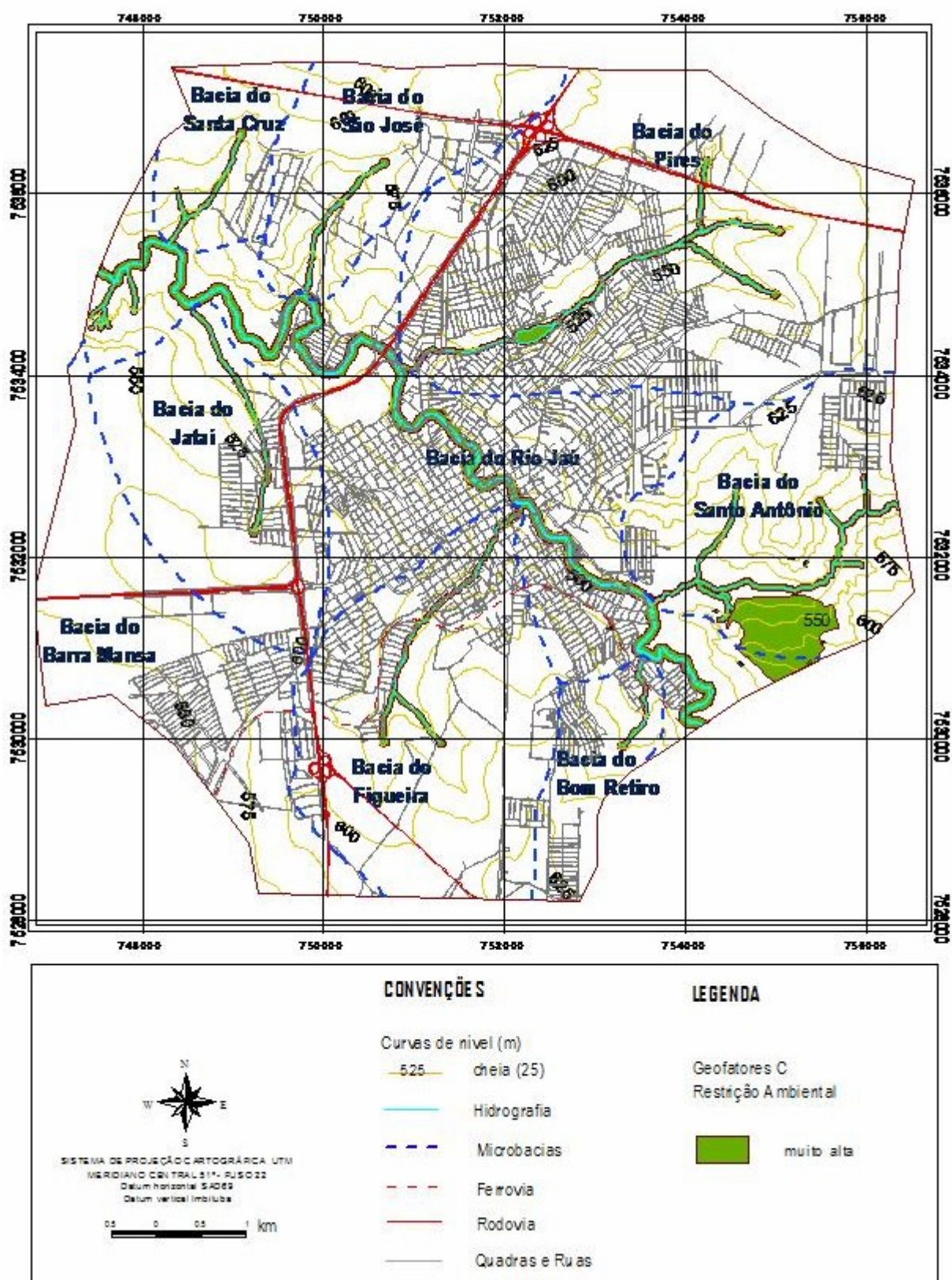


**Figura 5.30:** Mapa de 3ª Ordem dos Geofatores A – Síntese das restrições associadas aos processos da geodinâmica externa.



**Figura 5.31:** Mapa de 3ª Ordem dos Geofatores B – Síntese das restrições relativas às características do meio físico.





**Figura 5.32:** Mapa de 3ª Ordem dos Geofatores C – Síntese das restrições ambientais legais.

## 5.7. Mapa de 4ª Ordem

O mapa de 4ª Ordem representa o produto cartográfico síntese considerando simultaneamente os três grupos de geofatores A, B e C (mapas de 3ª Ordem) e foi denominado de Mapa de Restrições Geotécnicas e Ambientais.

Por ser um dos produtos cartográficos principais dentro dos objetivos propostos, ele é apresentado na escala 1:20.000, no APÊNDICE A.2.

Os níveis de restrição do grupo de geofatores B são representados neste mapa por uma escala de cores semaforicas, do verde claro (baixa restrição) ao laranja (restrição muito alta), lançadas sobre a base topográfica com o sistema viário principal e os limites das microbacias consideradas no estudo.

As áreas com restrição muito alta associadas aos geofatores C (restrições ambientais legais) são representadas pela cor branca com limite externo em vermelho e foram sobrepostas aos níveis de restrição dos geofatores B.

Como os dois grupos de geofatores A e C estão diretamente relacionados às restrições geotécnicas e ambientais predisponentes para a implantação de novos empreendimentos urbanos, foi elaborada uma Tabela síntese com as quatro classes de restrição (baixa, média, alta e muito alta) associadas a estes geofatores e as respectivas diretrizes e recomendações gerais para a sua ocupação. Esta Tabela síntese também é apresentada no mapa final de restrições geotécnicas e ambientais (APENDICE A.2, p.156).

As classes de restrições associadas ao grupo de geofatores A foram representadas por hachuras de cor preta, sem cor de fundo, sendo sobrepostas às demais classes de restrição dos geofatores B e C. estas áreas refletem o quadro atual da dinâmica dos principais processos superficiais atuantes na área estudada

(inundação, erosões lineares pluviais e escorregamentos), indicando os locais que merecem mais atenção sob o ponto de vista da implantação de medidas corretivas e mitigadoras por parte dos gestores públicos.

Para a verificação do Mapa de 4ª Ordem fez-se um levantamento de campo final, percorrendo toda a área de estudo. Esta avaliação teve por objetivo à constatação dos resultados do mapa final frente à realidade, verificando-se assim a eficiência do método utilizado. Tais observações de campo corresponderam ao objetivo referido, mostrando que as áreas apontadas no Mapa de Restrições Geotécnicas e Geoambientais representam o cenário real da área de estudo frente aos geofatores utilizados.

Nesta visita foram também locados alguns pontos de reconhecimento que constam, tanto do Mapa de Documentação (APENDICE A.1, p. 156), quanto do (APÊNDICE A.2, p.156), onde também são apresentadas cinco fotos de pontos localizados em áreas de alta e muito alta restrição.

## **6. CONCLUSÕES**

### **6.1. Área analisada e os Geofatores A**

De maneira geral, analisando-se a percentagem de área ocupada por processos muito alta restrição, a microbacia mais afetada é a do Córrego Santo Antônio, isso se deve principalmente a concentração de sulcos em uma área expressiva.

As demais microbacias possuem áreas de menor proporção para restrição muito alta, mas para a classe de alta restrição se destacam as Microbacias dos Córregos Santa Cruz e dos Pires, esta última com alta densidade a inundações.

As microbacias dos Córregos da Figueira e do São José são as que apresentam os melhores panoramas, com média de 95 % de suas áreas com baixa restrição aos geofatores A. Sendo a primeira uma microbacia já urbanizada, não possui muitas áreas com solo exposto, não tendo deflagração de processos erosivos, já as ocorrências de inundações são pequenas pelo fato de o Córrego da Figueira ter um grande trecho canalizado, o que acaba sim influenciando processos de inundação, mas que vão ser refletidos somente na Bacia do Rio Jaú (a jusante).

Já na microbacia do córrego São José os processos erosivos ocorrem, principalmente, dentro de propriedades rurais, parte com pecuária, parte com cultivo de cana-de-açúcar. Não foram constatados processos erosivos significativos e as inundações, por não afetarem os sistemas urbanos, não são cadastradas pela defesa civil.

As microbacias do Córrego Jataí e do Córrego Barra Mansa apresentam também bons resultados quanto as áreas de baixa restrição, existindo apenas ocorrências isoladas de processos, principalmente inundações, deixando aproximadamente 90% das bacias em ótima condição.

A microbacia do Rio Jaú apresenta mais de 14% de sua área total com alta e muito alta restrição, principalmente associada à elevada frequência de inundações.

## **6.2. Área analisada e os Geofatores B e C**

Analisando as microbacias frente às restrições do geofatores B nota-se que duas delas, Rio Jaú e Córrego Santo Antônio, possuem áreas pouco significativas quanto à baixa restrição, sendo cerca de 50% e 70% (respectivamente) de suas áreas totais são de alta e muito alta restrição à ocupação.

Já a microbacia do Córrego Barra Mansa apresenta aproximadamente 100% de sua área com baixa restrição, o que caracteriza a área como sendo privilegiada à expansão urbana. A microbacia do Jataí também apresenta bons resultados tendo 52,9% de áreas com baixa restrição e apenas 1% de com muito alta.

As demais microbacias apresentam percentagens distribuídas entre as 4 classes de restrição, salientando as microbacias do São José com 18,5% da área com alta restrição e a do córrego Santa Cruz com 68,5% da área com alta restrição.

Analisando o Mapa da Figura 5.32 (p. 136) e a própria Tabela 5.31 (p. 133), nota-se que a microbacia do Córrego Santo Antônio e a bacia do rio Jaú são as mais afetadas. Na primeira o principal motivo é a localização da RPPN com boa parte dentro da microbacia, já caso do rio Jaú, além de uma parte da RPPN, a faixa de APP ao longo de seu curso é o fator determinante nesta questão.

### **6.3. Área analisada e as Restrições Geotécnicas e Ambientais**

Este trabalho, no cumprimento de seus objetivos, produziu o Mapa de Restrições Geotécnicas e Geoambientais e uma base de dados bem estruturada e interativa, ambos importantes instrumentos ao planejamento urbano.

No caso do município de Jaú existem problemas geotécnicos associados às características físicas do local em que eles ocorrem, mas também existem outros ocorrendo em áreas sem predisposição para tais.

O melhor exemplo é a Microbacia do Córrego Barra Mansa, que possui restrição baixa (91,6%) e média (8,6%), no entanto apresenta problemas com processos erosivos decorrentes de ação antrópica, especificamente falha na infraestrutura de um loteamento residencial instalado na área.

Para os casos em que as características da área contribuem para deflagração de processos, temos as bacias do Córrego Santo Antonio e do Rio Jaú. Ambas possuem altas densidades de: drenagem, declividade, curvatura de encostas côncavas, além de topo rochoso raso. O rio Jaú ainda sofre processos de inundações e a presença de aluvião em toda sua extensão. Todas essas características contribuem para o aparecimento e aumento de processos

Para melhor avaliação da área estudada as análises dos resultados (por bacia) foram sintetizadas na Tabela 6.1.

Dessa forma verificou-se que as melhores áreas de expansão estão localizadas no eixo Sudoeste/Nordeste do município de Jaú, ocupando partes das microbacias dos Córregos: Barra Mansa, Figueira, Jataí, São José e Pires.

**Tabela 6.1:** Síntese das classes de restrição por Microbacia.

<b>Microbacia</b>	<b>Principais Classes de restrição ao meio-físico</b>	<b>Principais Problemas</b>
Córrego do Bom Retiro	Alta restrição.	Ocorrências de inundações.
Córrego Santo Antônio	Alta e muito alta restrições (restrição ambiental). Ao norte da bacia há favorecimento à ocupação urbana.	Processos erosivos lineares e inundações.
Córrego da Figueira	Média e alta restrição ao longo da drenagem, ao sul da bacia há áreas com baixa restrição que favorecem a ocupação.	Inundações na montante.
Córrego dos Pires	Média e baixa restrições predominam (Norte e Nordeste) tendo alta restrição ao longo da drenagem.	Ravinas e inundações.
Córrego São José	Áreas de baixa e média restrições ao norte da bacia, e altas e muito altas à jusante.	Inundações.
Córrego Santa Cruz	Áreas de baixa e média restrições, ao norte da bacia, e altas à jusante.	Ravinas e escorregamentos na parte nordeste da bacia.
Córrego Jataí	Predomínio de baixa e media restrição, alta somente ao longo da drenagem. Favorável à ocupação na porção sudoeste.	Inundações na montante da bacia.
Rio Jaú	Predomínio de alta e muito altas restrições, grande área com restrição ambiental. Tendo alguns locais com média restrição afastados da drenagem entre as microbacias da Figueira e do Jataí	Inundações. Ocupação quase integral da APP.
Córrego da Barra Mansa	Predomínio de baixa restrição. Sendo praticamente toda a bacia favorável à ocupação.	Escorregamentos.

#### 6.4. Métodos, Base de Dados e Mapas

Os resultados produzidos com a utilização do conceito de geofatores e de mapas de diferentes ordens, aliado ao emprego de SIG, foram avaliados segundo os objetivos propostos nesta pesquisa, destacando-se a produção de um instrumento para subsidiar o planejamento e a gestão urbana em questões do meio físico, aspectos geotécnicos e ambientais.

O conceito de geofatores é um importante auxiliar na compreensão e análise das restrições geotécnicas e ambientais potenciais, principalmente, em ações técnicas que envolvem conhecimentos e profissionais multidisciplinares, condição característica das ações de planejamento urbano e territorial. Mas seu uso deve ser muito bem estruturado sempre levando em consideração as características da área estudada e os objetivos do trabalho.

Assim o modelo apresentado aqui, poderá ser utilizado para outros municípios, desde que, haja definição dos geofatores, que não são necessariamente os mesmos utilizados para o caso do município de Jaú, e também a ponderação dos pesos em relação as ocorrências e características do local.

Além dos mapas de 2<sup>a</sup>, 3<sup>a</sup> e 4<sup>a</sup> Ordem produzidos, a própria base de dados georreferenciada e as ferramentas de análise espacial disponíveis no SIG, permitem a atualização e a elaboração dos novos cenários (mapas), podendo ser bastante úteis aos gestores municipais.

A distribuição dos produtos cartográficos (mapas) em diferentes ordens, em função do grau de tratamento e da interpretação do dado espacial obtido representado, permite uma melhor compreensão e a utilização otimizada por profissionais de diferentes formações.

A utilização de microbacias como unidade de análise, ponderando-se as áreas de ocorrência dos diferentes níveis de restrição geotécnica e ambiental, favorece a espacialização dos resultados e a quantificação preliminar de áreas mais ou menos favoráveis aos empreendimentos urbanos.

A conjugação de dados secundários existentes (investigações geotécnicas, registros da Defesa civil (municipal) e dados primários produzidos durante a pesquisa resultaram numa densidade de amostragem de 3,25 pontos por km<sup>2</sup>,



considerada adequada para mapeamentos geotécnicos na escala 1:10.000 (Zuquette, 1987).

A utilização de diferentes SIG e programas de desenho digital (*CADMap*) no desenvolvimento da pesquisa reflete uma tendência atual de uma interatividade crescente entre estas ferramentas computacionais, reforçando o argumento de seu uso no planejamento urbano e municipal, pois permitem que os dados digitais armazenados sejam utilizados por uma gama maior de aplicativos, deixando mais alternativas de escolha e otimização de investimentos por parte do Poder Público.

## **6.5. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

A aplicação da metodologia utilizada inicialmente por Matula (1976), fortalece as relações urbano-ambientais, ao considerar os geofatores determinantes na elaboração de classes de restrição à ocupação.

Este método se mostrou eficaz, tanto no uso de programas de SIG, por apresentar versatilidade e interatividade, quanto nos resultados finais obtidos, por estarem coerentes com o quadro atual no município. Mas a sua aplicação no território brasileiro deve ser cuidadosa ao se definir os geofatores e a forma de ponderação dos mesmos.

Neste trabalho optou-se por ponderá-los por grupos A e B, separadamente, quando se verificou que os processos (geofator A) nem sempre estavam relacionados diretamente com as características do meio físico (geofator B), sendo muitas vezes resultados de ações antrópicas.

É importante ressaltar que as avaliações de dados geotécnicos e ambientais nunca terminam, o planejador pode através dos dados já cadastrados inserir novas informações e agregar outros tipos de análises.

Os produtos finais desenvolvidos nesta pesquisa são importantes instrumentos auxiliares para o planejamento urbano e ambiental no município de Jaú, esta mesma estrutura poderá ser utilizada em outros municípios que sejam passíveis da aplicação desta metodologia de mapeamento.

Os dados obtidos podem ser explorados para outras análises, cabendo ao poder público utilizar tais informações para novas propostas e alternativas, como: a análise do Mapa de 4ª Ordem para o planejamento urbano, definindo os tipos de ocupação para cada área, ou ainda novas interações dos dados de das investigações geotécnicas para obtenção de mapas de resistência e capacidade para fundações.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANTONIE P. *Réflexions sur la cartographie Zermos et bilan des expériences en cours.*. Bull. B.R.G.M. 1977, 2<sup>a</sup> série, section III, n<sup>o</sup> 1/2,p.9-20.

AGUIAR, A. D. C. **Mapeamento geotécnico da folha de Conchal – SP: escala 1:50.000.** Dissertação de Mestrado. EESC/USP, São Carlos/SP. 1995

AGUIAR, R. L. **Mapeamento geotécnico da área de expansão urbana de São Carlos – SP: contribuição ao planejamento.** Dissertação de Mestrado. EESC/USP, São Carlos/SP. 1989.

AGUIAR, R. L. **Zoneamento geotécnico geral do Distrito Federal: procedimentos metodológicos e sua inserção na gestão ambiental.** Tese de Doutorado. EESC/USP, São Carlos/SP. 1997.

ALBRECHT, K. J. **Mapeamento geotécnico preliminar da região de Águas de Lindóia – escala 1: 50.000.** Dissertação de Mestrado. EESC/USP, São Carlos/SP. 1992.

ALMEIDA, L. E. G. **Mapeamento geotécnico de Casa Branca (SP): ênfase no uso da técnica de avaliação de terrenos e perfis típicos de materiais inconsolidados.** Dissertação de Mestrado. EESC/USP, São Carlos/SP. 2000.

ANDOLFATO, D. M. **Racionalização do transporte público coletivo da cidade de Jaú. Dissertação de Mestrado.** EESC/USP, São Carlos/SP. 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **Grãos de solos que passam na peneira de 4,8 mm - Determinação da massa específica.** NBR6508/MB28. 1984. ABNT. 8p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **Rochas e solos.** NBR7181/MB32. 1995. ABNT. 18p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **Solo - Determinação do limite de liquidez.** 1984. NBR6459/MB30. ABNT. 6 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **Solo - Determinação do limite de plasticidade.** 1984. NBR6459/MB31. ABNT. 3 p.

BACHION, M. L. **Mapeamento geotécnico das áreas urbana e de expansão urbana da região sudoeste do município de Campinas – SP: escala 1:25.000.** Dissertação de Mestrado. EESC/USP, São Carlos/SP. 1997.

BARBOSA, B. R. **Plano viário e de trânsito para a cidade de Jaú. Dissertação de Mestrado.** EESC/USP, São Carlos/SP. 2005.

BARISON, M. R. **Mapeamento geotécnico regional da quadricula de Amparo-SP, escala 1:50.000: com base na análise de landforms e de perfis típicos de alteração.** Dissertação de Mestrado. EESC/USP, São Carlos/SP. 1995.

BITAR, O. Y.; CERRI, L. E. S.; NAKAZAWA, V. A. **Carta de risco geotécnico e carta geotécnica: uma diferença a partir de casos em áreas urbanas no Brasil.** In. 2º Simpósio Latino-Americano sobre Risco Geológico Urbano, Pereira. 1992.

BORGES, D. J.S. **Zoneamento geotécnico geral da folha de Americana: escala 1:50.000.** Dissertação de Mestrado. EESC/USP, São Carlos/SP. 2003.

BOTTARI, T. S. **Gestão Ambiental e Planejamento Municipal: articulações e critérios necessários para a produção de cidades sustentáveis.** Dissertação de Mestrado. EESC/USP. São Carlos/SP. 2005.

BROLLO, M. J. **Mapeamento geotécnico da quadricula de Araras – SP: escala 1:50.000.** Dissertação de Mestrado. EESC/USP, São Carlos/SP. 1991.

BRASIL Lei N<sup>o</sup>. *Lei N<sup>o</sup>. 6.766, de 19 de dezembro de 1979. Dispõe sobre o parcelamento do solo urbano e dá outras providências.* Brasília – DF. 1979. Disponível:<http://www6.senado.gov.br/legislacao/ListaPublicacoes.action?id=125757>, Acesso em: 13/11/2007.

BRASIL Lei N<sup>o</sup>. *Lei N<sup>o</sup>. 7.803, de 18 de julho de 1989. Altera a redação da Lei n<sup>o</sup> 4.771, de 15 de setembro de 1965.* Brasília – DF. 1989. Disponível: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/l4771.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l4771.htm), acesso em 27/02/2007.

BRASIL Decreto n.º1.922 , de 5 junho de 1996. **Legislação das Reservas Particulares – Projeto IBAMA/RPPN.** 1996. Brasília-DF. Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/siucweb/quiadechefe/guia/lei.doc>, acesso em 27/02/2007.

BUENO, B. S.; VILAR O. M. **Mecânica dos Solos.** Apostila de aula. Vol.1.Departamento de Geotecnia. EESC/USP. 1980. São Carlos.

CALIJURI, M. L. **Sistemas de Informações Geográficas. Desenvolvimento Sustentado: problemas e estratégias.** Editora EESC/USP, São Carlos/SP. 2000. p. 275-283.

CAMARA, G. CASANOVA, M. A.; HEMERLY, A. S.; MAGALHÃES, G. C.; MEDEIROS, C. M.B. **Anatomia de Sistemas de Informação Geográfica.** 10º Escola de Computação, UNICAMP, Campinas/SP. 1996.

CARDOSO, A. B. F. **Mapeamento geotécnico do município de Limeira – Sp.** Dissertação de Mestrado. EESC/USP, São Carlos/SP. 1993.

CERRI, L. E. S.; MACEDO, E. S.; AUGUSTO FILHO, O. **Risco geológico: uma nova área de atuação da Geologia de Engenharia no Brasil**. In: 6 °Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia. Salvador/BA. 1990. ABGE v.1,p 319-325.

CERRI, L. E. S.; PAULA, J. P. L. **Carta geológico-geotécnica de área para planejamento urbano do solo no município de Rio Claro (SP), na escala 1:10.000**. In: 5 ° Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental, São Carlos/SP .2004.ABGE, p 31-40.

COELHO, A. M. L. G. **A cartografia geotécnica no planejamento regional e urbano: experiência de aplicação na região de Setúbal**. Especialização no Laboratório Nacional de engenharia Civil, Lisboa-Portugal. 1980.

COLLAÇO, D. L. **Caracterização geológico-geotécnica do município de São Leopoldo para fins de planejamento como subsídio ao Plano Diretor**. Dissertação de Mestrado. EESC/USP, São Carlos/SP. 2003.

COLLARES, E. G. **Mapeamento geotécnico da quadricula de Bragança Paulista (escala 1:50.000): ênfase nos materiais inconsolidados**. Dissertação de Mestrado. EESC/USP, São Carlos/SP. 1994.

COSTA, T. C. D. **Mapeamento geotécnico da porção NE de Campinas-SP, escala 1:25.000**. Dissertação de Mestrado. EESC/USP, São Carlos/SP. 1996.

COULON, F. K. **Mapa geotécnico das folhas de Morretes e Montenegro – RS**. Dissertação de Mestrado, Porto Alegre/RS. 1973.

COUTINHO, R. Q.; SILVA, J. M.; TEIXEIRA, D. C. L.; GENEVOIS, B. B. P.; FERREIRA, S. R. M.; GUSMÃO, A. D.; AZEVEDO, J. **Carta geotécnica da cidade do Recife**. In: 6 ° Congresso Brasileiro de Geológica de Engenharia. ABGE, Salvador/BA.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo. Ed. Blucher. 2ª ed. 1980. 178p.

DE MIO, G.; **Mapeamento geotécnico da quadricula de Mogi-Guaçu – SP**. Dissertação de Mestrado. EESC/USP, São Carlos/SP. 1992.

DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA DO ESTADO DE SÃO PAULO – DAEE. **Mapa Geológico – Folha Bauru. Escala 1:250.000**. DAEE. São Paulo/SP. 1982.

FERRANTE, J. E. T. **Mapeamento geotécnico regional da bacia do alto Jacaré-Guaçu/SP com base nas aplicações de técnicas de sensoriamento remoto e sistema geográfico de informação**. Dissertação de Mestrado. EESC/USP, São Carlos/SP. 1990.

FONTES, S. B. **Mapeamento geotécnico com ênfase em erosões no município de Ouro Preto – MG**, escala 1:5.000. Dissertação de Mestrado. EESC/USP, São Carlos/SP. 1999.

GODOY, M.C.T.F. **Mapeamento geotécnico preliminar da região urbana de Presidente Prudente-SP: escala 1/25000**. Tese de mestrado. EESC/USP, São Carlos/SP. 1989.

GRANT, K. (1970) **Terrain Classification for Engineering Purpose of Mare Area, South Australia**, CSIDO Australia, Division of Soil Mechanics, Technical paper n° 4, 5, 6 and 7.

GREHS, S. A. **A importância do geólogo no estudo preventivo de escorregamentos, deslizamentos e outros aspectos correlatos**. In: 21° Congresso Brasileiro de Geologia. SBG, Curitiba/PR. 1967. p 119-123.

GRUBER, G. A. G. **Mapeamento geotécnico da folha de Cosmópolis – SP**. Dissertação de Mestrado. EESC/USP, São Carlos/SP. 1993.

INTERNATIONAL ASSOCIATION OF ENGINEERING GEOLOGY – IAEG. Commission on Engineering Geological Maps. **Engineering geological maps: guide to their preparation**, Paris: UNESCO. 1976. 79p. Earth Sciences, 15.

INSTITUTO GEOGRÁFICO E CARTOGRÁFICO - IGC. **Folhas Jaú I, II, III e IV**. 1980. Escala 1:10.00.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO - IPT. **Carta Geotécnica dos morros de Santos e São Vicente: condicionantes do meio físico para o planejamento da ocupação urbana (escala 1:2.000)**. 1980. IPT – São Paulo/SP. 31 p.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS **Banco de Dados Sobre Movimentos de Massa Catastróficos em Petrópolis entre 1940 e 1990**. 1991. São Paulo.

LEONELLI, G. C. V. **Da Gleba ao lote: dinâmica e produção da insustentabilidade ambiental urbana**. Dissertação de Mestrado. EESC/USP, São Carlos/SP. 2003.

LIMA, A. M. M.; **Mapeamento geotécnico da porção média da bacia do Rio Capivari/SP, escala 1:50.000: estudo e caracterização dos aspectos físicos de bacias hidrográficas**. Dissertação de Mestrado. EESC/USP, São Carlos/SP. 2000.

LIMA, R.G. **Mapeamento Geotécnico da Área de Expansão Urbana da Região Sudeste do Município de Campinas-SP - Escala - 1:25.000.** Dissertação de Mestrado. EESC/USP, São Carlos/SP. 1997.

LIPORACI, S. R. **Procedimentos e metodologias de mapeamento geotécnico: aplicados na cidade e parte do município de Poços de Caldas – MG, escala 1:25.000, visando o planejamento do uso e ocupação do meio físico.** Dissertação de Mestrado. EESC/USP, São Carlos/SP. 1994.

LIPORACI, S.R; ROHM, S. A. **Mapas geológicos e pedológicos da bacia do Rio Monjolinho na escala 1:10.000, para a região da cidade de São Carlos (SP). Uma contribuição às novas diretrizes do plano diretor e à gestão.** In: 5º.Simpósio de Cartografia Geotécnica e Geoambiental. São Carlos/SP. 2004. ABGE. p.23-30.

LOLLO, J. A.; **Mapeamento geotécnico da folha de Leme-SP: utilização da geomorfologia para a caracterização preliminar de unidades geotécnicas.** Dissertação de Mestrado. EESC/USP, São Carlos/SP. 1991.

LOLLO, J. A.; **Uso da técnica de avaliação de terreno no processo de elaboração do mapeamento geotécnico sistematizado e aplicação na quadricula de Campinas.** Tese de Doutorado. EESC/USP, São Carlos/SP. 1996.

LOLLO, J. A. & ZUQUETTE, L. V. **Avaliação do terreno aplicada ao mapeamento geotécnico.** Apostila EESC/USP, São Carlos/SP. 2005.

MACARI, R.; **Mapeamento geotécnico da porção NE de Campinas-SP, escala 1:25.000.** Dissertação de Mestrado. EESC/USP, São Carlos/SP. 1996.

MACHADO Jr, D. M.; **Apostila de geodésia.** [geodesia.ufsc.br/Geodesia](http://geodesia.ufsc.br/Geodesia) – online arquivo /cobrac \_2004/02.pdf acesso em 30/12/2007

MASCARÓ, J. L.; MASCARÓ, L. **Densidade, Ambiência e Infra-estrutura Urbana.** Texto especial 102, Vitruvius Arquitextos. 2001.

MACIEL FILHO, C. L. **Caracterização geotécnica das formações sedimentares de Santta Maria, RS.** Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro/RJ. 1978.

MATHEWSON, C. & FONT, R. G. **Geologic environment: forgotten aspects in the land use planning process.** The Geological Society of America U. S. A., engineering geology. Case histories, boulden, 1974. (10) p 23-28.

MATULA, M. **Principles and types of engineering geological mapping.** Report of the omission on engineering geological mapping. Bulletin the International Association of Engineering Geology. 1976. (24) p 227-234.

MENDES, R. M. **Mapeamento geotécnico da área central urbana de São José do Rio Preto (SP) na escala 1:10.000 como subsidio ao planejamento urbano.** Dissertação de Mestrado. CCET/UFSCar, São Carlos/SP. 2001.

MOORE, I. D.; GRAYSON, R. B.; LADSON, A. R. **Digital terrain modeling: a review of hydrological, geomorphological and biological applications.** Hydrological Processes, 1991. v.5, p.3-30.

MOREIRA, E. C. & ZUQUETTE, L. V. **Revisão Bibliográfica: Sistemas de Informação Geográfica aplicados ao mapeamento geotécnico.** In: Congresso Brasileiro de Geologia, 37, São Paulo. 1992. v.2, p 222.

MOTA, S. (1999) **Urbanização e Meio Ambiente.** Rio de Janeiro, ABES.

MURO, M. D. **Carta de zoneamento para seleção de áreas frente à instalação de aterros sanitários no município de São Carlos – Sp: escala 1:50.000.** Dissertação de Mestrado. EESC/USP, São Carlos/SP. 2000.

NISHIYAMA, L. **Mapeamento geotécnico preliminar da quadricula de São Carlos-SP.** Dissertação de mestrado. EESC/USP, São Carlos/SP. 1991.

NISHIYAMA, L. **Procedimentos de mapeamento geotécnico como base para análise e avaliações ambientais do meio físico em escala 1:100.000 aplicação no município de Uberlândia – MG.** Tese de Doutorado. EESC/USP, São Carlos/SP. 1998.

OLIVEIRA, I. C. E. **Estatuto da Cidade: para compreender.** Rio de Janeiro. IBAM/DUMA. 2001.

PALANCA, R.T.S. & KOFFLER, N.F. **Avaliação agrícola das terras da bacia do Rio Jaú (SP) através das técnicas de geoprocessamento.** Fundação Educacional “Dr. Raul Bauab de Jaú/Sp”. Faculdade de Filosofia Ciências e Letras, Jaú/SP. 1996.

PARIZI, C. C. **Metodologia para avaliação de áreas para implantação de empreendimentos habitacionais de interesse social baseada em análise multi-critério e cartografia geotécnica.** Dissertação de Mestrado. IPT, São Paulo/SP. 2003.

PRANDINI, F. L.; GUIDICINI, G.; GREHS, S. A. **Geologia ambiental ou de planejamento.** In: 28º Congresso Brasileiro de Geologia. SBG, Portão Alegre/RS. 1974.

PRANDINI, F.L.; NAKAZAWA, V.A.; FREITAS, C.G.L.; DINIZ, N.C. **Cartografia geotécnica nos planos diretores regionais e municipais.** Curso de Geologia



aplicada ao meio ambiente. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia: Instituto de Pesquisas Tecnológicas. 1995. São Paulo. p. 187-202.

PEJON, O. J. **Mapeamento geológico-geotécnico da folha de Piracicaba/SP. Estudos de aspectos metodológicos, de caracterização e de apresentação dos atributos.** São Carlos: EESC/USP. Tese de Doutorado. 1992.

PONÇANO, W.L.; CARNEIRO, C.D.R.; ALMEIDA, F.F.M.; PRANDINI, F.L. **Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo.** São Paulo: IPT, 1981. 94 p.

PONS, N. A. D. **Levantamento e diagnóstico geológico-geotécnico de áreas degradadas na cidade de São Carlos-SP, com auxílio de geoprocessamento.** Tese de Doutorado. São Carlos, USP São Carlos, 2006. 2v., 326p.

PONÇANO, W.L.; CARNEIRO, C.D.R.; ALMEIDA, F.F.M.; PRANDINI, F.L. **Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo.** 1981. São Paulo: IPT, 1981. 94 p.

RAMPAZZO, L. **Metodologia científica – para alunos dos cursos de graduação e pós-graduação.** Editora Edições Loyolla, 2002.

ROMÃO, M. N. P. V. **Qualidade no transporte público urbano por ônibus na cidade de Jaú.** Dissertação de Mestrado. EESC/USP, São Carlos/SP. 2002.

SANTOS, R, F. **Planejamento Ambiental: Teoria e Prática.** Ed. Oficina de Textos. São Paulo/SP. 2004. 184p.

SANEJOUAND, R. **La cartographie géotchnique em France.** Ministère de L'Equipement et du Langement. 1972. DAFU, Paris/França.

SÃO PAULO. **Plano Estadual de Recursos Hídricos.** 2004. São Paulo – Conselho Estadual de Recursos Hídricos. Disponível: [ftp://ftp.sp.gov.br/ftpcomitepci/PERH/04-07\\_UGRHI-13.pdf](ftp://ftp.sp.gov.br/ftpcomitepci/PERH/04-07_UGRHI-13.pdf) . Acesso em 07.07.2007.

SILVA, A.B. **Sistemas de Informações Geo-referenciadas: Conceitos e fundamentos.** Ed. UNICAMP. Campinas/SP. 1999. 240p.

SARAIVA, R. M. **Mapeamento geotécnico da folha de Socorro com base na análise das formas de relevo (landform).** Dissertação de Mestrado. EESC/USP, São Carlos/SP. 1995.

SEIGNEMARTIN, C. L. **Geologia de áreas urbanas: o exemplo de Ribeirão Preto – SP.** Tese de Doutorado, Instituto de Geociências/USP, São Paulo/SP. 1979.

SILVA, A.B. **Sistemas de Informações Geo-referenciadas: Conceitos e fundamentos.** Campinas. Editora da UNICAMP. Campinas/SP. 1999.

SOARES, S. R. **Avaliação Ambiental de Sistemas. Apostila: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental.** Universidade Federal Santa Catarina, Florianópolis/SC. 2003.

SOUZA, A. M. **Caracterização florística de ecounidades na Estação Amadeu Botelho localizada no município de Jaú-SP.** Dissertação de Mestrado. ESALQ/USP. Piracicaba/SP. 2000.

SOUZA, A. M.; CREMONESI, F.L; **Jaú – Imagens de em Rio!** ESALQ/USP, Piracicaba/SP. 2004.

SOUZA, M. L. **Mapeamento geotécnico da cidade de Ouro Preto/MG.** Dissertação de Mestrado. EESC/USP, São Carlos/SP. 1996.

SOUZA, N. M. **Contribuição à cartografia Geotécnica com uso de geoprocessamento: sensoriamento remoto e sistema de informação geográfica.** Tese de Doutorado. EESC/USP, São Carlos/SP. 1994.

SOUZA, N.D.C.V. **Mapeamento geotécnico regional da folha de Aguaí: com base na compartimentação por formas de relevo e perfis de alteração.** Dissertação de mestrado. EESC/USP, São Carlos/SP. 1992.

TUNDISI J. G. **Desenvolvimento Sustentado: problemas e estratégias.** Capítulo 1. EESC/USP. São Carlos/SP. P. 04.

VAZ, L.F. **Classificação genética dos solos e dos horizontes de alteração de rocha em regiões tropicais.** Revista Solos e Rochas, São Paulo. 1996. v. 19:2 p. 117-136.

VECCHIATO, A. B. **Mapeamento geotécnico da área urbana de Cuiabá-MT (escala 1:25.000).** Tese de Doutorado. EESC/USP, São Carlos/SP. 1993.

VENIZIANI JUNIOR, J. C. T. **Utilização de índices de vegetação para estimativa da proteção do solo pela cobertura vegetal: uma contribuição para o uso da equação universal das perdas de solo.** Dissertação de Mestrado. UNESP/Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro/SP. 2003.

ZAINE, J. E. **Mapeamento geológico-geotécnico por meio do método do detalhamento progressivo: ensaio de aplicação na área urbana do município de Rio Claro (SP).** IGCE, Rio Claro/SP. 2000.

ZUQUETTE. L.V. **Análise crítica sobre cartografia geotécnica e proposta metodológica para as condições brasileiras.** Tese de doutorado. EESC/SP, São Carlos/SP. 1987.

ZUQUETTE. L.V. **Importância do mapeamento geotécnico no uso e ocupação do meio-físico: fundamentos e guia para elaboração.** Tese de livre docência. EESC/USP, São Carlos/SP. 1993.

ZUQUETTE. L.V.; GANDOLFI, N. **Mapeamento geotécnico: uma proposta metodológica.** Artigo de Periódico. Revista Geociências, v.9, p.55-66, 1990.

ZUQUETTE. L.V.; GANDOLFI, N. **Cartografia geotécnica.** Ed. Oficina de Textos, São Paulo/SP. 2004.

ZUQUETTE, L. V.; NAKAZAWA, V. A. **Cartas de Geologia de Engenharia, Geologia de Engenharia – ABGE,** editora Oficina de Textos, São Paulo/SP. 1998. p 283-300.

## **APÊNDICE A: MAPAS**