

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
CAMPUS DE SÃO CARLOS

**ESTUDO DOS ATRIBUTOS DO MEIO FÍSICO COMO BASE
PARA O ZONEAMENTO GEOAMBIENTAL DA REGIÃO DE
INFLUÊNCIA DO RESERVATÓRIO DA USINA
HIDROELÉTRICA DE CACONDE (SP), ESCALA: 1:50.000, COM
USO DE GEOPROCESSAMENTO**

Holden Robson de Amorim

Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, para concorrer ao Título de Mestre, pelo curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil – Área de concentração: Geotecnia.

São Carlos

2003

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
CAMPUS DE SÃO CARLOS

**ESTUDO DOS ATRIBUTOS DO MEIO FÍSICO COMO BASE
PARA O ZONEAMENTO GEOAMBIENTAL DA REGIÃO DE
INFLUÊNCIA DO RESERVATÓRIO DA USINA
HIDROELÉTRICA DE CACONDE (SP), ESCALA: 1:50.000, COM
USO DE GEOPROCESSAMENTO**

Holden Robson de Amorim

Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, para concorrer ao Título de Mestre, pelo curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil – Área de concentração: Geotecnia.

Orientador: Prof. Dr. Osni José Pejon

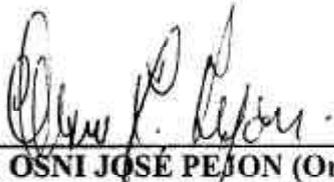
São Carlos

2003

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidato: Geólogo **HOLDEN ROBSON DE AMORIM**

Dissertação defendida e julgada em 19-05-2003 perante a Comissão Julgadora:



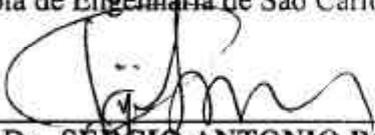
Prof. Assoc. **OSNI JOSÉ PEJON (Orientador)**
(Escola de Engenharia de São Carlos/USP)

Aprovado



Prof. Tit. **NILSON GANDOLFI**
(Escola de Engenharia de São Carlos/USP)

Aprovado



Prof. Dr. **SÉRGIO ANTONIO RÖHM**
(Universidade Federal de São Carlos/UFSCar)

Aprovado



Prof. Assoc. **LAZARO VALENTIN ZUQUETTE**
Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Geotecnia



Prof. Assoc. **MARIA DO CARMO CALIJURI**
Presidente da Comissão de Pós-Graduação da EESC

**Aos meus pais, Pedro e Suely
Amorim, e ao meu irmão Rafael
Amorim.**

AGRADECIMENTOS

A DEUS por sua presença constante em minha vida, dando-me saúde e principalmente sabedoria nos momentos que mais preciso.

Aos meus pais, Pedro e Suely Amorim, e ao meu irmão Rafael Amorim por preencherem de amor o coração do seu filho e irmão que tão longe esteve de casa.

Ao professor Dr. Osni José Pejon pela amizade, dedicação, estímulo e a rica orientação conferida.

A Lidiane Freire por seu amor e por sempre me fazer acreditar que conseguiria conquistar meus objetivos na vida.

Ao geólogo Msc. Jaime Colares e aos professores Dr. Nilson Gandolfi e Dr. César Veríssimo pela amizade e pelo auxílio no ingresso no programa de pós-graduação da USP.

Aos amigos que deixei em Fortaleza e que não esqueceram do amigo em São Carlos: Cláudio Petroccelli, Gustavo Moser e Ulisses Júnior.

Aos primeiros amigos que fiz na cidade, Wilson Cartaxo e Fábio Lopes, pela amizade e companheirismo.

Aos amigos, moradores da República Tijolinho, também pela amizade e companheirismo: Éverton (“Monstro”), João Fernando, Tibério (“Tibas”), Fábio Lavor (“Fabão”), Jorge, Iran, Vinícius, Carlos Alberto (“Kaito”), Douglas, André Coelho (“Jabuti”), André (“Andrezão”) e Alisson.

Aos amigos, também moradores do Tijolinho, Sérgio Brasil (“Bolacha”) e Sérgio Siebra (“Tio Roy”) pela enorme amizade e generosidade.

A Jocy (“Moagem”), Kleber (“Baiano”) e Luiz Barras também pelo mesmo motivo: amizade e generosidade.

A Helano Fonteles, grande amigo e conselheiro, pela ajuda e amizade em todos os momentos tanto em Fortaleza quanto em São Carlos.

As minhas amigas Sara Fernanda e Indira Macambira pela grande amizade e por sempre estarem dispostas a ouvir o amigo.

A Silvana Brandão pela amizade e enorme ajuda no desenvolvimento dessa dissertação.

Aos amigos da Geo: Dirlene, Célio, Vinícius, Maurício, Paulo Maurício, Domingos, Jânio, Leonardo, Juliana, Gracinete (“Gracy”) e Rogério.

Ao “povo” do SHS: Geovani (“Cabeludo”), Romeu (“Tapuru”), Leonardo, Aurélio (“Besta”), Hélio (“Negão”) e João (“Deformado”).

Aos professores do Departamento: Zuquette, Paraguassu, Zé Eduardo e Orêncio.

A USP e a CAPES pela excelente infra-estrutura e apoio financeiro para realização desse mestrado.

Enfim, a todos aqueles que participaram da minha vida nesse período, dos quais muitos me farão sentir saudades ...

Foi numa cidade do interior de São Paulo
São Carlos ...

*(Trecho inicial da canção “A Miragem”,
composta pela República Tijolinho, que conta
a árdua trajetória de um estudante de
mestrado da USP de São Carlos)*

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	i
LISTA DE TABELAS.....	vi
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS.....	xii
LISTA DE SÍMBOLOS.....	xiii
RESUMO.....	xiv
SUMMARY / ABSTRACT.....	xv
1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Objetivos.....	2
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	3
2.1 Bacias Hidrográficas.....	3
2.1.1 Definição, Tipos e Padrões de Drenagem.....	3
2.1.2 A Bacia Hidrográfica como Limite Territorial para o Planejamento e Gerenciamento Ambiental.....	6
2.2 Estudos Geoambientais.....	9
2.2.1 Motivações.....	9
2.2.2 Desenvolvimento Sustentado e Gestão Ambiental.....	10
2.2.3 Geoambiente e a Ação Antrópica.....	14
2.2.4 Exemplos de Metodologias Desenvolvidas em Estudos Geoambientais....	16
2.3 Geoprocessamento.....	26
2.3.1 Sistemas de Informação Geográfica.....	26
2.4 Análise de Agrupamentos de Informações Geoambientais (Cluster Analysis).....	31
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	32

3.1 Métodos de Trabalho.....	32
3.1.1 Trabalhos de Gabinete.....	32
3.1.2 Trabalhos de Campo.....	35
3.1.3 Trabalhos de Laboratório.....	35
3.2 Materiais Utilizados.....	37
4 CARACTERIZAÇÃO GERAL DA ÁREA EM ESTUDO.....	39
4.1 Localização, Tamanho da Área e Acesso.....	40
4.2 Clima.....	41
4.3 Vegetação.....	41
4.4 Solos.....	41
4.5 Geomorfologia.....	41
4.6 Geologia Regional.....	42
4.7 Aspectos Sócio-econômicos.....	43
5 OBTENÇÃO DOS DADOS, TRATAMENTO E ANÁLISE DAS INFORMAÇÕES.....	44
5.1 Documentos Cartográficos Elaborados.....	44
5.1.1 Mapa de Documentação.....	44
5.1.2 Carta de Declividades.....	46
5.1.3 Mapa de Substrato Rochoso.....	53
5.1.4 Mapa de Materiais Inconsolidados.....	61
5.1.5 Mapa de <i>Landforms</i>.....	89
5.1.6 Mapa de Uso e Ocupação.....	111
5.1.7 Carta de Potencial Agrícola.....	118
5.2 Sistemas de Bancos de Dados Associados aos Documentos Cartográficos Produzidos em Ambiente SIG.....	128
5.2.1 Construção do Banco de Dados Baseados em Registros Pontuais.....	129
5.2.2 Construção do Banco de Dados a Partir dos Documentos Cartográficos Elaborados.....	130
5.2.3 Alguns Exemplos de Operações que Podem Ser Realizadas Utilizando os Bancos de Dados e os Documentos Cartográficos Produzidos.....	131
6 CARTA DE ZONEAMENTO GEOAMBIENTAL.....	138

6.1 Definição e Finalidades da Carta de Zoneamento Geoambiental.....	138
6.2 Elaboração da Carta de Zoneamento Geoambiental.....	138
6.3 Análise das Aptidões e das Situações de Uso e Ocupação do Meio Físico nas Unidades Geoambientais.....	147
6.3.1 Aptidões do Meio Físico nas Unidades Geoambientais.....	147
6.3.2 Situação do Uso e Ocupação do Meio Físico nas Unidades Geoambientais.....	149
7 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	159
7.1 Conclusões.....	159
7.1.1 Quanto a Metodologia de Zoneamento Geoambiental.....	159
7.1.2 Quanto ao Geoprocessamento das Informações.....	160
7.1.3 Quanto aos Resultados Obtidos no Zoneamento Geoambiental.....	160
7.2 Recomendações.....	161
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	162
ANEXO I – MAPA DE DOCUMENTAÇÃO	
ANEXO II – CARTA DE DECLIVIDADES	
ANEXO III – MAPA DE SUBSTRATO ROCHOSO	
ANEXO IV – MAPA DE MATERIAIS INCONSOLIDADOS	
ANEXO V – MAPA DE <i>LANDFORMS</i>	
ANEXO VI – MAPA DE USO E OCUPAÇÃO	
ANEXO VII – CARTA DE POTENCIAL AGRÍCOLA	
ANEXO VIII – CARTA DE ZONEAMENTO GEOAMBIENTAL	
ANEXO IX – RELAÇÃO ENTRE AS UNIDADES DE TERRENO E OS DIVERSOS ATRIBUTOS DO MEIO FÍSICO LEVANTADOS	
ANEXO X – RELAÇÃO ENTRE AS UNIDADES GEOAMBIENTAIS E OS DIVERSOS ATRIBUTOS DO MEIO FÍSICO LEVANTADOS	

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 2.1	Bacia hidrográfica, fluxos e transformações de energia, água e sedimentos.....	4
FIGURA 2.2	Disposição espacial dos principais tipos de padrão de drenagem (Fonte: Christofolletti, 1974).....	5
FIGURA 2.3	Principais usos do solo e possíveis interferências nos recursos hídricos (Fonte: Pires & Santos, 1995).....	7
FIGURA 2.4	Representação esquemática das relações e interações no geoambiente (Modificado de Aswathanarayana, 1995).....	15
FIGURA 2.5	Carta de aptidão a disposição de resíduos sólidos (Fonte: Dai <i>et al.</i>, 2001).....	19
FIGURA 2.6	Cartas geotécnicas produzidas para a região de Piracicaba (SP).....	24
FIGURA 2.7	Cartas geotécnicas produzidas para as bacias dos Rio Passa Cinco e Rio da Cabeça, ambos afluentes da margem direita do Rio Corumbataí (SP).....	25
FIGURA 2.8	Estrutura geral de sistemas de informação geográfica. (Fonte: Davis & Câmara, 1999).....	28
FIGURA 3.1	Fluxograma mostrando as diversas interações entre as etapas de trabalho executadas na pesquisa.....	34
FIGURA 3.2	Ficha de campo utilizada na pesquisa.....	36
FIGURA 4.1	Localização da área em estudo.....	40
FIGURA 5.1	Etapas seguidas para a construção do Mapa de Documentação.....	45

FIGURA 5.2	Hierarquização da rede hidrográfica e digitalização em diferentes camadas.....	47
FIGURA 5.3	Etapas seguidas para construção da Carta de Declividades....	49
FIGURA 5.4	Utilização do filtro moda numa porção do MDT onde o <i>grid</i> é 3x3.....	54
FIGURA 5.5	Aspecto da declividade antes e depois da utilização do filtro moda (3x3).....	55
FIGURA 5.6	Modelo digital de Terreno indicando o posicionamento espacial do Maciço Alcalino e do Complexo Varginha gerado a partir do <i>software ArcView® 3.1</i>.....	56
FIGURA 5.7	Migmatitos estromatíticos formando leitos intercalados nos migmatitos graníticos.....	59
FIGURA 5.8	Fonólitos e nefelita sienitos, unidades do Maciço Alcalino que compõem o substrato rochoso da área estudada.....	62
FIGURA 5.9	Etapas seguidas para a construção do Mapa de Substrato Rochoso.....	63
FIGURA 5.10	Etapas seguidas para a construção do Mapa de Materiais Inconsolidados.....	64
FIGURA 5.11	Adsorção de azul de metileno em função da porcentagem de argila dos materiais inconsolidados, mostrando o comportamento laterítico ou não laterítico, obtido com a classificação M.C.T. (Fonte: Pejon, 1992).....	65
FIGURA 5.12	Diagrama de atividade das argilas pelo método do azul de metileno (Fonte: Pejon, 1992).....	66
FIGURA 5.13	Ábaco para determinação do potencial expansivo (Fonte: Pejon, 2000).....	67
FIGURA 5.14	Análise de agrupamentos entre as amostras de materiais inconsolidados (modo Q) a partir dos resultados dos ensaios de granulometria conjunta.....	68

FIGURA 5.15	Curvas granulométricas das amostras pertencentes aos grupos texturais I, II, III e IV.....	69
FIGURA 5.16	Curvas granulométricas das amostras pertencentes aos grupos texturais V (A), VI (B), VII (C) e VIII (D).....	70
FIGURA 5.17	Materiais inconsolidados pertencentes a Unidade 02.....	72
FIGURA 5.18	Materiais inconsolidados pertencentes a Sub-unidade 03b.....	73
FIGURA 5.19	Materiais inconsolidados pertencentes a Unidade 04.....	75
FIGURA 5.20	Materiais inconsolidados pertencentes a Unidade 07.....	77
FIGURA 5.21	Materiais inconsolidados pertencentes a Sub-unidade 10d.....	80
FIGURA 5.22	Materiais inconsolidados pertencentes a Sub-unidade 13b.....	83
FIGURA 5.23	Aplicação da técnica de avaliação de terreno, modificado de Cooke & Doorkamp (1990) <i>apud</i> Lollo (1996).....	91
FIGURA 5.24	Imagem sombreada do relevo (gerada a partir do MDT no <i>Surfer</i>® 7.00) mostrando a localização dos Sistemas de terreno que compõem a área estudada.....	93
FIGURA 5.25	Imagem sombreada do relevo mostrando a localização das unidades que compõem o Sistema de Terreno A.....	94
FIGURA 5.26	Vista da Unidade A05.....	95
FIGURA 5.27	Vista da Unidade A07.....	97
FIGURA 5.28	Vista da Unidade A08.....	97
FIGURA 5.29	Imagem sombreada do relevo mostrando a localização das unidades que compõem o Sistema de Terreno B.....	99
FIGURA 5.30	Vista da Unidade B01.....	100
FIGURA 5.31	Imagem sombreada do relevo mostrando a localização das unidades que compõem o Sistema de Terreno C.....	102
FIGURA 5.32	Imagem sombreada do relevo mostrando a localização das unidades que compõem o Sistema de Terreno D.....	104
FIGURA 5.33	Vista da Unidade D01.....	104
FIGURA 5.34	Vista da Unidade D02.....	105
FIGURA 5.35	Vista da Unidade D04.....	106

FIGURA 5.36	Vista da Unidade D10.....	107
FIGURA 5.37	Etapas seguidas para a construção do Mapa de <i>Landforms</i>.....	108
FIGURA 5.38	Análise de agrupamentos entre as Unidades de Terrenos (modo Q) presentes no Mapa de <i>Landforms</i>.....	110
FIGURA 5.39	Etapas seguidas para a construção do Mapa de Uso e Ocupação.....	112
FIGURA 5.40	Bandas 4, 5 e 3 do LANDSAT 5 sobrepostas ao MDT gerado para área estudada utilizando o <i>ArcView</i>® 3.1.....	113
FIGURA 5.41	Aparência das amostras de treinamento das classes de uso e ocupação da área estudada a partir das composições das bandas 4, 5 e 3 do LANDSAT 5.....	115
FIGURA 5.42	Etapas seguidas para a construção do Carta de Potencial Agrícola.....	122
FIGURA 5.43	Planos de informações utilizados no <i>Idrisi</i> ® 3.2 para gerar a carta de potencial agrícola.....	124
FIGURA 5.44	Etapas seguidas para a construção do mapa de documentação no <i>ArcView GIS</i> 3.1.....	132
FIGURA 5.45	Identificação das Unidades de Terreno com auxílio de <i>hot link</i>.....	133
FIGURA 5.46	Cálculo do comprimento dos canais fluviais através da função <i>field calculator</i>.....	134
FIGURA 5.47	Função <i>query builder</i> utilizada na seleção de entidades do mapa de documentação (triângulos destacados em amarelo)..	135
FIGURA 5.48	Entidades numéricas selecionadas na tabela de pontos amostrados a partir da função <i>query builder</i>.....	135
FIGURA 5.49	Unidades de Terreno (entidades alfanuméricas) selecionadas na tabela de <i>landforms</i> a partir da função <i>query builder</i>.....	137
FIGURA 5.50	Função <i>query builder</i> utilizada na seleção de Unidades de Terreno no mapa de <i>landforms</i> (polígonos destacados em amarelo).....	137
FIGURA 6.1	Etapas seguidas para a construção da Carta de Zoneamento Geoambiental.....	139

FIGURA 6.2	Análise de agrupamentos (modo Q) realizada a partir das superfícies ocupadas em cada unidade de terreno pelas classes/unidades de declividades, de potencial agrícola, de substrato rochoso e de materiais inconsolidados.....	141
FIGURA 6.3	Análise de agrupamentos (modo Q) realizada a partir das superfícies ocupadas em cada unidade de terreno pelas classes/unidades de declividades, de potencial agrícola, de substrato rochoso e de materiais inconsolidados onde a distância euclidiana máxima atingida é igual a 100 %.....	143
FIGURA 6.4	Análise de agrupamentos (modo Q) realizada a partir das superfícies ocupadas em cada unidade geoambiental pelas classes/unidades de declividades, de potencial agrícola, de substrato rochoso e de materiais inconsolidados.....	145
FIGURA 6.5	Análise de agrupamentos (modo Q) realizada a partir das superfícies ocupadas em cada unidade geoambiental pelas classes/unidades de declividades, de potencial agrícola, de substrato rochoso e de materiais inconsolidados onde a distância euclidiana máxima atingida é igual a 100 %.....	146
FIGURA 6.6	Análise de agrupamentos (modo Q) realizada a partir das superfícies ocupadas pelas classes de potencial agrícola em cada unidade geoambiental.....	148
FIGURA 6.7	Análise de agrupamentos (modo Q) realizada a partir das superfícies ocupadas em cada unidade geoambiental pelas classes de potencial agrícola onde a distância euclidiana máxima atingida é igual a 100 %.....	149
FIGURA 6.8	Regressão linear entre o percentual de superfícies ocupadas por café e o percentual de superfícies que apresentam solo exposto nas 21 Unidades Geoambientais analisadas.....	158

LISTA DE TABELAS

TABELA 2.1	Instrumentos de gestão ambiental (Fonte: Bitar & Ortega, 1998).....	12
TABELA 5.1	Comparação entre vantagens e desvantagens na construção da carta de declividades por meios convencionais e computacionais.....	48
TABELA 5.2	Parâmetros geométricos dos arquivos digitalizado e interpolado na construção do MNT.....	52
TABELA 5.3	Resultados da distribuição das classes na Carta de Declividades após a utilização do filtro moda (3x3).....	53
TABELA 5.4	Caracterização da amostra dos materiais inconsolidados que compõem a Unidade 02 quanto a sua localização, granulometria e índices físicos.....	72
TABELA 5.5	Caracterização da amostra dos materiais inconsolidados que compõem a Unidade 02 pelo método de adsorção de azul de metileno.....	72
TABELA 5.6	Caracterização das amostras dos materiais inconsolidados que compõem a Unidade 03 quanto a sua localização, granulometria e índices físicos.....	74
TABELA 5.7	Caracterização das amostras dos materiais inconsolidados que compõem a Unidade 03 pelo método de adsorção de azul de metileno.....	74
TABELA 5.8	Caracterização da amostra dos materiais inconsolidados que compõem a Unidade 05 quanto a sua localização,	

	granulometria e índices físicos.....	75
TABELA 5.9	Caracterização da amostra dos materiais inconsolidados que compõem a Unidade 05 pelo método de adsorção de azul de metileno.....	75
TABELA 5.10	Caracterização da amostra dos materiais inconsolidados que compõem a Unidade 06 quanto a sua localização, granulometria e índices físicos.....	76
TABELA 5.11	Caracterização da amostra dos materiais inconsolidados que compõem a Unidade 06 pelo método de adsorção de azul de metileno.....	77
TABELA 5.12	Caracterização da amostra dos materiais inconsolidados que compõem a Unidade 07 quanto a sua localização, granulometria e índices físicos.....	77
TABELA 5.13	Caracterização da amostra dos materiais inconsolidados que compõem a Unidade 07 pelo método de adsorção de azul de metileno.....	77
TABELA 5.14	Caracterização da amostra dos materiais inconsolidados que compõem a Unidade 08 quanto a sua localização, granulometria e índices físicos.....	79
TABELA 5.15	Caracterização da amostra dos materiais inconsolidados que compõem a Unidade 08 pelo método de adsorção de azul de metileno.....	79
TABELA 5.16	Caracterização das amostras dos materiais inconsolidados que compõem a Unidade 09 quanto a sua localização, granulometria e índices físicos.....	79
TABELA 5.17	Caracterização das amostras dos materiais inconsolidados que compõem a Unidade 09 pelo método de adsorção de azul de metileno.....	79
TABELA 5.18	Caracterização das amostras dos materiais inconsolidados que compõem a Unidade 10 quanto a sua localização, granulometria e índices físicos.....	80
TABELA 5.19	Caracterização das amostras dos materiais inconsolidados	

	que compõem a Unidade 10 pelo método de adsorção de azul de metileno.....	81
TABELA 5.20	Caracterização da amostra dos materiais inconsolidados que compõem a Unidade 11 quanto a sua localização, granulometria e índices físicos.....	82
TABELA 5.21	Caracterização da amostra dos materiais inconsolidados que compõem a Unidade 11 pelo método de adsorção de azul de metileno.....	82
TABELA 5.22	Caracterização das amostras dos materiais inconsolidados que compõem a Unidade 13 quanto a sua localização, granulometria e índices físicos.....	83
TABELA 5.23	Caracterização das amostras dos materiais inconsolidados que compõem a Unidade 13 quanto a sua localização, granulometria e índices físicos.....	84
TABELA 5.24	Caracterização das amostras dos materiais inconsolidados que compõem a Unidade 15 quanto a sua localização, granulometria e índices físicos.....	84
TABELA 5.25	Caracterização das amostras dos materiais inconsolidados que compõem a Unidade 15 pelo método de adsorção de azul de metileno.....	84
TABELA 5.26	Caracterização das amostras dos materiais inconsolidados que compõem a Unidade 16 quanto a sua localização, granulometria e índices físicos.....	85
TABELA 5.27	Caracterização das amostras dos materiais inconsolidados que compõem a Unidade 16 pelo método de adsorção de azul de metileno.....	86
TABELA 5.28	Caracterização da amostra dos materiais inconsolidados que compõem a Unidade 17 quanto a sua localização, granulometria e índices físicos.....	86
TABELA 5.29	Caracterização da amostra dos materiais inconsolidados que compõem a Unidade 17 pelo método de adsorção de azul de metileno.....	86

TABELA 5.30	Caracterização das amostras dos materiais inconsolidados que compõem a Unidade 18 quanto a sua localização, granulometria e índices físicos.....	86
TABELA 5.31	Caracterização das amostras dos materiais inconsolidados que compõem a Unidade 18 pelo método de adsorção de azul de metileno.....	87
TABELA 5.32	Caracterização das amostras dos materiais inconsolidados que compõem a Unidade 19 quanto a sua localização, granulometria e índices físicos.....	88
TABELA 5.33	Caracterização das amostras dos materiais inconsolidados que compõem a Unidade 19 pelo método de adsorção de azul de metileno.....	88
TABELA 5.34	Caracterização das amostras dos materiais inconsolidados que compõem a Unidade 20 quanto a sua localização, granulometria e índices físicos.....	88
TABELA 5.35	Caracterização das amostras dos materiais inconsolidados que compõem a Unidade 20 pelo método de adsorção de azul de metileno.....	89
TABELA 5.36	Caracterização da amostra dos materiais inconsolidados que compõem a Unidade 21 quanto a sua localização, granulometria e índices físicos.....	89
TABELA 5.37	Caracterização da amostra dos materiais inconsolidados que compõem a Unidade 21 pelo método de adsorção de azul de metileno.....	89
TABELA 5.38	Níveis hierárquicos propostos por Lollo (1996) para técnica de avaliação de terreno.....	92
TABELA 5.39	Critérios Utilizados na Descrição das Unidades te Terreno.....	94
TABELA 5.40	Comparação entre os resultados obtidos na composição dos Sistemas de Terreno por meio da Técnica de Avaliação de Terreno de Lollo (1996) em relação aos definidos pela análise de agrupamentos, para isso, considerando as condições de contorno estabelecidas para área em estudo.....	110

TABELA 5.41	Valores de exatidão global e coeficiente kappa obtidos para imagem da área estudada a partir dos algoritmos de classificação supervisionada fornecidos pelo ENVI ® 3.2.....	117
TABELA 5.42	Resultados da distribuição das classes para o Mapa de Uso e Ocupação.....	118
TABELA 5.43	Combinação de atributos e níveis que definem as classes da carta de potencial agrícola (Fonte: Zuquette, 1993).....	120
TABELA 5.44	Classificação dos planos de informações obtidos por meio do mapa de materiais inconsolidados de acordo com suas classes de adequabilidade de potencial agrícola (de acordo com Zuquette, 1993).....	123
TABELA 5.45	Resultados da distribuição das classes que compõem a Carta de Potencial Agrícola.....	128
TABELA 6.1	Unidades geoambientais e sua(s) unidade(s) de terreno correspondente(s).....	142
TABELA 6.2	Relação entre os setores destinados a pecuária bovina extensiva e as diversas classes/unidades presentes nas cartas de declividades e potencial agrícola e nos mapas de substrato rochoso e materiais inconsolidados.....	151
TABELA 6.3	Relação entre os setores destinados a monocultura cafeeira e as diversas classes/unidades presentes nas cartas de declividades e potencial agrícola e nos mapas de substrato rochoso e materiais inconsolidados.....	152
TABELA 6.4	Relação entre os setores de floresta nativa e as diversas classes/unidades presentes nas cartas de declividades e potencial agrícola e nos mapas de substrato rochoso e materiais inconsolidados.....	153
TABELA 6.5	Relação entre os setores sem cobertura vegetal e as diversas classes/unidades presentes nas cartas de declividades e potencial agrícola e nos mapas de substrato rochoso e materiais inconsolidados.....	154
TABELA 6.6	Relação entre os setores destinados as áreas urbanizadas e as	

	diversas classes/unidades presentes nas cartas de declividades e potencial agrícola e nos mapas de substrato rochoso e materiais inconsolidados.....	155
TABELA 6.7	Matriz de correlação obtida por regressão linear entre o percentual de superfície que cada unidade de uso e ocupação possui para as diferentes unidades geoambientais.....	158

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais

CTC – Capacidade de Troca Catiônica

FAB – Força Aérea Brasileira

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IG – Instituto Geológico

IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A.

MCT – Miniatura, Compactado, Tropical

MDT – Modelo Digital de Terreno

MNT – Modelo Numérico de Terreno

PVC – Policloreto de Vinila

RMS – Erro Médio Quadrático

SE – Superfície Específica

SIG – Sistemas de Informação Geográfica

SUS – Sistema Único de Saúde

USAF – United States Air Force

UTM – Universal Transverse Mercator

LISTA DE SÍMBOLOS

r_d – Massa Específica Seca

r_s – Massa Específica dos Sólidos

A_{cb} – Valor de Adsorção de Azul de Metileno para a Fração Argila dos Solos

e – Índices de vazios

n – Porosidade

S_r – Grau de Saturação

V_b – Valor de Adsorção de Azul de Metileno para os Solos

RESUMO

AMORIM, Holden Robson de. **Estudo dos atributos do meio físico como base para o zoneamento geoambiental da região de influência do reservatório da Usina Hidroelétrica de Caconde (SP), escala: 1:50.000, com uso de geoprocessamento.** 2003. 170 p. Dissertação Mestrado – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

Estudos geoambientais se propõem a avaliar e planejar o uso do solo tomando como base os principais atributos do meio físico. O objetivo principal desse trabalho é apresentar e aplicar uma proposta metodológica, considerando os procedimentos e os produtos da cartografia geotécnica desenvolvida para as condições brasileiras, que vise o planejamento territorial. A proposta foi aplicada na região de influência do reservatório da Usina Hidroelétrica de Caconde (SP). Foram avaliadas características geomorfológicas, geológicas, de solos (comportamento geotécnico) e aptidão agrícola. A carta de zoneamento geoambiental foi produzida por meio de trabalhos de geoprocessamento e análise de agrupamentos dos diversos planos de informações produzidos. Os resultados mostraram que a proposta funcionou adequadamente considerando os atributos do meio físico selecionados. Todos os produtos cartográficos gerados na pesquisa, encontram-se inseridos nos sistemas de informações geográficas *Idrisi 32* e *ArcView GIS 3.1*, no qual este último associa aos mapas e cartas confeccionados um banco de dados geoambiental de modo a possibilitar que as informações possam ser acrescentadas, inseridas, recuperadas, atualizadas ou simplesmente removidas desde que se queira ou se faça necessário.

Palavra-chave: Atributos do Meio Físico, Zoneamento Geoambiental, Geoprocessamento, Análise de Agrupamentos, Reservatório da Hidroelétrica de Caconde (SP).

SUMMARY / ABSTRACT

AMORIM, Holden Robson de. **Study of the geoenvironment attributes as a subsidy to the geoenvironmental zoning in the region of influence at Caconde's Hydroelectric Reservoir (SP), scale: 1:50.000, using geoprocessing.** 2003. 170 p. Dissertação Mestrado – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

Geoenvironmental studies are important to promote environment management. The main objective of this work is to present and to apply a methodological proposal based in both procedures and products of the Engineering Geological Mapping that should aid the territorial planning. The proposal has been applied in the region of influence of the Caconde's Hydroelectric Reservoir (SP). Geological and geomorphological information were evaluated and the characteristics of unconsolidated materials and agricultural potential have been determined. Geoenvironmental zoning map was produced by using geoprocessing and cluster analysis techniques of several produced information plans. The proposal operate adequately environment attributes selected and realize appropriately the results. All cartographic products generated in this work were handled in the geographical information system Idrisi 32 and ArcView 3,1. Geoenvironmental database has been associated with produced maps in ArcView Gis.

Key-words: Geoenvironment Attributes, Geoenvironmental Zoning, Geoprocessing, Cluster Analysis, Caconde's Hydroelectric Reservoir (SP).

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

As transformações sociais, políticas e econômicas ocorridas no mundo desde a revolução industrial produziram significativas modificações na Terra. O homem, motivado principalmente pela utilização dos recursos naturais, intensificou e diversificou as formas de uso e ocupação do meio físico, quase sempre sem levar em consideração o conceito de desenvolvimento sustentável.

Segundo Diniz *et al.* (1999) a cartografia geotécnica subsidia o estudo de problemas do meio físico, especificamente, na análise de riscos e nas avaliações ambientais regionais. Os autores construíram, a partir da automação da cartografia geotécnica (passagem das informações cartográficas do meio analógico para o digital), uma Base de Dados Geoambientais para Estado de São Paulo. Esta, por sua vez, trouxe enormes benefícios podendo se transformar num poderoso instrumento que venha a comandar ações de planejamento e uso do solo, tais como: seleção de áreas para implantação de empreendimentos industriais ou residenciais, planos diretores, planos de defesa civil, estudos de impacto ambiental, planejamento e fiscalização de obras, elaboração de cartas de riscos, suscetibilidades e aptidões, seleção de áreas para disposição de resíduos sólidos, dentre outros.

A área em estudo localiza-se no que corresponde à superfície formada pela bacia de contribuição da Usina Hidroelétrica de Caconde (SP). Embora a área esteja situada numa das regiões com maior potencial agrícola e pecuário do país, esta ainda carece de estudos que levem em consideração zoneamentos geotécnicos e geoambientais em escalas consideradas regionais. Tais avaliações são de extrema necessidade na atualidade, tendo em vista que o uso e a ocupação inadequada do meio físico pode tornar os recursos naturais exauríveis, principalmente o recurso hídrico, tão presente e fundamental no desenvolvimento econômico e social da região.

1.1. Objetivos

Em linhas gerais, o presente trabalho busca o zoneamento geoambiental da área em estudo através da construção da carta geoambiental totalmente integrada a sistemas de informações geográficas (*ArcView GIS 3.1 e Idrisi 32*), para isso, considera os procedimentos e os produtos da cartografia geotécnica proposta por Zuquette (1987), Zuquette & Gandolfi (1990), Zuquette (1993) e Zuquette *et al.* (1997).

Desse modo, pretende-se confeccionar e apresentar um conjunto de produtos cartográficos geotécnicos que forneçam as bases para o estabelecimento de um zoneamento geoambiental fundamentado nas informações do meio físico.

Este trabalho objetiva, ainda, estudar a viabilidade da utilização da técnica de estatística multivariada, denominada de análise de agrupamentos associada ao geoprocessamento na definição das unidades geoambientais.

CAPÍTULO 2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Bacias Hidrográficas

2.1.1. Definição, Tipos e Padrões de Drenagem

Segundo Guerra (1980) uma bacia hidrográfica pode ser definida como um conjunto de terras drenadas por um rio principal e seus afluentes (Figura. 2.1). A quantidade de água que atinge os cursos fluviais é dependente do tamanho da área ocupada pela bacia, da precipitação total e de seu regime, além das perdas devidas à evapotranspiração e à infiltração.

Christofoletti (1974) classifica as bacias de drenagem, de acordo com escoamento global, nos seguintes tipos:

- a) *Exorreicas*, quando o escoamento das águas se faz de modo contínuo até o mar ou oceano;
- b) *Endorreicas*, quando as drenagens são internas e não possuem escoamento até o mar, desembocando em lagos ou dissipando-se nas areias do deserto, ou perdendo-se nas depressões cársticas;
- c) *Arreicas*, quando não existe nenhuma estruturação em bacias hidrográficas, como nas áreas desérticas onde a precipitação é negligenciável e a atividade dunária é intensa, obscurecendo as linhas e os padrões de drenagem;
- d) *Criptorreicas*, quando as bacias são subterrâneas, como em áreas cársticas. A drenagem subterrânea acaba por surgir em fontes ou integrar-se em rios subaéreos.

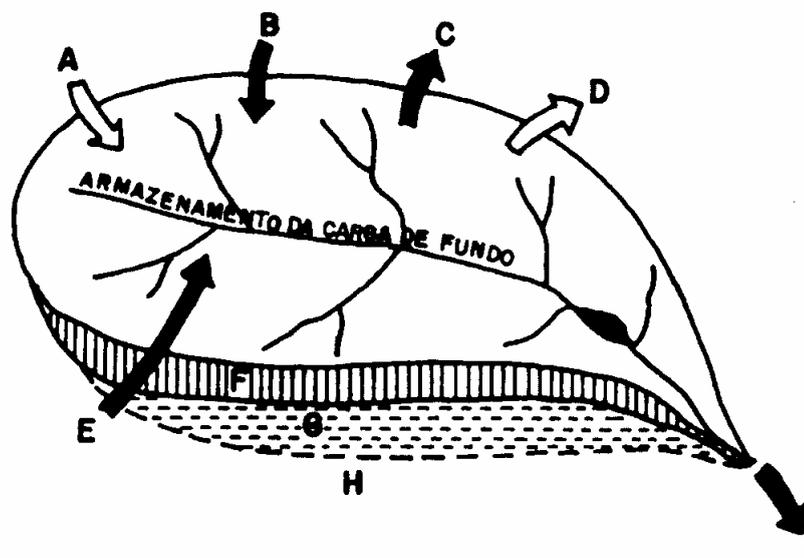


FIGURA 2.1 – Bacia hidrográfica, fluxos e transformações de energia, água e sedimentos. (A) energia radiante, (B) precipitação, (C) evapotranspiração, (D) energia latente, (E) material intemperizado, (F) armazenamento de umidade de solo, (G) armazenamento de água subterrânea, (H) material fonte, (I) descarga, transporte de sedimentos em suspensão, dissolvidos e de fundo. (Fonte: Cunha & Guerra, 1996).

No estudo de bacias hidrográficas é muito importante a caracterização dos padrões de drenagens (Figura 2.2), estes definidos como o arranjo espacial dos cursos fluviais, que podem ser influenciados em sua atividade morfométrica pelo tipo e disposição das camadas rochosas, pela resistência litológica variável, pelas diferenças de declividade e pela evolução geomorfológica da região. Uma ou várias bacias podem estar englobadas na caracterização de um determinado padrão.

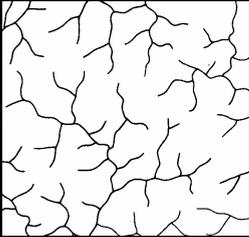
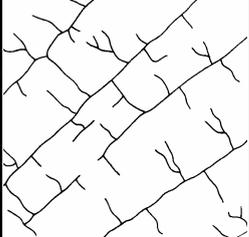
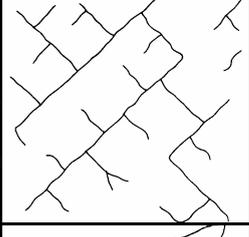
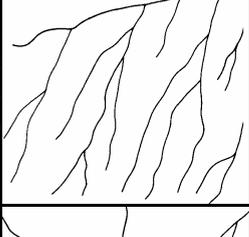
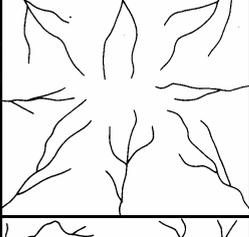
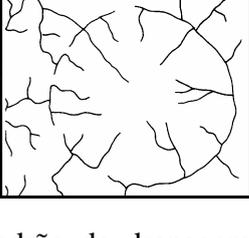
Drenagem dendrítica	Também é designada como arborescente, porque em seu desenvolvimento assemelha-se à configuração de uma árvore. Da mesma forma como nas árvores, os ramos formados pelas correntes tributárias distribuem-se em todas as direções sobre a superfície do terreno, e se unem formando ângulos agudos de graduações variadas, mas sem chegar nunca a reto.	
Drenagem em treliça	Esse tipo de drenagem é composto por rios principais consequentes ¹ , correndo paralelamente, recebendo afluentes subseqüentes ² que fluem em direção transversal aos primeiros; os subseqüentes por sua vez, recebem rios obseqüentes ³ e reseqüentes ⁴ . De forma geral, as confluências realizam-se em ângulos retos.	
Drenagem retangular	A configuração retangular é modificada da drenagem em treliça, caracterizado pelo aspecto ortogonal devida às bruscas alterações retangulares no curso das correntes fluviais, tanto nas principais quanto nas tributárias. Esse arranjo é consequência da influência exercida por falhas ou pelo sistema de juntas ou diáclases.	
Drenagem paralela	A drenagem é denominada de paralela quando os cursos de água, sobre uma área considerável, ou em numerosos exemplos sucessivos, escoam quase paralelamente uns aos outros. Devido a essa configuração, também são denominadas de cauda eqüina ou rabo de cavalo.	
Drenagem radial	Apresenta-se composta por correntes fluviais que se encontram dispostas como os raios de uma roda, em relação a um ponto central. Ela pode se desenvolver sobre os mais variados embasamentos e estruturas.	
Drenagem anelar	Esse padrão assemelha-se muito a anéis. As drenagens anelares são características das áreas dômicas profundamente entalhadas, em estruturas com camadas duras e frágeis.	

FIGURA 2.2 – Disposição espacial dos principais tipos de padrão de drenagem (Fonte: Christofolletti, 1974).

¹ Rios cujos cursos foram determinados pela declividade da superfície terrestre, em geral coincidem com a direção da inclinação principal das camadas.

² Rios cuja a direção de fluxo é controlada pela estrutura rochosa, acompanhando sempre uma zona de fraqueza, tal como uma falha, junta, camada rochosa delgada ou facilmente erodível.

³ Rios que correm em sentido inverso à inclinação das camadas ou a inclinação original dos rios consequentes.

⁴ Rios que correm na mesma direção dos rios consequentes, mas nascem num nível mais abaixo.

2.1.2. A Bacia Hidrográfica como Limite Territorial para o Planejamento e Gerenciamento Ambiental

Segundo Chaudhry (2000) os recursos hídricos são os recursos naturais mais importantes e devem ser geridos de forma integrada tendo em vista a importância da água em relação aos seus usos diversos (abastecimento urbano e industrial; irrigação; geração de energia elétrica; recreação e turismo ecológico; navegação fluvial; etc), a manutenção de qualidade e quantidade e o aproveitamento otimizado com o mínimo de conflitos. Essa postura de gerenciamento integrado se torna, nos dias de hoje, mais necessária ao se constatar que os recursos hídricos são limitados e que podem sofrer sérios danos como resultado de uma exploração desordenada (Figura 2.3).

De acordo com Pires & Santos (1995) as abordagens do planejamento do uso do solo baseada em critérios econômicos clássicos tem falhado por não reconhecer o conflito entre as metas de desenvolvimento econômico e a capacidade de suporte dos ecossistemas. Somente uma abordagem holística, que verifique causas e efeitos das intervenções humanas e interprete as condições ambientais de toda a área estudada, permitirá traçar diretrizes de desenvolvimento adequadas ao ambiente físico e biológico.

Segundo Pires Neto (1994) as bacias hidrográficas são as unidades de gerenciamento ambiental mais adequadas dentro de um planejamento territorial, sendo perfeitamente possível caracterizá-las quanto às restrições e potencialidades ao uso urbano, a exploração dos recursos minerais e de águas subterrâneas, como também as potencialidades, restrições e impactos associados ao uso agropecuário e extrativista do terreno.

Para Prochnow (1990) a adoção da bacia hidrográfica como unidade de planejamento ambiental se justifica não só por esta se constituir em uma unidade física bem caracterizada, mas também porque não existe nenhuma região continental, por menor que seja, que não se integre a uma bacia.

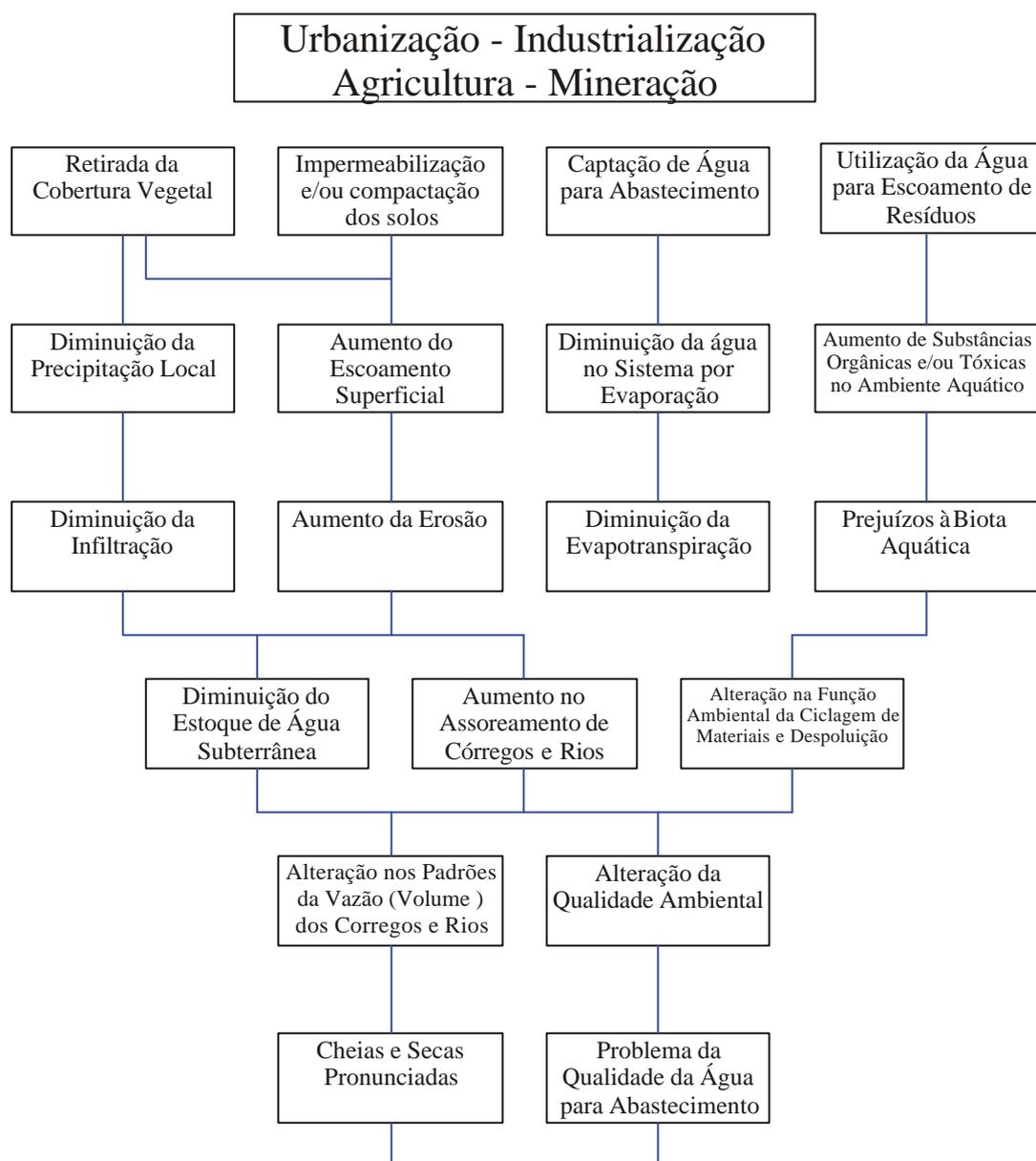


FIGURA 2.3 – Principais usos do solo e possíveis interferências nos recursos hídricos (Fonte: Pires & Santos, 1995).

Para Pires & Santos (1995), a bacia de drenagem funciona como unidade de planejamento e gerenciamento, pois integra os aspectos ambientais, econômicos e políticos, com ênfase no primeiro, isso porque a capacidade de dar suporte ao desenvolvimento possui sempre um limite, a partir do qual todos os outros aspectos serão inevitavelmente afetados. Entretanto, no início o gerenciamento e planejamento de bacias hidrográficas somente se limitava a questão do problema hídrico em si, ou seja, controle de inundações, irrigação, navegação e abastecimento público e industrial. Posteriormente, com o aumento excessivo da demanda, os técnicos amadurecidos na administração tiveram a necessidade de incorporar aspectos relacionados aos vários usos de água para atender os múltiplos usuários, que muitas vezes competiam pelo recurso. A partir desse novo cenário, ao se buscar solucionar o conflito entre os usuários, é que surgiu a necessidade de dimensionar a qualidade e quantidade do recurso para cada um, bem como sua responsabilidade. Para o gerenciamento ambiental de bacias hidrográficas os autores destacam as seguintes etapas:

- a) Etapa de diagnóstico ambiental – o objetivo dessa etapa é analisar a situação atual do uso do solo, o nível de aproveitamento dos recursos naturais através de: inventário e levantamento dos dados e informações sobre o ambiente físico e biológico; levantamento das áreas ambientais críticas; análise das informações e classificação das unidades geográficas de acordo com a capacidade de absorver os diversos usos humanos, considerando suas restrições ambientais.
- b) Prognóstico ambiental – nessa etapa são analisadas prováveis condições futuras (inclusive as insustentáveis) em diferentes cenários de tempo e ocupação do espaço, frente as tendências de desenvolvimento e a demanda de serviços e produtos.
- c) Integração das análises ambientais, políticas e econômicas do plano de gerenciamento de bacias hidrográficas.

Lanna (1995) destaca como aspecto vantajoso de se adotar a bacia hidrográfica como unidade territorial de planejamento e gerenciamento ambiental, o fato que a rede de drenagem de uma bacia pode ser capaz de indicar as relações de causa e efeito de problemas ambientais, por outro lado, muitas vezes os limites municipais e estaduais não acompanham os divisores da bacia, o que pode acarretar problemas no seu gerenciamento em função de questões políticas.

Ross & Del Prette (1998) apontam que no Brasil a gestão ambiental caminha progressivamente no sentido de tomar as bacias hidrográficas como unidades de planejamento regional, com clara ênfase na questão dos recursos hídricos, seguindo o modelo francês de gerenciamento de Bacias Hidrográficas. Os autores indicam a necessidade de adoção de uma política que contemple todas as áreas dos recursos naturais (águas, solos, relevo, atmosfera, subsolo, flora, fauna) e as componentes sociais e econômicas, não apenas em termos de bacias hidrográficas, mas também considerando sua inserção regional e sua articulação com os problemas nacionais.

2.2. Estudos Geoambientais

2.2.1. Motivações

O homem chega ao século XXI com a população superando seis bilhões de habitantes e com um crescimento populacional superior a 100 milhões de pessoas por ano. Por conta desse enorme crescimento, observa-se uma grande transformação no planeta.

O homem altera substancialmente o globo quase sempre sem levar em consideração o risco que traz a sua própria sobrevivência como as dos outros componentes da biosfera através da poluição do ar, do desmatamento intensivo, do acúmulo de produtos e resíduos tóxicos e do uso intensivo das últimas jazidas de reserva fóssil.

De acordo com Cunha & Guerra (1996) a mundialização da questão ambiental teve início na 1ª Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente realizada em junho de 1972, em Estocolmo, movida pela degradação ambiental em todo o mundo que se refletia em poluição industrial, exploração dos recursos naturais, deterioração das condições ambientais e problemas sanitários.

A reunião de 1992 no Rio de Janeiro, levou a discussão sobre o desenvolvimento sustentado e a necessidade de alterações profundas que levassem em conta a capacidade de suporte do planeta, fluxo de energia e a complexidade dos ecossistemas, com ênfase na interdependência dos fatores (Tundisi, 2000).

2.2.2. Desenvolvimento Sustentado e Gestão Ambiental

O desenvolvimento sustentado é a exploração dos recursos naturais feito de forma que as gerações futuras possam utilizar esses recursos e beneficiar-se de um processo contínuo e equilibrado, no qual a redução das desigualdades econômicas e a diminuição da pobreza sejam metas fundamentais. Outros aspectos devem ser levados em consideração como: a preservação e a restauração dos ecossistemas naturais, a reciclagem de materiais e o deslocamento das prioridades de um crescimento quantitativo para um crescimento qualitativo (Tundisi, 2000).

Segundo o autor para a compreensão da complexidade que envolve o problema ambiental é necessário o desenvolvimento de técnicas e metodologias adequadas que possibilitem um melhor conhecimento dos ecossistemas, suas funções, características e balanço energético, considerando-se problemas biogeofísicos, econômicos e sociais.

Nesse contexto, insere-se o conceito de instrumentos de gestão ambiental definidos por Bitar & Ortega (1998) como sistematização de procedimentos técnicos e administrativos para assegurar a melhoria e o aprimoramento contínuo do desempenho ambiental de um empreendimento ou de uma área a ser protegida e, em decorrência, obter o reconhecimento de conformidade das medidas e práticas adotadas.

De acordo com Bitar & Ortega (1998), no Brasil, alguns desses instrumentos têm sido objetos de legislação e normalização técnica, podendo ser subdivididos em dois grupos segundo a escala territorial (Tabela 2.1).

Gothe (1991) afirma que o Estado brasileiro é ineficiente ao tratar da questão ambiental, realizando ações esporádicas e pontuais, atuando principalmente a reboque da manifestação da sociedade civil, minimizando os impactos negativos de empreendimentos isolados por pressão de grupos organizados. Desse modo, mostrando a falta de consciência de que o meio ambiente permeia todos esse setores e que na verdade, a gestão ambiental está imbricada com boa parte das atividades do estado, não podendo, portanto, ser comprimida a um pequeno setor da administração pública, também estanque em relação aos demais. O autor propõe uma série de medidas para evitar a permanência do atual quadro caótico referentes à gestão ambiental, são elas:

- a) Aglutinar de forma efetiva pessoas e instituições cujas atividades visem a proteção do meio ambiente ou sejam causa de significativas modificações ambientais – na administração pública, nas estatais, empresas e organizações não governamentais – efetivando e expandindo o conceito de sistema nacional de meio ambiente, resgatando-o da letra da lei para a prática diária. A participação de todos os setores envolvidos proporciona uma troca e homogeneização de informações, um conhecimento mútuo das necessidades, condicionantes e metas que, mesmo não conduzindo ao consenso, contribui para aprimorar a base técnica e o jogo democrático das discussões envolvendo a questão ambiental;

TABELA 2.1 – Instrumentos de gestão ambiental (Fonte: Bitar & Ortega, 1998).

GESTÃO AMBIENTAL	
Instrumentos de gestão ambiental de empreendimentos ou gerenciamento ambiental	Avaliação de impacto ambiental
	Recuperação de áreas degradadas
	Monitoramento Ambiental
	Análise de riscos ambientais
	Investigação de passivo ambiental
	Seguro ambiental
	Sistema de gestão ambiental
Instrumentos de gestão ambiental de áreas geograficamente delimitadas	Bacias hidrográficas
	Unidades de conservação ambiental
	Áreas costeiras
	Áreas metropolitanas

- b) Dar peso significativo ao meio ambiente na tomada de decisão e na formulação das várias políticas setoriais, fazendo com que o estado incorpore a temática e a legislação ambiental, num prazo máximo de cinco anos. Isso envolve basicamente reformular e reestruturar a administração pública, despreparada e mal equipada, através de um programa de formação de competência técnica, científica e gerencial em gestão ambiental, para pessoal dos vários setores (energia, transporte, agricultura, mineração, etc) além dos órgãos ambientais. Ênfase especial deve ser dada ao trabalho multidisciplinar já que, embora não se discuta a existência de bons cientistas e técnicos no país, estes se encontram dispersos nas instituições, não trabalham sob uma ótica multidisciplinar e os especialistas não tem sequer uma linguagem comum para discussão;

- c) Dar atenção à formulação da opinião pública, no sentido também de capacitá-la a bem utilizar os recentes canais de participação popular;
- d) Solucionar uma questão chave do gerenciamento ambiental, ainda mal equacionada no Brasil e nos países do Terceiro Mundo, relativo às relações comerciais que impõem a venda de matérias primas a custos irrisórios, promovendo uma verdadeira expropriação dos recursos naturais, e transferência de produtos e processos caros e altamente poluidores, muitas vezes proibidos nos países ricos. Um outro aspecto é que a péssima distribuição de renda nos países pobres promove a instalação de massas famintas, que se encontram privadas de terra para subsistência e moradia, em áreas altamente sensível a intervenção antrópica.
- e) Rever o papel das organizações ambientalistas não governamentais, independentes dos seus objetivos e estratégias com objetivo de evitar denúncias tecnicamente infundadas.

Segundo Ross & Del Prette (1998) a gestão ambiental, em âmbito nacional, carece de um conjunto de áreas integradas que faça parte de uma política mais ampla, dentro de um plano estratégico de desenvolvimento. Existe uma grande necessidade de implementação de um amplo projeto de desenvolvimento sustentável, com objetivos claros de um desenvolvimento econômico para a melhoria progressiva das condições sociais e a adoção de políticas de preservação, de conservação e recuperação ambiental, indicando como um dos primeiros passos a implementação de zoneamentos ecológico-econômicos nos estados.

2.2.3. Geoambiente e a Ação Antrópica

Ambiente é tudo que nos cerca. Nós vivemos numa interface dinâmica entre atmosfera, hidrosfera e litosfera. Os seres humanos são formados a partir dessa interface, sendo afetados por ela sempre numa escala crescente. O termo ambiente geológico ou simplesmente geoambiente se refere à parte mais superior da litosfera que é significativamente afetada pelas atividades humanas (Figura 2.4). O geoambiente é composto por rochas, solos, fluidos, gases e organismos sendo conectado e influenciado pela atmosfera, clima, condições geológicas do terreno e cobertura vegetal. As atividades humanas interagem com os processos geológicos, físicos químicos e bioquímicos que ocorrem nos solos e rochas (Aswathanarayana, 1995).

De acordo com o autor os impactos provocados pelo homem atingem:

- a) *Rochas* – com a mudança na composição, estrutura e propriedades geológicas das rochas e no manto de intemperismo;
- b) *Solos* – com a criação de novos solos primários, e, modificação nos processos de formação do solo, que afetam o manto rochoso e o regime de água subterrânea;
- c) *Água superficial e subterrânea* – estes são sem dúvida os mais dinâmicos componentes do geoambiente, e os mais afetados pelas atividades do homem. Proteção das águas superficiais e subterrâneas e diminuição da poluição constituem as tarefas mais importantes realizadas pela comunidade;
- d) *Microorganismos* – afetando os processos hidroquímicos e a qualidade da água.
- e) *Atmosfera* – através da poluição atmosférica podendo penetrar na hidrosfera, biosfera e litosfera, com o risco causar mudanças indesejáveis no clima, solos, vegetação e qualidade da água.

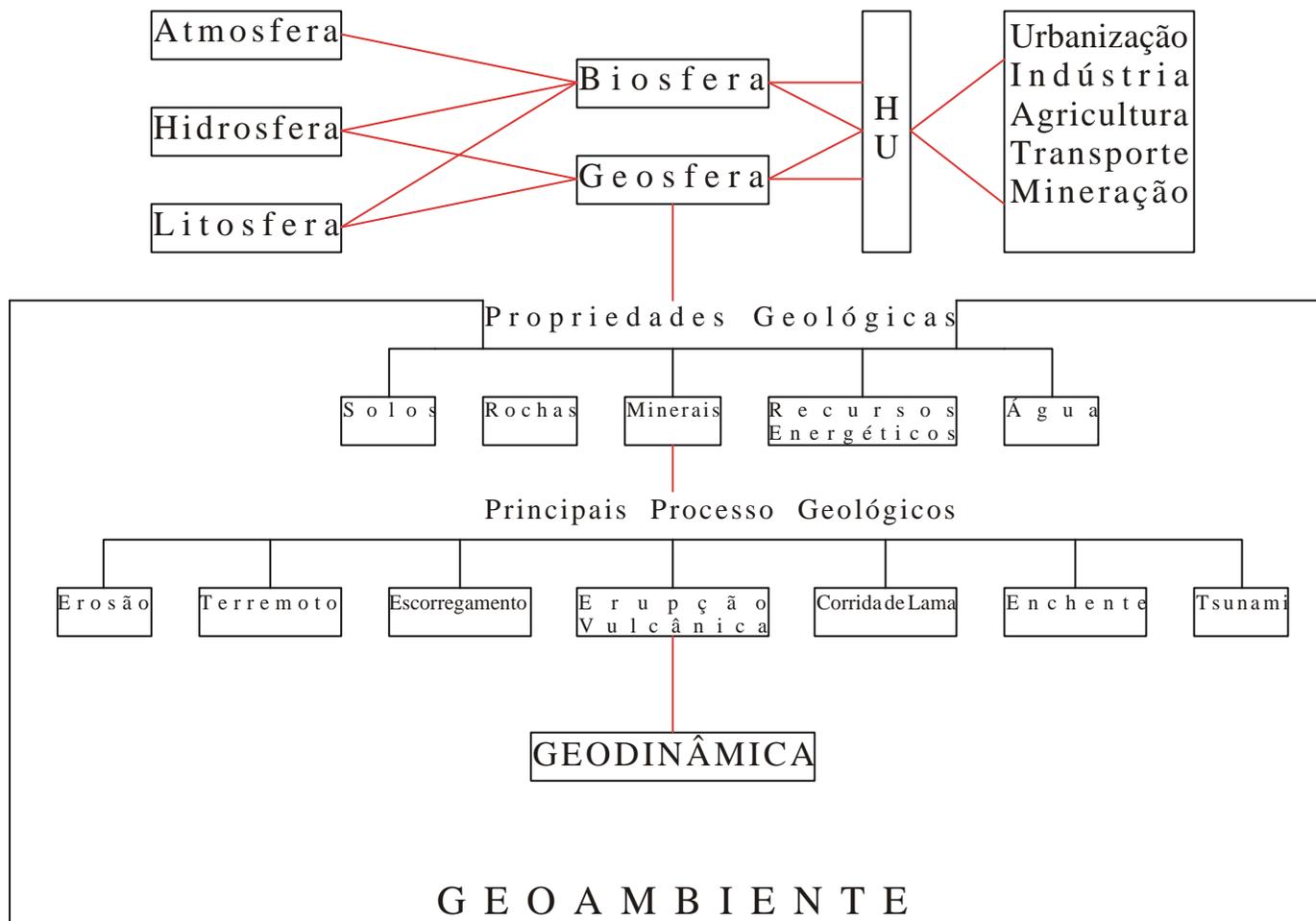


FIGURA 2.4 – Representação esquemática das relações e interações no geoambiente (Modificado de Aswathanarayana, 1995).

De acordo com Aswathanarayana (1995) as principais atividades que geram impactos na dinâmica do geoambiente são:

- a) *Mineração* – mudança na paisagem, escorregamentos, subsidência, poluição da água e solo, diminuição do nível freático, perigo causado por explosões;
- b) *Obras Civas* – escorregamentos, corridas de lama, queda de blocos, inundação, subsidência, mudança no nível freático.
- c) *Indústrias* – poluição da água, solo, ar e biota.
- d) *Agricultura e silvicultura* – erosão, escorregamentos, salinização do solo, poluição da água, inundação.
- e) *Turismo* – poluição da água e do solo
- f) *Disposição de lixo* – poluição da água e do solo, agressão as rochas subjacentes, efeitos térmicos.

Segundo Ross (1996) os estudos de impactos ambientais (EIA) são obrigatórios pela legislação brasileira, para qualquer grande investimento que demande a execução de obras de engenharia. Os estudos de impactos ambientais e os respectivos relatórios de impacto ambiental (RIMA) são parte dos instrumentos da política nacional de meio ambiente, conforme se destacam na lei 6938 de 31 de agosto de 1981.

2.2.4. Exemplos de Metodologias Desenvolvidas em Estudos Geoambientais

METODOLOGIAS ESTRANGEIRAS

Metodologia Empregada por Cendrero (1975)

Cendrero (1975) realizou na baía de Santander norte da Espanha um mapeamento geológico-ambiental baseado na metodologia e conceitos empregados pelo Departamento de Geologia Econômica do Texas, em Austin.

Inicialmente, são definidos sistemas tomando como base os ambientes geológicos (ambiente lagunar, fluvial, costeiro, etc) da área, em seguida para cada sistema suas respectivas unidades, estas baseadas em processos ativos, landforms, propriedades físicas dos materiais, assembléias biológicas e influência do homem.

Cendrero (1975) avalia a capacidade ambiental das unidades geológico-ambientais utilizando 21 tipos de atividades humanas. O autor acha conveniente a distinção no mapa entre as atividades que são nocivas para o meio ambiente se executadas sobre determinadas unidades; ou se o efeito prejudicial se dá do meio sobre a atividade.

O produto final é a confecção de um mapa geológico-ambiental que pode ser utilizado no planejamento, principalmente na definição das unidades para disposição de lixo, preservação ambiental e áreas adequadas a construção.

É salientado que as unidades geológico-ambientais e de uso da terra e da água são freqüentemente dinâmicas e sujeitas a mudanças, sendo as informações representativas da situação da data que foram mapeadas.

Metodologia Empregada por Cendrero *et al.* (1990)

Cendrero *et al.* (1990) construíram mapas geocientíficos com fins planejamento para duas áreas, uma na Província de Valência e a outra na ilha de Gran Canarias (Canaria).

A abordagem metodológica utilizada considera a identificação e integração de unidades de acordo com Cristian & Stewart (1968) e Cendrero *et al.* (1986). Segundo os autores, o ambiente morfodinâmico é a maior unidade que pode ser delimitada para um mapa base geocientífico. Esse definido, tomando como base o clima, as feições morfoestruturais e topográficas. O ambiente morfodinâmico pode ser dividido em sistemas morfodinâmicos. Os sistemas são delimitados a partir de landforms, embasamento rochoso e depósitos superficiais. Por fim, os sistemas podem ainda ser sub-divididos em unidades morfodinâmicas, estas determinadas através da litologia, dos solos, da geomorfologia, dos processos ativos, da vegetação e da influência humana.

As unidades morfodinâmicas são utilizadas nos processos de planejamento servindo como base para mapas derivados de risco geológico, capacidade de uso do solo, grau de erosão presente, potencial de erodibilidade e qualidade para conservação.

Metodologia Empregada por Dai *et al.* (2001)

Dai *et al.* (2001) propõem o zoneamento geoambiental como instrumento de planejamento do espaço urbano chinês, que tem uma das maiores taxas de crescimento populacional do mundo. A área de estudo selecionada localiza-se na cidade de Lanzhou, capital da Província de Gansu, a Segunda maior cidade a noroeste da China.

De acordo com os autores a avaliação do planejamento urbano requer o manuseio de uma grande quantidade de informações espaciais. Desse modo, propõem a utilização de sistemas de informação geográfica na integração de diversos planos de informação com o objetivo de se produzir cartas que auxiliem esse planejamento.

Baseado em aspectos topográficos, condições geológicas e hidrogeológicas e histórico de acidentes geológicos os autores conseguiram cruzar todos os atributos por eles considerados, seguindo o Processo Analítico Hierárquico. O resultado final mostrou a adequabilidade do meio físico considerando diversas categorias de uso urbano (Figura 2.5).

Metodologia Empregada por De Villota *et al.* (2002)

Os autores propõem o zoneamento geoambiental com a finalidade de orientar a ocupação urbana da região de Vall de Gallinera (Mediterrâneo Espanhol). De acordo com De Villota *et al.* (2002), o objetivo principal da metodologia é relacionar de forma clara e acessível parâmetros e problemas relacionados ao meio ambiente e a arquitetura, de modo que os profissionais de ambas as áreas possam desenvolver uma interação recíproca entre suas disciplinas.

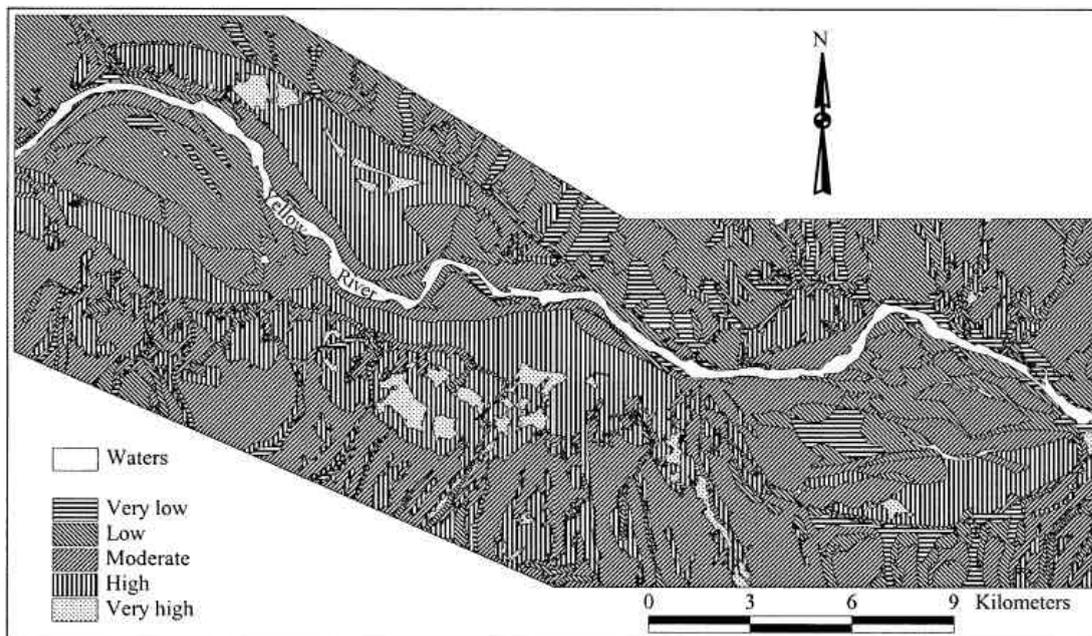


FIGURA 2.5 – Carta de aptidão a disposição de resíduos sólidos (Fonte: Dai *et al.*, 2001).

A metodologia envolve basicamente três etapas. Na primeira ocorre a compilação de dados de ensaios realizados, publicações produzidas consideradas relevantes, mapas temáticos gerais, fotografias aéreas, análise de materiais e projetos envolvidos nas construções já existentes.

Nessa fase é produzido o mapa de recomendações e limitações quanto ao uso (mapa geoambiental) através da união entre o mapa de unidades homogêneas (constituídos pelos planos de informações de declividades, litologias, formas do terreno e domínios geomorfológicos), unidades ambientais (constituídos pelos planos de informações de hidrologia, solos, clima e vegetação) e unidades de paisagem (constituídos pelos planos de informações de qualidades, fragilidade e riscos do meio físico além das atividades humanas desenvolvidas).

A segunda fase envolve a análise e integração dos resultados obtidos na fase anterior de forma a determinar quais parâmetros-chave poderiam estar relacionados com a zona rural e suas interações com meio ambiente local.

Na última etapa da metodologia é determinada a relação entre as características ambientais e de arquitetura, em todos os níveis, de modo a se determinar o grau de integração e compatibilidade entre a arquitetura e o meio ambiente.

METODOLOGIAS NACIONAIS

Metodologia Empregada pelo IG (Vedovello *et al.*, 1999)

Vedovello *et al.* (1999) sugerem a utilização de geoprocessamento em cartografia geotécnica com a finalidade de gestão ambiental. Desse modo, a partir do emprego de sistemas de informação geográficas, associado aos produtos cartográficos geotécnicos produzidos, é construído um sistema gerenciador de informações geoambientais especialmente desenvolvido para a gestão de resíduos sólidos.

De acordo com os autores, uma das principais motivações para a construção do banco de dados geoambientais, foi a necessidade de armazenamento da grande quantidade de dados de natureza geológica-geotécnica colecionados pelo Instituto Geológico de São Paulo através de vários projetos de pesquisa realizados.

Vedovello *et al.* (1999) desenvolveram um sistema de banco de dados voltado a disposição de resíduos industriais e domésticos para a Região Metropolitana de Campinas a partir da análise das características geoambientais que interferem nas condições de segurança do empreendimento e na manutenção da qualidade geoambiental da região.

Os autores obtiveram um sistema de banco de dados geoambientais que além de apresentar as informações geológico-geotécnicas de natureza pontual (perfis geotécnicos, perfis geológicos, sondagens geotécnicas, poços tubulares profundos, atividades de mineração, fotografias aéreas, etc.) também disponibilizou sete produtos cartográficos necessários a gestão dos resíduos, são eles: Mapa de aspectos sócio-políticos; Mapa de compartimentação fisiográfica; Mapa geológico; Mapa de distribuição pluviométrica; Mapa de susceptibilidade a processos de erosão, escorregamentos e inundações; Mapa de vulnerabilidade a poluição dos aquíferos e Mapa de avaliação regional para a disposição de resíduos.

Metodologia Empregada pela CPRM (Dantas, 2000)

Dantas (2000) define zoneamento geoambiental como um diagnóstico físico-biológico, cujo objetivo maior é individualizar zonas homogêneas, com características similares, possibilitando orientar o planejamento do território.

O autor propõe a carta de zoneamento geoambiental para o Estado do Rio de Janeiro a partir do emprego da abordagem geocológica, na qual o ecótono, ou unidade geoambiental, é um produto singular da combinação de elementos geobiofísicos e geoconômicos, que se transformam ao longo do tempo em resposta à dinâmica dos processos desencadeados no meio ambiente.

A proposta metodológica analisa diversos temas tais como: geologia, geomorfologia, pedologia, hidrologia, geotecnia, hidrogeologia, uso do solo, vegetação, clima, infra-estrutura dos serviços, aspectos socioeconômicos e fundiários, e capacidade de uso do solo para fins agrícolas. A metodologia que envolve a construção da carta geoambiental busca delimitar as unidades territoriais em função das combinações mútuas entre fatores do potencial geocológico (condições geológicas, geomorfológicas, climáticas e hidrológicas\hidrogeológicas) e os fatores da exploração biológica, com ênfase para os solos e a vegetação.

Metodologia Empregada pelo IPT (Diniz *et al.*, 1999)

A exemplo da metodologia desenvolvida pelo IG (Vedovello *et al.*, 1999), o IPT (Diniz *et al.*, 1999) considera para a construção de uma base de dados geoambientais para o Estado de São Paulo os produtos gerados a partir da automação da cartografia geológico-geotécnica.

A proposta metodológica possui quatro objetivos principais, são eles:

- a) Apresentar a cartografia como ferramenta para o estudo de processos do meio físico e modelagem de bases de dados geoambientais;
- b) Apresentar diretrizes para o desenvolvimento de base de dados geoambientais em SIG, visando aplicações, como: avaliação ambiental e análise de riscos geológico-geotécnicos;

- c) Propor uma modelagem de bases de dados geoambientais utilizando como estrutura suporte a automação da cartografia geotécnica visando sua aplicação em inventário cartográfico, SIG, multimídia e *home page*;
- d) Elaborar a Base de Dados Geoambientais do Estado de São Paulo, através das etapas de modelagem lógica, modelagem física, planejamento cartográfico, digitalização georeferenciada, geocodificação e a discretização da Carta Geotécnica do Estado de São Paulo em *layers* (camadas).

O enfoque metodológico-cartográfico-geotécnico adotado pelo IPT abrange o contexto que valoriza a solução de problemas existentes ou possíveis, desse modo realiza:

- a) pré-estabelecimento de um modelo espacial que integre o conjunto de problemas verificados e potenciais;
- b) conhecimento das causas e condicionantes dos comportamentos e dos fenômenos;
- c) investigação dirigida através das evidências acessíveis (dados preexistentes, imagens de sensoriamento remoto, investigação de campo, sondagens e ensaios);
- d) uso intenso de todo o universo de dados disponíveis.

De acordo com Diniz *et al.* (1999) o sistema georeferenciado se constitui em importante instrumento para subsidiar as ações de planejamento e uso do solo, tais como: seleção de áreas para implantação de empreendimentos industriais ou residenciais, planos diretores, planos de defesa civil, estudos de impacto ambiental, planejamento e fiscalização de obras, elaboração de cartas de riscos, susceptibilidades e aptidões, seleção de áreas para disposição de resíduos sólidos, dentre outros.

Além disso, a construção da Base de Dados Geoambientais trouxe inúmeras vantagens, no que se refere à melhoria da infra-estrutura de trabalho, à diminuição dos prazos de execução de projetos, e a conseqüente redução de custos.

Metodologia Empregada pela EESC/USP

A metodologia baseia-se em linhas gerais nas etapas e finalidades da cartografia geoambiental realizada principalmente na Espanha. Entretanto, os documentos produzidos seguem os procedimentos utilizados pela cartografia geotécnica desenvolvida para as condições brasileiras propostas por Zuquette (1987), Zuquette & Gandolfi (1990), Zuquette (1993) e Zuquette *et al.* (1997). Além disso, busca-se ainda com a utilização de SIG's (Sistemas de Informação Geográfica) a obtenção de algumas cartas, de forma a explorar seu potencial em cruzamentos automatizados.

A proposta metodológica da EESC/USP analisa basicamente os atributos do meio físico de caráter geomorfológico, geológico e de materiais inconsolidados (comportamento geotécnico), o que produz deste modo, uma série de documentos cartográficos geotécnicos, tais como: carta de declividades, mapa de *landforms*, mapa de substrato rochoso, mapa de materiais inconsolidados, etc.

Uma outra característica da metodologia aparece nos trabalhos de Grecchi (1998) e Lopes (2000). Os autores citados confeccionaram documentos cartográficos que avaliam potencialidades (aptidões) e limitações (susceptibilidades e processos geodinâmicos) do meio físico, conforme mostra a Figura 2.6, cruzando as cartas e mapas geotécnicos propostos pela metodologia da EESC/USP. Na obtenção desses produtos Grecchi (1998) e Lopes (2000) freqüentemente submetem os planos de informação envolvidos (substrato rochoso, materiais inconsolidados, declividades, etc) à análise multicriterial.

De acordo com Lopes (2000) este método de combinação utiliza os atributos através de uma ordenação hierárquica, em uma matriz de correlação paritária, comparando-se a importância relativa de cada atributo, frente ao processo em análise. Esse procedimento é realizado dentro do ambiente SIG, que no caso em questão se processa no *Idrisi*.

A proposta metodológica é aplicada em escalas consideradas regionais (Zuquette, 1993), geralmente 1:50.000. Tal procedimento objetiva, principalmente, contribuir com o planejamento territorial das áreas analisadas, desse modo realizando a análise geoambiental e apontado as potencialidades e limitações do meio físico frente a diversas solicitações.

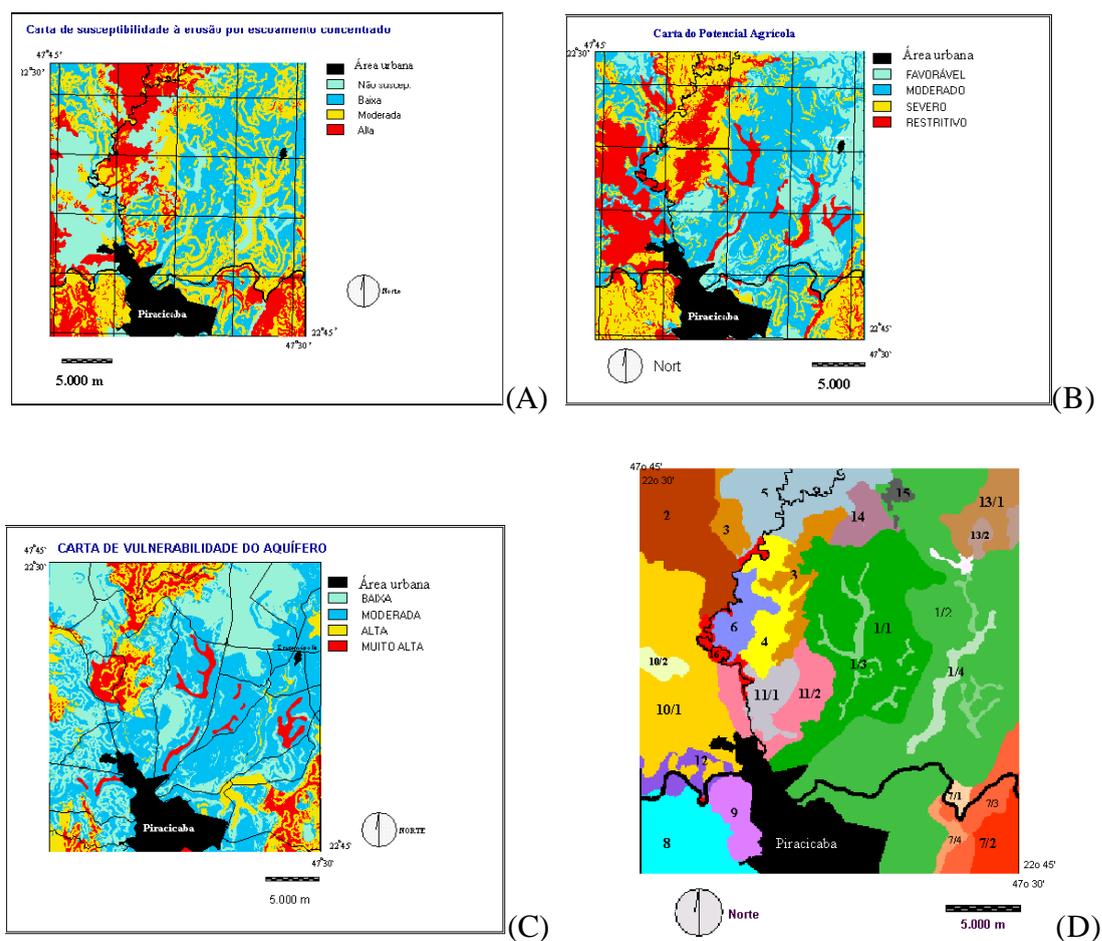


FIGURA 2.6 – Cartas geotécnicas produzidas para a região de Piracicaba (SP), onde: (A) Carta de susceptibilidade à erosão por escoamento concentrado; (B) Carta do Potencial Agrícola; (C) Carta de Vulnerabilidade do Aquífero e (D) Carta de Zoneamento Geoambiental (Fonte: Grecchi & Pejon, 1998).

A metodologia da EESC/USP, sempre em seus estudos geoambientais procura sintetizar todas as informações colecionadas e produzidas em uma Carta de Zoneamento Geoambiental, esta realizada por meio da reclassificação das unidades de terreno (mapa de *landforms*) como mostra a Figura 2.7.

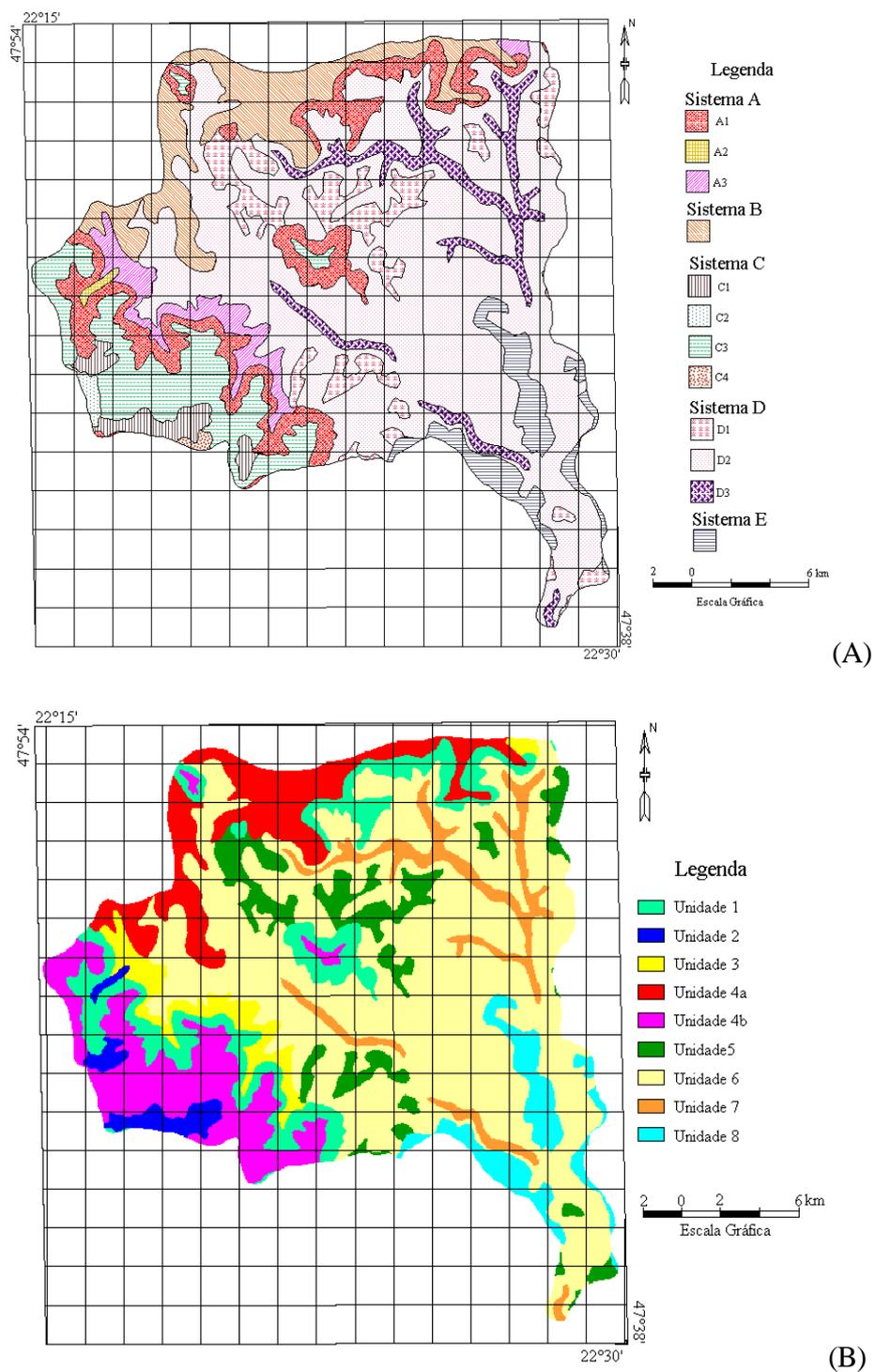


FIGURA 2.7 – Cartas geotécnicas produzidas para as bacias dos Rio Passa Cinco e Rio da Cabeça, ambos afluentes da margem direita do Rio Corumbataí (SP). O ítem (A) corresponde ao Mapa de *Landforms* enquanto (B) a Carta de Zoneamento Geoambiental (Fonte: Lopes & Pejon, 2002).

2.3. Geoprocessamento

O homem vive em um mundo de natureza espacial, sempre lidando diariamente com interações espaciais complexas que formam a maior parte de sua vida diária. Os indivíduos trabalham numa localidade, vivem em outra, interagem com outros indivíduos e instituições espalhadas por uma área substancial. Os seres humanos sempre se encontram tendo que tomar decisões que envolvem conceitos de distância, direção, adjacência, localização relativa e tantas outras mais complexas são tomadas, de modo geral, de maneira intuitiva. A partir dessa situação, o homem desenvolveu ao longo dos séculos o mapa, um modo eficiente de armazenar as informações sobre as complexas relações espaciais (Calijuri, 2000).

De acordo com Câmara & Davis (1999) o geoprocessamento surgiu das primeiras tentativas de automatizar parte do processamento de dados com características espaciais na Inglaterra e nos Estados Unidos, nos anos 50, com o objetivo principal de reduzir custos de produção e manutenção de mapas.

Segundo Câmara & Davis (1999) geoprocessamento é a disciplina do conhecimento que utiliza técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento da informação geográfica e que vem influenciando de maneira crescente as áreas de cartografia, análise de recursos naturais, transportes, comunicação, energia e planejamento urbano e regional.

2.3.1. Sistemas de Informação Geográfica

Os sistemas de informação geográfica (SIG's) ou sistemas de geoprocessamento (Dias, 1993) são as ferramentas computacionais para o geoprocessamento que permitem realizar análises complexas, ao integrar dados de diferentes fontes e ao criar bancos de dados georeferenciados (Figura 2.8).

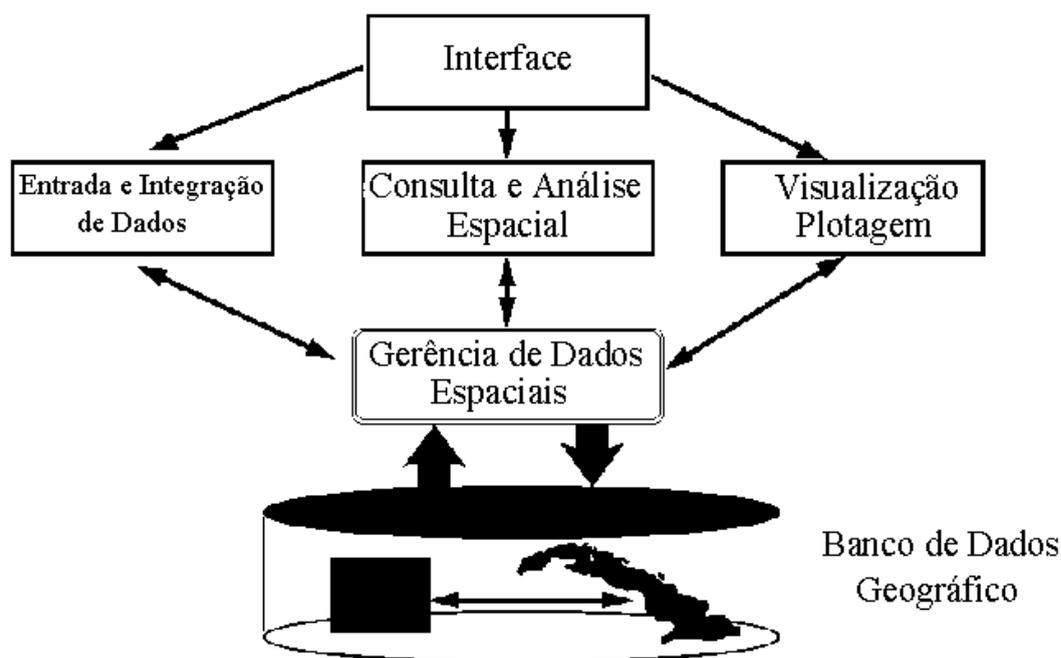


FIGURA 2.8 – Estrutura geral de sistemas de informação geográfica. (Fonte: Davis & Câmara, 1999).

Existem inúmeras definições para SIG, eis alguns exemplos:

“O termo Sistemas de Informação Geográfica (SIG) é aplicado para sistemas que realizam o tratamento computacional de dados geográficos e recuperam informações não apenas com base em suas características alfanuméricas, mas também através de sua localização espacial; oferecem ao administrador (urbanista, planejador, engenheiro) uma visão inédita de seu ambiente de trabalho, em que todas as informações disponíveis sobre um determinado assunto estão ao seu alcance, inter-relacionadas com base no que lhes é fundamentalmente comum -- a localização geográfica. Para que isto seja possível, a geometria e os atributos dos dados num SIG devem estar georeferenciados, isto é, localizados na superfície terrestre e representados numa projeção cartográfica” (Davis & Câmara, 1999).

“Um SIG é um sistema auxiliado por computador para a aquisição, armazenamento, análise e visualização de dados geográficos” (Eastman, 1997).

“Um sistema de Informação geográfica pode ser definido como uma coleção organizada de hardware, software, dados geográficos e pessoal envolvido no trabalho, projetada para, eficientemente capturar, armazenar, atualizar, manipular, analisar e representar todas as formas de informações referida geograficamente” (Calijuri, 2000).

Segundo Davis & Câmara (1999) um SIG tem os seguintes componentes:

- a) Interface com o 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);

De acordo com Salazar Junior (1998) qualquer software de SIG deve contemplar as seguintes características principais descritas abaixo:

- Interface customizável;
- Entrada de dados flexível;
- Conversão de dados;
- Ambiente gráfico (CAD);
- Projeção de mapas;
- Transformação de sistemas de projeção;
- Ambiente de edição;
- Acesso a outras bases de dados tabulares;
- Geração de buffers;
- Consulta espacial e lógica;
- Atualização dinâmica de dados;
- Armazenamento de dados tabulares;
- Geocodificação e busca por endereço;
- Análises de redes;
- Modelagem de localização/alocação;
- Modelagem de superfícies;
- Modelagem raster;
- Análise de superfícies;
- Produção de mapas

Segundo Calijuri (2000) pode-se realizar nos SIG's uma série de análises , tais como otimizar o sistema de transporte coletivo; avaliar a tendência preferencial de crescimento dos bairros; definir a forma pela qual se deve proceder ao avanço das redes de infraestrutura urbana (água, esgoto, pavimentação, iluminação, telefonia, etc); definir os locais estratégicos para a instalação de postos de saúde, hospitais, creches, escolas, áreas de lazer, áreas potenciais de ocupação residencial e industrial; avaliar a percentagem de cobertura natural e cultivada pelo homem; determinar a extensão de áreas industriais e residenciais, agrícolas, etc.

Zuquette *et al.*(1997) alertam os usuários de SIG na realização de operações de análise geográfica pois muitos profissionais vêm cometendo graves erros ao considerar que os SIG's, ou até mesmos programas similares, produzem informações diretas sobre o meio físico, ou que podem desconsiderar a obtenção de informação referente aos componentes ambientais. Tal tipo de procedimento provoca sérios prejuízos, uma vez que só reúnem recursos de desempenho, de tratamento estatístico e de banco de dados em um mesmo conjunto, e, portanto serão eficientes somente se o conjunto for utilizado para tratar um número significativo de atributos obtidos por procedimentos criteriosos, e que tenham validade para o tratamento areal.

Segundo Dias (1993), antes do uso do SIG, o tratamento das informações geográficas era composto por cadastros de dados informatizados e pelo cruzamento de planos de informação (atributos) de forma manual. Esse procedimento inibia o desenvolvimento de um grande número de aplicações, devido à evidente demora e alto custo homem/hora de desenvolvimento.

De acordo com Medeiros & Camara (2002) o uso da tecnologia dos sistemas de informação geográfica apontam para quatro campos de atuação ligados aos Estudos Ambientais, são eles:

- a) *Mapeamento Temático*: objetivam a caracterização e o entendimento da organização do espaço como ponto de partida para o estabelecimento das bases para ações e estudos futuros. Como exemplos podem-se citar levantamentos temáticos geológicos, geomorfológicos, pedológicos, de cobertura vegetal.

- b) *Diagnóstico Ambiental*: visam estabelecer estudos particulares sobre regiões de interesse, basicamente voltados a projetos de ocupação ou preservação. Incluem-se nessa categoria Relatórios de Impacto Ambiental (RIMAs) e os estudos visando o estabelecimento de Áreas de Proteção Ambiental (APAs).
- c) *Avaliação de Impacto Ambiental*: objetivam o monitoramento dos resultados da intervenção humana sobre o ambiente. Levantamentos como o feito pelo SOS Mata Atlântica sobre o remanescente de floresta na costa leste brasileira é um exemplo de estudo de Avaliação de Impacto Ambiental
- d) *Ordenamento Territorial e os Prognósticos Ambientais*: buscam normalizar a ocupação do espaço, procurando racionalizar a gestão do território, levando em consideração o conceito de desenvolvimento sustentado. (Zoneamentos Ecológico-Econômicos, Zoneamentos Geoambientais).

Devido as suas poderosas ferramentas de manipulação e análise de dados geográficos, tais como: análise geográfica (consulta ao banco de dados, operações booleanas e matemáticas entre mapas), processamento digital de imagens e modelagem numérica de terreno (geração de mapas de declividade, visualização 3D, cálculos de volumes) diversos estudos geoambientais vêm utilizando os SIGs, atuando principalmente nos campos de mapeamento temático e ordenamento territorial (Grecchi, 1998; Lopes, 2000).

2.4. Análise de Agrupamentos de Informações Geoambientais (Cluster Analysis)

De acordo com Landim (2001) a análise de agrupamentos (*cluster analysis*) é um termo usado para descrever uma infinidade de técnicas numéricas cujo objetivo principal é classificar os valores de uma matriz de dados sob estudo em grupos discretos. Tal técnica classificatória multivariada pode ser utilizada quando se deseja explorar as similaridades entre indivíduos (modo Q) ou entre variáveis (modo R) definindo-os em grupos, considerando simultaneamente, no modo Q, todas as variáveis medidas em cada indivíduo e, no modo R, todos os indivíduos nos quais foram feitas as mesmas mensurações.

Ainda segundo o autor, dentre as técnicas numéricas de análise de agrupamentos empregadas em geologia, os métodos por agrupamentos hierárquicos são os mais utilizados. Nesses, a partir da matriz inicial de dados obtém-se uma matriz simétrica de similaridades e inicia-se a detecção de pares de casos com a mais alta similaridade, ou a mais baixa distância; para essa combinação, segundo níveis hierárquicos de similaridade, escolhe-se entre os diversos procedimentos aglomerativo de tal modo que cada ciclo de agrupamento obedeça a uma ordem sucessiva no sentido do decréscimo de similaridade.

Landim (2001) destaca que os coeficientes de similaridade representam o grau de semelhança entre pares de objetos e como os mesmos deverão ser arranjados de acordo com os respectivos graus de similaridade de modo a ficarem agrupados segundo uma disposição hierárquica. Os resultados quando organizados em gráfico, do tipo dendrograma, mostrarão as relações das amostras agrupadas.

Na análise introdutória de matrizes de dados, a análise de agrupamentos se torna bastante eficiente para auxiliar na formulação de hipóteses a respeito da homogeneidade de dados de natureza multivariada, o que vem a ajudar quando se quer analisar, por exemplo quanto essa homogeneidade se desenvolve entre atributos do meio físico levantados em estudos ambientais, principalmente pela variabilidade e quantidade de dados manipulados nestes estudos.

CAPÍTULO 3 – MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Métodos de Trabalho

O método de trabalho empregado nessa pesquisa, cuja finalidade é desenvolver um zoneamento geoambiental para área estudada associando a esse a utilização de SIG's, baseou-se na proposta metodológica de desenvolvimento da cartografia geotécnica para as condições brasileiras de Zuquette (1987), Zuquette & Gandolfi (1990), Zuquette (1993) e Zuquette *et al.* (1997).

Assim, por meio de trabalhos de gabinete, campo e laboratório foram produzidos oito documentos cartográficos geotécnicos (mapas de documentação, substrato rochoso, materiais inconsolidados, *landforms*, uso e ocupação além das cartas de declividades, potencial agrícola e zoneamento geoambiental) integrados a dois sistemas de informação geográfica, um baseado no formato vetor (*ArcView 3.1*) e o outro no raster (*Idrisi 32*).

3.1.1. Trabalhos de Gabinete

Os trabalhos de gabinete tiveram diversas etapas, são elas: revisão bibliográfica; elaboração dos produtos cartográficos geotécnicos preliminares; obtenção dos dados, tratamento e análise das informações; integração das informações produzidas aos sistemas de informação geográfica *Idrisi 32* e *ArcView 3.1*; produção dos produtos cartográficos geotécnicos intermediários e dos definitivos; realização do zoneamento geoambiental para área em estudo e redação final da pesquisa.

É importante frisar que essas etapas não foram realizadas de modo seqüencial como previamente definido (excetuando as duas primeiras) em razão da atuação de um complexo conjunto interativo, de modo que, à medida que novas informações eram adicionadas aos sistemas de informação geográficas essas acabavam influenciando em todos os passos (Figura 3.1).

Durante a fase de revisão bibliográfica foram levantadas informações tanto acerca de metodologias de zoneamento geoambientais baseados em estudos geológicos-geotécnicos, quanto de estudos de caracterização do meio físico para a área pesquisada.

Os resultados dessa etapa apontaram que o zoneamento geoambiental deveria tomar como base a proposta metodológica de desenvolvimento da cartografia geotécnica para as condições brasileiras de Zuquette (1987), Zuquette & Gandolfi (1990), Zuquette (1993) e Zuquette *et al.* (1997).

Com relação a caracterização do meio físico, foram selecionados os estudos de Cavalcante *et al.* (1979), IPT (1981), PROJETO RADAMBRASIL (1983), Oliveira *et al.* (1983) e Liporaci (1994). Em complemento a esta fase foram adquiridas cartas topográficas, fotografias aéreas, imagens de satélite da área além de fichas de campo por meio de consulta ao banco de dados da CPRM.

De posse desses dados foram produzidos, a partir de fotointerpretação, os mapas preliminares de *landforms* e substrato rochoso, onde este último contou com a compilação dos documentos produzidos por Oliveira *et al.* (1983) e Liporaci (1994).

A medida que os trabalhos de campo e de laboratório foram se desenvolvendo, através das etapas de tratamento e análise das informações com integração aos SIG's Idrisi 32 e ArcView 3.1, foram superadas as diversas fases intermediárias de construção dos documentos cartográficos, desse modo foi obtido como produto final o conjunto cartográfico geotécnico formado por cinco mapas e três cartas.

As últimas etapas de gabinete realizadas foram acerca do desenvolvimento da metodologia de construção da carta de zoneamento final e da redação final do texto da dissertação.

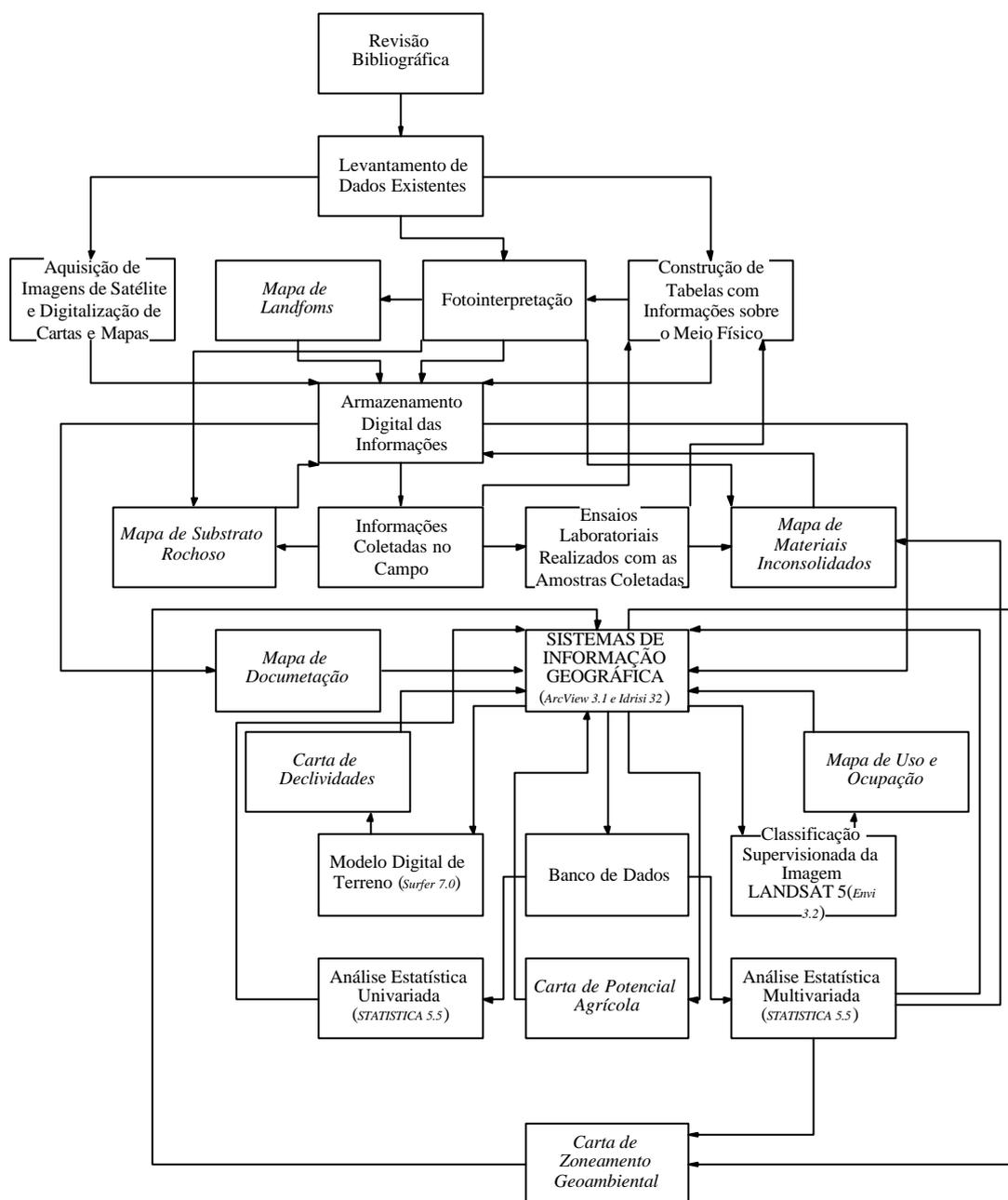


FIGURA 3.1 – Fluxograma mostrando as diversas interações entre as etapas de trabalho executadas na pesquisa.

O detalhamento dos procedimentos utilizados para elaboração de cada um dos documentos cartográficos geotécnicos está descrito nos capítulos 5 (Obtenção dos Dados, Tratamento e Análise das Informações) e 6 (Carta de Zoneamento Geoambiental).

3.1.2. Trabalhos de Campo

Os trabalhos de campo foram realizados com o objetivo de caracterizar o meio físico quanto aos componentes avaliados nessa pesquisa (substrato rochoso, materiais inconsolidados e *landforms*) além do padrão de uso e ocupação e a presença de eventos geodinâmicos na área estudada.

Desse modo, com relação ao substrato rochoso, foram analisados vários aspectos como litologia predominante, mineralogia, cor, padrão e grau de fraturamento. Os materiais inconsolidados, por sua vez, foram caracterizados quanto a sua origem, cor, espessura, composição textural, homogeneidade e grau de intemperismo de acordo com a proposta da GEOLOGICAL SOCIETY (1995) como mostra a Figura 3.2. As unidades de terreno, delimitadas para o mapa de *landforms*, a partir dos trabalhos de campo, tiveram os seus perfis geológico-geotécnicos definidos e descritos.

3.1.3. Trabalhos de Laboratório

Os trabalhos de laboratório se desenvolveram exclusivamente sobre as amostras de materiais inconsolidados deformadas e indeformadas, onde estas últimas foram obtidas no campo a partir de anéis de PVC de diâmetro em torno de 7,45 cm e altura de 4,65 cm, segundo proposto por Zuquette (1987).

Além dos ensaios de granulometria conjunta (ABNT NBR 7181), fundamentais na classificação dos materiais inconsolidados, esses materiais também foram caracterizados em função de sua capacidade de troca catiônica (CTC), de acordo com Pejon (1992), a partir do ensaio de azul de metileno.

Valores de massa específica dos sólidos (ABNT NBR 6508) foram determinados para todos os pontos amostrados. Nos locais onde houve a coleta de amostras indeformadas foram obtidos outros índices físicos como massa específica seca (ρ_d), índice de vazios (e), porosidade (n) e grau de saturação (S_r).

FICHA DE CAMPO

DATA ___/___/___

Long.: _____ Perfil de alteração: Não Sim Talude natural
 Latit.: _____ Rocha: Não Sim Corte de estrada
 Landform: _____ Foto: Não Sim _____ Afloramento
 Amostra: Não Sim _____

SUBSTRATO ROCHOSO						
Tipo litológico	Mineralogia	Cor	Espessura	Forma de jazimento	Foliação / Lineação	Fraturamento
MATERIAL INCONSOLIDADO						
Origem	Cor	Espessura	Composição	Classificação	Linha de seixo	Homogeneidade
GRAU DE INTENPERISMO						
RESISTÊNCIA	PRODUÇÃO DE SOM PELO MARTELO	DESCOLORAÇÃO				
Alta resistência sob a ação do martelo	Som de sino Som suave Som oco	Sem descoloração Só ao longo das descontinuidades No geral, completamente descolorado				
Moderada a alta resistência sob a ação do martelo	TEXTURA ORIGINAL DA ROCHA Rocha sã Textura preservada Textura destruída	Completamente descolorado				
Não quebra com as mãos mas fácil com o martelo Pode ser quebrado com as mãos em pequenas peças Pode ser desagregado com as mãos e dedos		QUANTO AO ENTALHE DA PONTA DO MARTELO Rocha sã Facilmente entalhada				
Espessura _____	Foto: Não Sim _____	Amostra: Não Sim _____				
RESISTÊNCIA	PRODUÇÃO DE SOM PELO MARTELO	DESCOLORAÇÃO				
Alta resistência sob a ação do martelo	Som de sino Som suave Som oco	Sem descoloração Só ao longo das descontinuidades No geral, completamente descolorado				
Moderada a alta resistência sob a ação do martelo	TEXTURA ORIGINAL DA ROCHA Rocha sã Textura preservada Textura destruída	Completamente descolorado				
Não quebra com as mãos mas fácil com o martelo Pode ser quebrado com as mãos em pequenas peças Pode ser desagregado com as mãos e dedos		QUANTO AO ENTALHE DA PONTA DO MARTELO Rocha sã Facilmente entalhada				
Espessura _____	Foto: Não Sim _____	Amostra: Não Sim _____				
RESISTÊNCIA	PRODUÇÃO DE SOM PELO MARTELO	DESCOLORAÇÃO				
Alta resistência sob a ação do martelo	Som de sino Som suave Som oco	Sem descoloração Só ao longo das descontinuidades No geral, completamente descolorado				
Moderada a alta resistência sob a ação do martelo	TEXTURA ORIGINAL DA ROCHA Rocha sã Textura preservada Textura destruída	Completamente descolorado				
Não quebra com as mãos mas fácil com o martelo Pode ser quebrado com as mãos em pequenas peças Pode ser desagregado com as mãos e dedos		QUANTO AO ENTALHE DA PONTA DO MARTELO Rocha sã Facilmente entalhada				
Espessura _____	Foto: Não Sim _____	Amostra: Não Sim _____				
LANDFORM						
FORMA DE RELEVO	FORMA DA ENCOSTA	POSIÇÃO DE RELEVO	VALE			
Morro Colina Vale Morrote Escarpa	Convexa Côncava Retilínea Outra _____ Não	Topo Sopé Encosta Aplainada	U V POSIÇÃO DO VALE Encosta Planície			
USO	PROCESSO GEODINÂMICO ASSOCIADO	OBSERVAÇÕES				
Ausente Residenc. urbano Residenc. rural Turístico Industrial _____ Pasto _____ Plantio _____ Exploração mineral	Escorregamento Erosão Assoreamento Inundação INFORMAÇÕES ADICIONAIS Solo Não Sim N.A. Não Sim Fonte Não Sim					

FIGURA 3.2 – Ficha de campo utilizada na pesquisa.

3.2. Materiais Utilizados

Os mapas, as cartas, as fotografias aéreas, as imagens de satélite, os equipamentos de campo e os *softwares* utilizados para execução dessa pesquisa apresentam-se listados abaixo:

Documentos Cartográficos

- ✓ Folhas topográfica publicada pelo IBGE (escala 1:50.000) de Caconde (SF-23 V-C-VI-2)
- ✓ Folhas topográfica publicada pelo IBGE (escala 1:50.000) de Botelhos (SF-23-V-D-IV-1)
- ✓ Folhas topográfica publicada pelo IBGE (escala 1:50.000) de Poços de Caldas (SF-23 V-C-VI-4)
- ✓ Folhas topográfica publicada pelo IBGE (escala 1:50.000) de Caldas (SF-23-V-D-IV-1).
- ✓ Mapa geológico das porções paulista das quadrículas de Caconde e Guaxupé na escala 1: 50.000 (Oliveira *et al.*, 1983)
- ✓ Mapa de substrato rochoso de parte do Município de Poços de Caldas (MG) – escala: 1:25.000 (Liporaci, 1994)

Fotografias Aéreas

- ✓ trinta e três fotografias aéreas convencionais da FAB/USAF obtidas por meio de vôos realizados entre 1964 e 1966 executados com escala aproximada de 1:60.000.

Imagens de Satélites

- ✓ sete imagens do LANDSAT 5 (uma para cada banda) datadas de setembro de 1999.

Equipamentos Utilizados nas Etapas de Campo

- ✓ Martelo geológico
- ✓ Bússola Brunton
- ✓ Máquina Fotográfica
- ✓ Aparelho de GPS

- ✓ Sacos Plásticos (20 x 40 cm)
- ✓ Anéis de PVC (7,45 x 4,65 cm)
- ✓ Um Par de Espátulas

Principais Softwares Utilizados na Pesquisa

- ✓ *AutoCad Map* ® 2000 – Digitalização dos planos de informações.
- ✓ *Idrisi* ® 32 – Cálculo da declividade e operações matemáticas utilizando os diversos planos de informações.
- ✓ *ArcView GIS* ® 3.1 – Banco de dados associados aos planos de informações.
- ✓ *Envi* ® 3.2 – Processamento Digital de Imagens.
- ✓ *Statistica* ® 5.5 – Análises estatísticas com dados univariados e multivariados.
- ✓ *Surfer* ® 7.0 – Modelagem digital de terreno.

CAPÍTULO 4 – CARACTERIZAÇÃO GERAL DA ÁREA EM ESTUDO

4.1 Localização, Tamanho da Área e Acesso

O local objeto dessa pesquisa situa-se à nordeste do Estado de São Paulo incluindo porção do Município de Caconde (SP), estendendo-se para parte dos Municípios de Botelhos e Poços de Caldas no Estado de Minas Gerais (Figura 4.1).

A área estudada localiza-se entre as coordenadas 324 km e 360 km UTM (EW) e 7580 km e 7616 km UTM (NS) pertencentes à Zona 23 do Hemisfério Sul tendo como Datum Horizontal o de Córrego Alegre (MG) e o Vertical o de Marégrafo Imbituba (SC). O Elipsóide de referência é o .SAD-69.

A área de pesquisa compreende a superfície da sub-bacia hidrográfica representada pelo conjunto de drenagens da Bacia do Rio Pardo direcionadas ao reservatório da Hidroelétrica de Caconde, excetuando a área de drenagem da Represa de Bortolan (Poços de Caldas, MG), o que totaliza 482,31 km².

O acesso pode ser feito através da Cidade de Campinas (SP) pela Rodovia Anhanguera no sentido do interior do Estado de São Paulo até o Km 134. Nesse ponto, o acesso continua pela rodovia estadual SP 340 até a Cidade de Águas da Prata (divisa como Estado de Minas Gerais). No lado mineiro, o acesso continua pela rodovia federal BR 267 até a Cidade de Poços de Caldas onde se atinge a porção sul da área estudada.

4.2 Clima

O clima segundo Cavalcante *et al.* (1979) é classificado de acordo com a classificação de Köppen como tropical úmido, esse caracterizado por uma estação seca (julho à setembro) e uma chuvosa bem definida (dezembro à fevereiro).

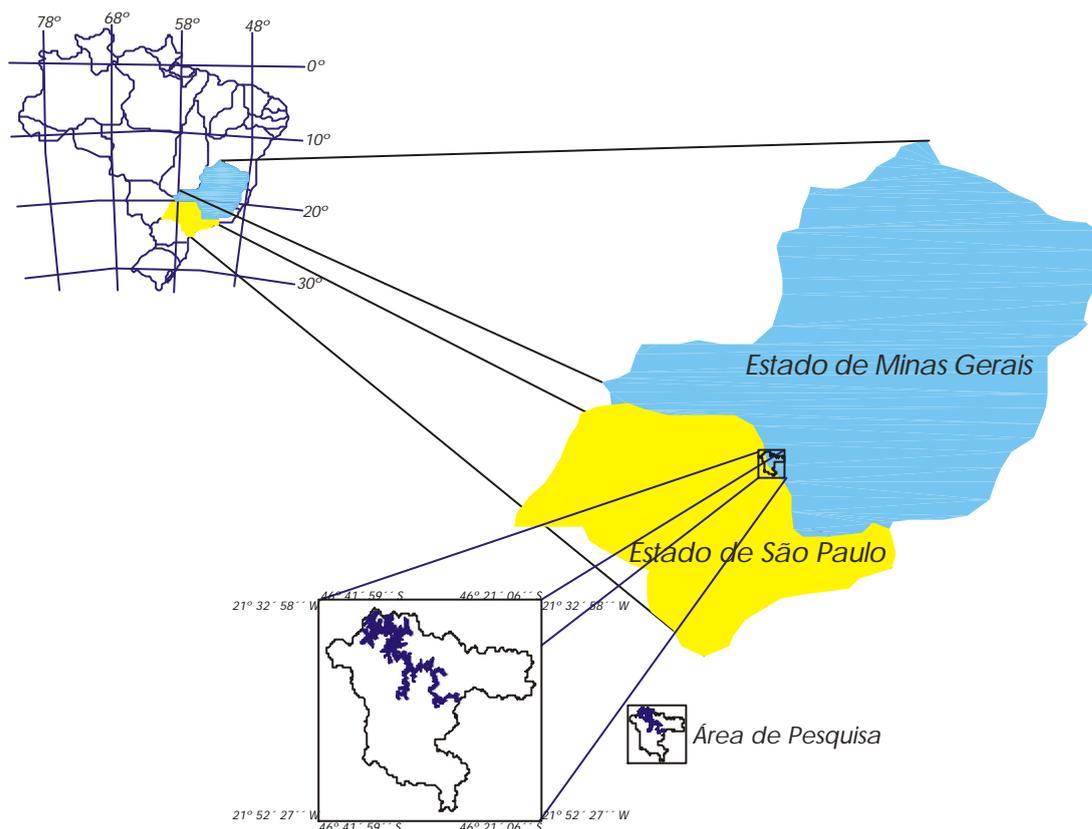


FIGURA 4.1 – Localização da área em estudo.

A região apresenta pequenas variações pluviométricas e de temperatura. A temperatura média do mês mais frio é inferior a 18° C e a do mês mais quente 22° C. O índice pluviométrico anual varia entre 1.100 mm e 1.700 mm (PROJETO RADAMBRASIL, 1983).

4.3 Vegetação

De acordo com Lima (1966) *apud* Cavalcane *et al.* (1979) a cobertura vegetal da área estudada é representada pela Floresta Mesófila, que corresponde a uma formação florestal estacional, latifoliada, subcaducifólia. Seus tipos vegetais mais comuns são: o cedro, a figueira e o pau d'álho.

Em proporções quantitativas, a vegetação nativa quase não pode ser mais observada, o intenso uso e ocupação humana promoveram a substituição da cobertura vegetal original pelos campos de pastagem e áreas de lavoura (principalmente café). Os resquícios de floresta são praticamente só encontrados nas encostas com altas declividades.

4.4 Solos

Segundo Cavalcante *et al.* (1979) na região estudada em função da influência de um clima relativamente quente e de precipitações abundantes, que promovem a lixiviação dos elementos solúveis e o acúmulo de ferro e alumínio, predominam fundamentalmente os latossolos.

O latossolo mais comum é o do tipo vermelho-escuro, esse caracterizado por apresentar um horizonte B latossólico (espesso e homogêneo) de coloração vermelha onde a textura varia de média a argilosa. Em diversas porções sobre as litologias do maciço alcalino, onde se desenvolveram intensos processos alteração secundária, é possível encontrar a presença de grandes depósitos lateríticos.

4.5 Geomorfologia

O contexto geomorfológico, de acordo com o IPT (1981), é formado pelo Planalto Atlântico, especificamente pela porção norte da Serrania de Lindóia, e o Planalto de Caldas.

Na Serrania de Lindóia o relevo é caracterizado por Serras Alongadas e Morros de Serras Restritas. Os primeiros são formados por elevações de topos angulosos, vertentes ravinadas e de perfis retilíneos, por vezes abruptas formando vales fechados e apresentando alta densidade de drenagem. Os Morros de Serras Restritas constituem-se de morros com topos arredondados, vertentes retilíneas abruptas, com alta densidade de drenagem em padrão dendrítico a pinulado com vales fechados e planícies aluvionares interiores restritas.

No Planalto de Poços de Caldas as formas de relevo são condicionadas pelo Maciço Alcalino de Poços de Caldas, sendo a porção interna do relevo marcada por um relevo de Mar de Morros e as bordas deste marcada por Linhas de Crista de Escarpa.

4.6 Geologia Regional

Em termos regionais, de acordo com Cavalcante *et al.* (1979), o contexto geológico da área de pesquisa é representado pelas rochas pré-cambrianas do Complexo Varginha e as rochas do Complexo Alcalino de Poços de Caldas, estas formadas na transição dos períodos Cretáceo Superior/Terciário (Mesozóico/Cenozóico).

As litologias que predominam no Complexo Varginha são granulitos ácidos e básicos, gnaisses granitóides diversos, gnaisses graníticos e anfibolíticos e com menor expressão quartzitos, rochas cálcio-silicáticas e mármore. No Complexo Alcalino de Poços de Caldas a predominância petrográfica é de foiaítos, fonólitos, tinguaitos e rochas potássicas.

Do ponto de vista geológico-estrutural, no que se refere as relações de contato com outros complexos, no Complexo Varginha processam-se por falhas de grande envergadura, observadas ou prováveis, estas últimas traduzindo-se em lineamentos marcados por xistificação, recristalizações superpostas e ação hidrotermal-pegmatítica.

Ainda segundo Cavalcante *et al.* (1979), a fase vulcânica alcalina de Poços de Caldas está intimamente relacionada aos movimentos verticais de grande amplitude que atingiram o Complexo Varginha durante o Terciário. Tal atividade resultou no desenvolvimento de uma intensa atividade hidrotermal e de um padrão de flaturamento radial que pode ser facilmente observado ao longo de todo Maciço Alcalino.

4.7 Aspectos Sócio-econômicos

A área em estudo abrange o município paulista de Caconde e os mineiros de Botelhos e Poços de Caldas, entretanto engloba somente as sedes municipais dos dois últimos.

Em Botelhos, de acordo com dados do censo do IBGE (2000), a população do município é de 15.103 habitantes. A parcela economicamente ativa se distribui principalmente nos setores agropecuário, extração vegetal e pesca, seguida pela atividade industrial, comércio de mercadorias, transporte e comunicações. A infra estrutura educacional conta somente com o ensino básico e fundamental. O município possui um único hospital mantido pelo Sistema Único de Saúde (SUS).

Ainda segundo o censo do IBGE (2000), o Município de Poços de Caldas possui uma população de 135.343 habitantes. O setor industrial é o que mais emprega a parcela da população economicamente ativa, sendo seguido pelo comércio de mercadorias, agropecuário, extração vegetal, pesca, transporte e comunicações. Do ponto de vista educacional o município conta com o ensino básico, fundamental, profissionalizante e superior. O serviço de saúde apresenta quatro hospitais o que totaliza 651 leitos.

CAPÍTULO 5 – OBTENÇÃO DOS DADOS, TRATAMENTO E ANÁLISE DAS INFORMAÇÕES

5.1. Documentos Cartográficos Elaborados

Para esse trabalho os documentos cartográficos elaborados (todos na escala 1:50.000 e no formato CAD) foram concebidos baseando-se na proposta metodológica de desenvolvimento da cartografia geotécnica para as condições brasileiras de Zuquette (1987), Zuquette & Gandolfi (1990), Zuquette (1993) e Zuquette *et al.* (1997).

Tal proposta se fundamenta na produção e análise de um conjunto de documentos cartográficos que tem o objetivo de representar o meio físico a partir dos seus principais atributos. Além disso, permite o zoneamento de uma área em função do cruzamento dos documentos cartográficos produzidos, apontando suas potencialidades e restrições dependendo da solicitação a qual é submetida.

5.1.1. Mapa de Documentação

O mapa de documentação (ANEXO I) apresenta informações relativas à rede hidrográfica, à malha viária, à topografia, ao perímetro urbano, ao limite da área em estudo além dos pontos visitados que foram utilizados na pesquisa.

A construção do mapa de documentação se iniciou com a seleção e o escaneamento dos elementos gráficos (Figura 5.1) presentes nas folhas topográficas publicadas pelo IBGE (escala 1:50.000) de Caconde (SF-23 V-C-VI-2), Botelhos (SF-23-V-D-IV-1), Poços de Caldas (SF-23 V-C-VI-4) e Caldas (SF-23-V-D-IV-1).

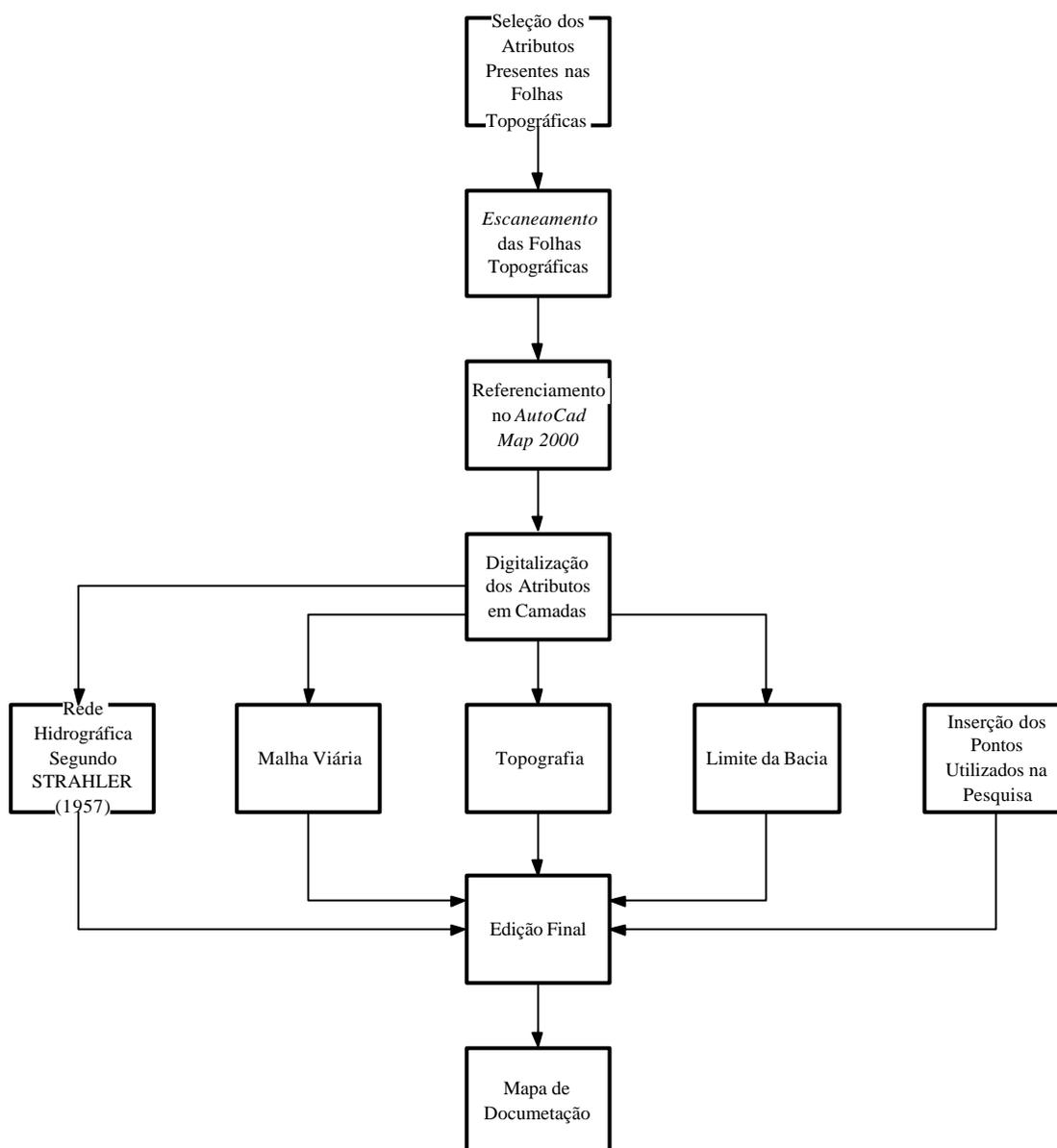


FIGURA 5.1 – Etapas seguidas para a construção do Mapa de Documentação.

Superadas essas etapas, as folhas topográficas foram referenciadas e tiveram digitalizados seus atributos previamente escolhidos (rede hidrográfica, malha viária, topografia, perímetro urbano, limite da área em estudo) utilizando o *software AutoCAD Map® 2000*.

Os procedimentos seguidos para a digitalização das folhas topográficas foram os mesmos que convencionalmente são adotados para os trabalhos desenvolvidos em cartografia geotécnica pela EESC-USP (Lopes, 2000). Contudo, especificamente para a rede hidrográfica os canais fluviais foram digitalizados em diferentes camadas de acordo com a hierarquização estabelecida Strahler (1957), conforme mostra a Figura 5.2.

A etapa seguinte se concentrou na inserção dos pontos visitados utilizados na pesquisa, totalizando um número de 134. Vinte destes pontos são provenientes de informações preexistentes obtidas a partir da consulta do banco de dados da CPRM (sistema MICROSIR). Os outros 114 pontos procedem das etapas de campo realizadas, sendo que em 52 destes foram coletadas amostras de materiais inconsolidados para serem submetidas a ensaios laboratoriais.

O último estágio na construção do mapa de documentação foi a edição final das camadas que compõem o arquivo (edição das curvas que pertencem a bacia, ajustes no tipo e tamanho de fontes que compõem a legenda, etc).

5.1.2. Carta de Declividades

A carta de declividades (ANEXO II) é um documento cartográfico imprescindível e indispensável para o estudo de uma área do ponto de vista geotécnico, pois fornece informações sobre a inclinação do terreno de maneira prática e de fácil uso.

A carta de declividades pode ser confeccionada por meios convencionais (construção e uso de ábaco) apresentados por De Biasi (1970), Aguiar & Kreling (1984), De Biase (1992) e Sanchez (1993) ou por meios computadorizados (uso de algoritmos) através de SIG's.

Meios convencionais e computadorizados possuem vantagens e desvantagens. Assim, cabe ao usuário decidir por um ou por outro meio, dependendo da finalidade e do tempo disponível para a execução (Tabela 5.1). Para esse trabalho, optou-se pela utilização de meios computadorizados uma vez que se considerou superados seus aspectos não vantajosos.

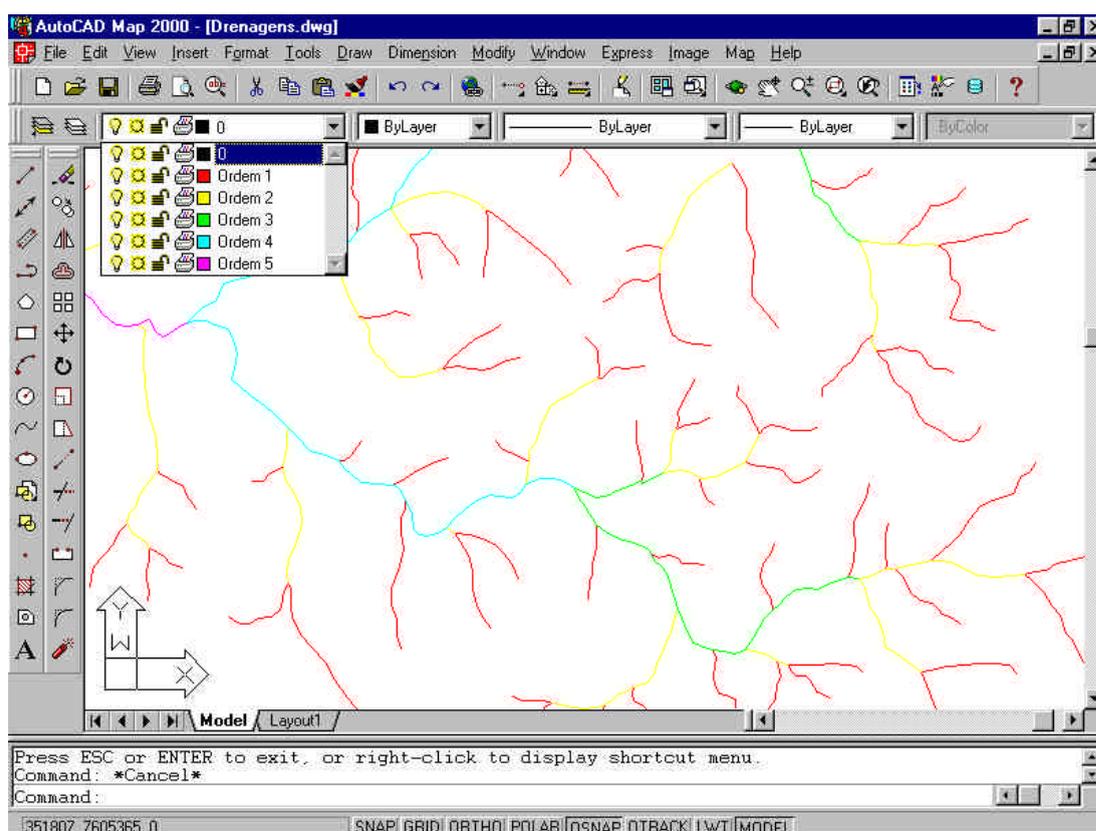


FIGURA 5.2 – Hierarquização da rede hidrográfica e digitalização em diferentes camadas.

A maioria dos algoritmos, nos SIG's, responsáveis pela geração da declividade exigem uma grande quantidade de informações altimétricas. Basicamente os SIG's utilizam dados extraídos de arquivos matriciais (malha regular) dos modelos numérico de terreno (MNT's), estes, frutos da interpolação de arquivos vetoriais que contém curvas de nível e pontos cotados.

O estágio primário de preparação da carta de declividades iniciou-se aproveitando-se a digitalização das camadas do atributo topográfico realizada anteriormente para o mapa de documentação (Figura 5.3). O arquivo, que a princípio possuía outros atributos (rede hidrográfica, malha viária, etc.) e estava no formato DWG, foi salvo em nova versão com o formato DXF, somente com as camadas relativas as cotas das curvas de nível e dos pontos cotados.

TABELA – 5.1 Comparação entre vantagens e desvantagens na construção da carta de declividades por meios convencionais e computacionais.

	Vantagens	Desvantagens
<i>Meios Convencionais (construção e uso de ábacos)</i>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Requer um período de tempo mais curto na confecção Quando a carta possuir poucas classes de declividades. ✓ A carta é sempre construída com sucesso. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ O aumento no número de classes de declividades acresce o tempo de construção da carta. ✓ O usuário não pode modificar o número de classes de declividades uma vez iniciado o processo de confecção da carta.
<i>Meios Computacionais (utilização de algoritmos por SIG's)</i>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ O aumento no número de classes de declividades não acresce o tempo de construção da carta. ✓ O usuário além de poder modificar o número de classes de declividades uma vez iniciado o processo de confecção da carta, também pode construir novas cartas com outros intervalos de classes de modo instantâneo. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Requer um período de tempo maior na confecção principalmente na digitalização da topografia e definição do melhor MNT. ✓ Depende da experiência do usuário na construção de um bom MNT. ✓ O produto final pode não representar a realidade.

No passo seguinte promoveu-se a conversão do arquivo de desenho vetorial para o formato de planilha (DAT) utilizado o *freeware dxf2xyz 1.3* (www.guthcad.com.au). A partir desse procedimento, os campos que compõem a tabela registram informações relativas a longitude, a latitude e a altitude de cada ponto digitalizado.

O *software Surfer® 7.00* foi escolhido para geração do MNT, pois este reúne um grande número de algoritmos de interpolação com diversas opções, são eles: Inverso da Potência da Distância (*Inverse Distance to a Power*), Krigagem (*Kriging*), Mínima Curvatura (*Minimum Curvature*), Método Modificado de Shepard (*Modified Shepard's Method*), Vizinho Natural (*Natural Neighbor*), Vizinho mais Próximo (*Nearest Neighbor*), Regressão Polinomial (*Polynomial Regression*), Função de Base Radial (*Radial Basis Fuction*) e Triangulação com Interpolação Linear (*Triangulation with Linear Interpolation*).

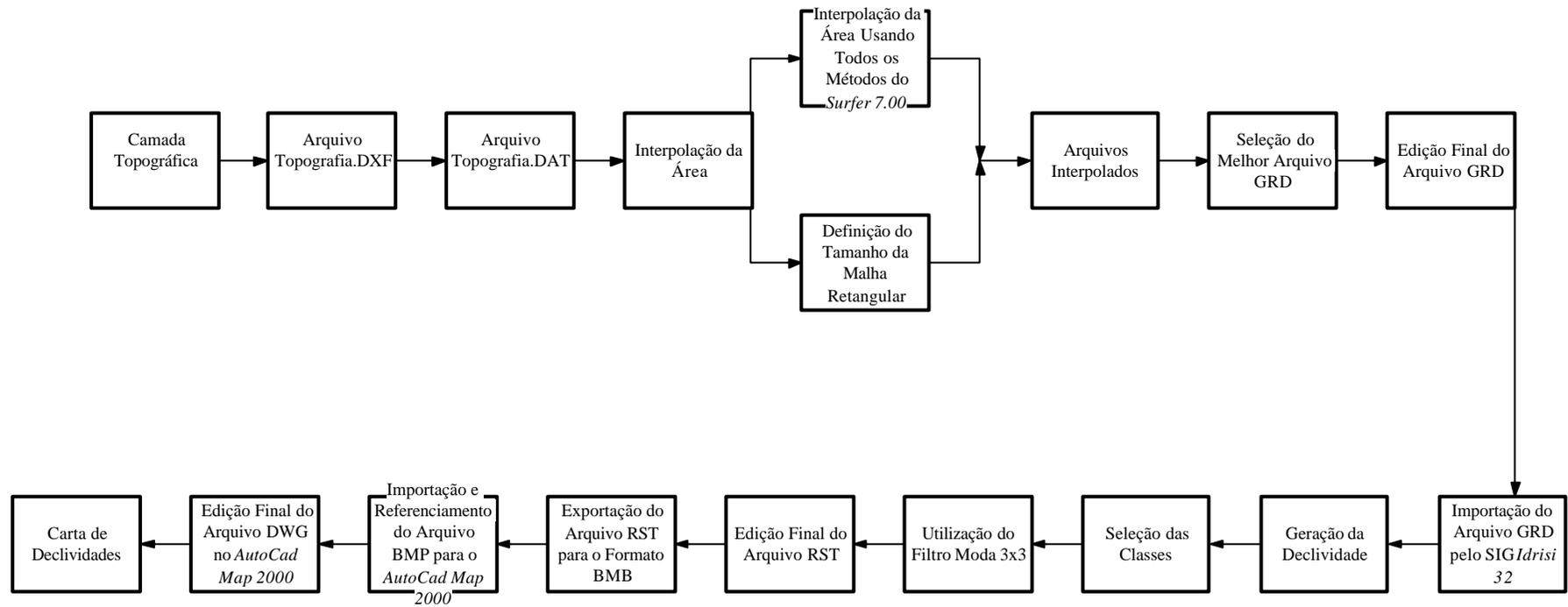


FIGURA – 5.3 Etapas seguidas para construção da Carta de Declividades.

Todos os métodos foram empregados sempre tomando como base a utilização de um mesmo espaçamento para todos os interpoladores. A malha quadrada foi escolhida de forma a coincidir com a resolução espacial das imagens do LANDSAT 5 (imagens utilizadas na pesquisa) fornecidas pelo seu sensor multiespectral do tipo mapeador temático (*thematic mapper*). Assim, a distância matricial entre os pontos representa um espaçamento que corresponde na realidade ao valor de 30 m, de maneira a facilitar futuras operações com outros mapas que serão utilizados.

Desde o início, optou-se pela interpolação de toda a superfície das quatro cartas topográficas, apesar da área em estudo estar somente inserida de modo parcial em cada uma delas. Tal procedimento, a primeira vista, acarreta acréscimo no tempo de execução de tarefas como digitalização e interpolação, o que se caracteriza como aspecto negativo. Contudo, a experiência do grupo de trabalho de cartografia geotécnica da EESC/USP aponta que o aumento da superfície digitalizada além dos limites da área de interesse melhoram sensivelmente o resultado alcançado na construção dos MNT's. Isso ocorre porque os interpoladores trabalham com malhas retangulares, assim áreas irregulares, se não contarem com uma superfície digitalizada retangular, terão seu MDT afetado nas bordas.

Os primeiros resultados mostraram que interpolações realizadas por krigagem, função de base radial e mínima curvatura forneceram produtos bastante satisfatórios, o que de certa forma já era previsto, pois de acordo com *Manual do SURFER ® 7.00* (1999) tais métodos são os melhores quando se trabalha com um grande número de pontos (acima de 30.000).

Apesar desses bons resultados, todos os interpoladores, por conta da ausência de informação topográfica sob a superfície ocupada pelo reservatório da Hidroelétrica de Caconde, causaram modificações significativas nos setores vizinhos ou muito próximos a represa. Desse modo, comprometeram a geração da carta de declividade nessas regiões uma vez que os MNT's não foram fiéis. A solução utilizada para essa situação especial se baseou no emprego de um recurso disponível no programa *Surfer ® 7.00* denominado de *faults*.

De acordo com o *Manual do SURFER* 7.00 (1999) uma falha ou linha de falha é um arquivo bidimensional que define uma linha que age como uma barreira durante o processo de interpolação. Além disso, se tal linha corresponder a um polígono fechado, o algoritmo de interpolação calcula somente os valores dos nós baseados em dados do seu interior, portanto não levando em consideração nem interferindo nos pontos que estão fora.

Desse modo, a linha que delimita o polígono da represa da Hidroelétrica de Caconde foi transformada numa linha de falha, de forma que os valores dos nós internos deveriam ser calculados tomando por base a cota estabelecida de 870 m. Para essa nova etapa foram selecionados os três melhores interpoladores da fase anterior.

A definição do MNT mais adequado se deu a partir da comparação entre as posições das curvas de nível fornecidas pelas cartas topográficas e suas posições redefinidas ao final pelos modelos. Nesse caso, a krigagem ordinária utilizando variograma linear sem efeito pepita apontou o melhor resultado.

A partir desse momento, o arquivo GRD gerado foi editado de forma que seus limites fossem redefinidos (Tabela 5.2). Utilizando o comando: GRID → EXTRACT um novo arquivo foi criado onde os novos limites foram situados próximos à área delimitada pelo perímetro da bacia.

A importação bem sucedida dos dados interpolados e editados, além de sua conversão para o formato RST, possibilitaram a geração da declividade com sucesso pelo *Idrisi* ® 32. Assim, através do seu módulo de análise de superfície (*surface analysis*) o SIG calculou a inclinação do terreno, utilizando valores percentuais, para posição de cada nó.

A definição dos intervalos e a quantidade de classes de declividades seguiram o exemplo bem sucedido do relatório de integração do Instituto Geológico – IG (1993) no estudo do subsídio do meio físico-geológico para o Município de Campinas (SP).

TABELA 5.2 – Parâmetros geométricos dos arquivos digitalizado e interpolado na construção do MNT.

ARQUIVO DAT (Digitalizado)	Valor Mínimo	Valor Máximo	Espaçamento	Total de Pontos
Coordenada Longitudinal (UTM)	318.675	370.966	-	-
Coordenada Latitudinal (UTM)	7.566.132	7.621.992	-	-
Posição Altimétrica	700	1760	-	-
				467.027
ARQUIVO GRD (Interpolado por Krigagem)	Valor Mínimo	Valor Máximo	Espaçamento	Total de Nós
Coordenada Longitudinal (UTM)	318.675	370.966	30	-
Coordenada Latitudinal (UTM)	7.566.132	7.621.992	30	-
Posição Altimétrica	687,839	1763,427	-	-
				3.249.072
ARQUIVO GRD (Interpolado por Krigagem) EDITADO	Valor Mínimo	Valor Máximo	Espaçamento	Total de Nós
Coordenada Longitudinal (UTM)	323.985	360.015	30	-
Coordenada Latitudinal (UTM)	7.579.992	7.616.022	30	-
Posição Altimétrica	732,789	1636,119	-	-
				1.444.804

Neste estudo o IG propôs intervalos de classes baseados na capacidade do uso do solo levando em consideração aspectos agrícolas, geológicos e geotécnicos, além de resoluções legislativas federais de caráter ambiental como a Lei que Institui o Código Florestal (Lei nº 4.471/65) e a Lei que Dispõe sobre o Parcelamento do Solo Urbano (Lei nº 6.766/79). As classes de declividades escolhidas (Tabela 5.3), bem como as recomendações de uso e as restrições e/ou problemas esperados estão presentes no ANEXO II.

TABELA 5.3 – Resultados da distribuição das classes na Carta de Declividades após a utilização do filtro moda (3x3).

Classe de Declividade	Total de Área Ocupada em km ²	Percentual da Área Ocupada
< 2 %	9,35	1,94
2 a 5 %	42,71	8,86
5 a 10 %	77,25	16,02
10 a 15 %	71,27	14,78
15 a 20 %	67,9	14,08
20 a 25 %	58,94	12,22
25 a 30 %	41,28	8,56
30 a 47 %	99,71	20,67
> 47 %	13,89	2,88
TOTAL	482,31	100,00

A última etapa seguida para se obter o melhor produto para carta de declividades foi a utilização do filtro moda (3x3) por meio do módulo de filtragem digital (*digital filtering*) do *Idrisi* ® 32 (comando: ANALYSIS → CONTEXT OPERATOR → FILTER). Tal procedimento, como simplificado na figura 5.4, redefiniu os pixels anteriormente presentes de forma a diminuir os resíduos, tornando assim, os intervalos de declividades mais homogêneos (Figura 5.5).

A conversão do formato RST para o BMP por parte do *Idrisi* ® 32 permitiu que esse arquivo raster fosse reconhecido pelo *AutoCad Map 2000*, possibilitando assim, a sua edição final com o mesmo formato dos outros mapas e cartas em anexo nessa dissertação (arquivo DWG).

5.1.3. Mapa de Substrato Rochoso

O mapa de substrato rochoso (ANEXO III) representa a disposição espacial das rochas que compõem as unidades litológicas do Maciço Alcalino de Poços de Caldas e do Complexo Varginha (Figura 5.6).



FIGURA 5.4 – Utilização do filtro moda numa porção do MDT onde o *grid* é 3x3.

Observe que o valor do pixel central da malha situada a esquerda é igual a 4, porém após a utilização do filtro o valor é redefinido a partir da moda (valor que mais se repete).

O mapa produzido não traz, e nem sugere, modificações na coluna estratigráfica proposta pela literatura geológica para área em estudo. Contudo, o mapa gerado visa contribuir com o conhecimento geológico-geotécnico da região uma vez que redefine contatos geológicos estabelecidos por estudos anteriores, além de promover o mapeamento de setores que não dispunham de informação geológica em escala compatível.

Os procedimentos seguidos para construção do mapa de substrato rochoso são os mesmos utilizados na confecção de mapas geológicos. O passo inicial foi a realização de uma revisão de literatura com o objetivo de se conhecer a distribuição e as características geológicas das principais unidades litoestratigráficas presentes na área estudada.

Ainda nessa fase inicial, buscou-se colecionar dados geológicos principalmente na forma de mapas (em escalas compatíveis) além de informações geológicas pontuais que pudessem auxiliar a fotointerpretação, esta realizada a partir de trinta e três fotografias aéreas convencionais da FAB/USAF obtidas por meio de vôos realizados entre 1964 e 1966, executados com escala aproximada de 1:60.000.

Desse modo, ficou estabelecido que o mapa de substrato rochoso se basearia numa divisão mais simplificada de unidades litológicas pré-cambrianas do Complexo Varginha definidas por Oliveira *et al.* (1983) e unidades mesozóicas do Complexo Alcalino de Poços de Caldas mapeadas por Liporaci (1994).

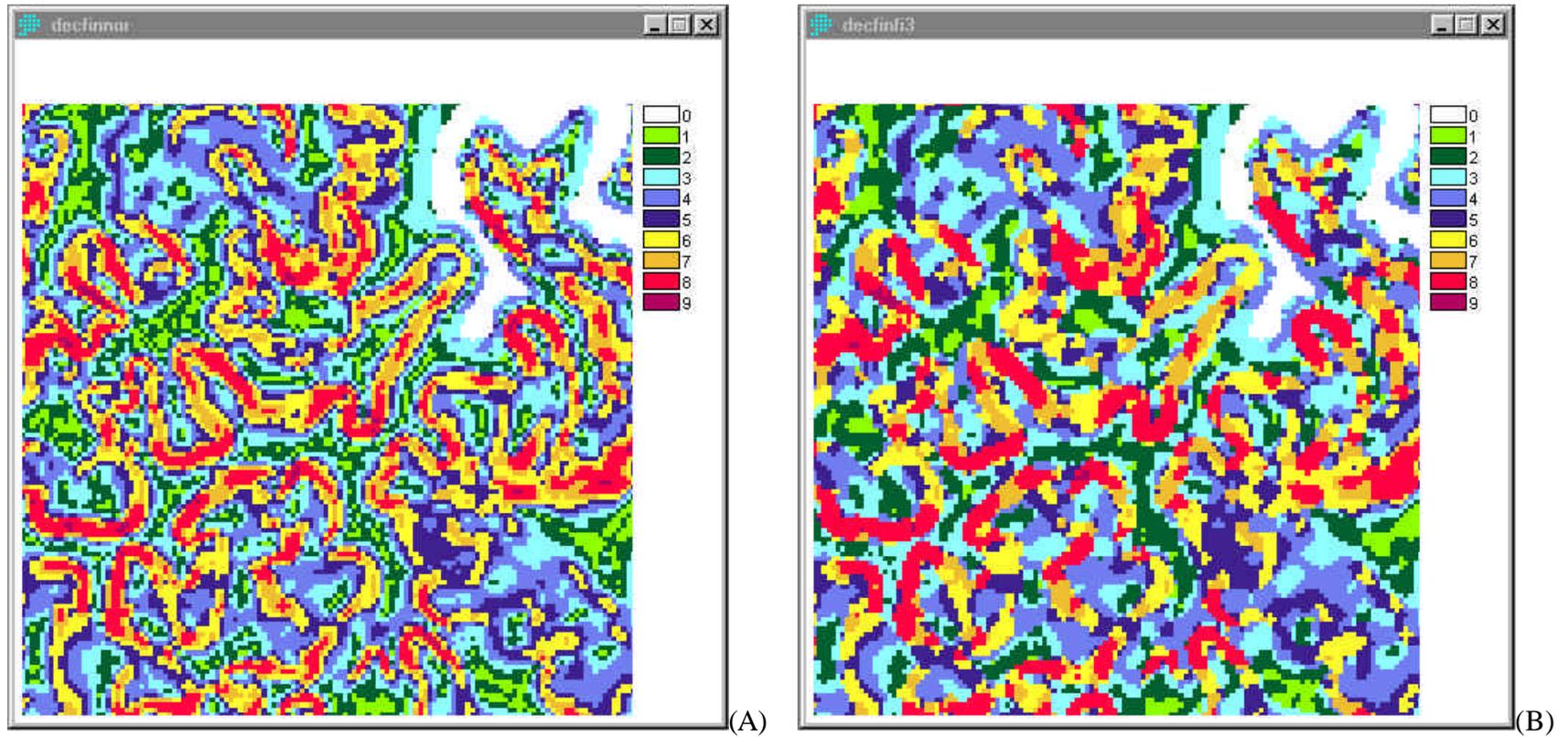


FIGURA 5.5 – Aspecto da declividade antes da utilização do filtro moda (3x3) à esquerda (A) e depois à direita (B). As classes representadas pela legenda de cores são: 0 (Reservatório da Hidroelétrica de Caconde), 1 (< 2 %), 2 (2 a 5 %), 3 (5 a 10 %), 4 (10 a 15 %), 5 (15 a 20 %), 6 (20 a 25 %), 7 (25 a 30 %), 8 (30 a 47 %) e 9 (> 47 %).

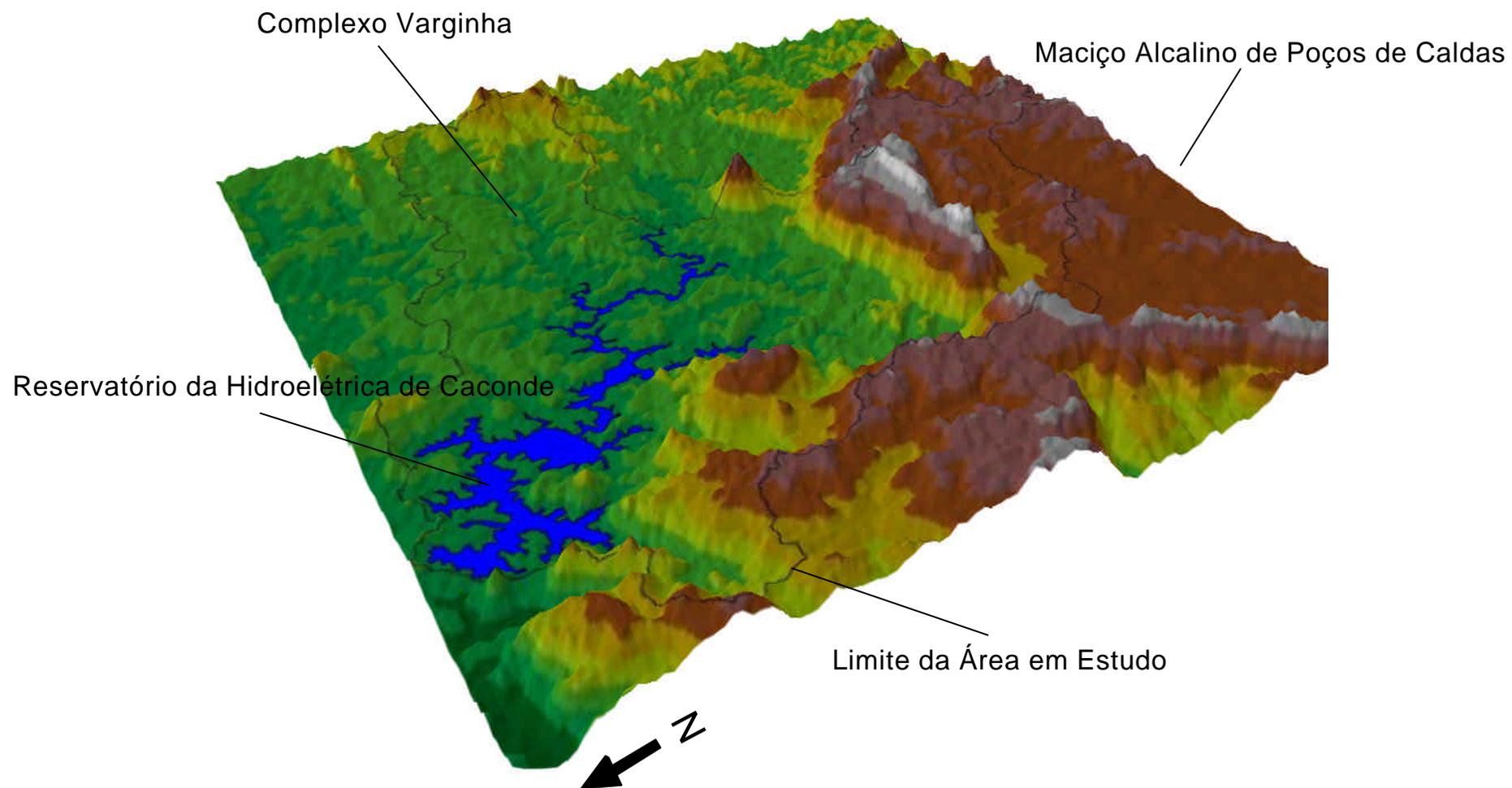


FIGURA 5.6 – Modelo digital de terreno indicando o posicionamento espacial do Maciço Alcalino (estrutura circular) e do Complexo Varginha (relevo mais arrasado) gerado a partir do *software ArcView® 3.1*.

As informações geológicas pontuais foram obtidas por meio da consulta ao banco de dados da CPRM chamado de MICROSIR. Tal sistema disponibiliza aos usuários informações acerca de afloramentos geológicos, análises geoquímicas, ocorrências minerais e poços para água subterrânea baseados nos trabalhos desenvolvidos pela CPRM desde sua criação em todo o território nacional.

Especificamente para a área em estudo, os dados preexistentes recuperados referem-se somente as fichas de campo utilizadas por Cavalcante *et al.* (1979). Nessas são apresentadas informações relativas à localização, ao relevo, à vegetação, aos solos, à descrição geológica e à classificação estratigráfica.

Os trabalhos de fotointerpretação e de campo foram fundamentais na etapa seguinte de definição do mapa de substrato rochoso. A partir dessa fase, foi possível checar as características geológicas e a distribuição espacial das unidades litológicas definidas pelos autores anteriormente citados ao longo da área em estudo.

Desta forma foram comparados no campo os resultados apresentados pelo mapa base (produto da fotointerpretação) e o mapa geológico compilado, de forma que, unidades anteriormente mapeadas tiveram redefinidas tanto litologias associadas quanto seus contatos geológicos.

A determinação das unidades que compõem o mapa de substrato rochoso ocorreu ao final de três campanhas de campo, antecedidas e sucedidas de trabalhos de fotointerpretação geológica. As unidades mapeadas são descritas a seguir.

COMPLEXO VARGINHA

Migmatitos Graníticos e Estromatíticos

Migmatitos graníticos e migmatitos estromatíticos de acordo com Oliveira *et al.* (1983) formam unidades distintas do Complexo Varginha presentes na área em estudo. Essas unidades litológicas foram agrupadas por diversas razões, a primeira delas é que os contatos geológicos estabelecidos para o mapa base e o mapa compilado se mostravam muito diferentes, mesmo com o avanço do conhecimento da área através de sucessivas visitas ao campo e reinterpretção de fotografias aéreas.

Além disso, o complexo padrão de migmatização, associado a escassez de afloramento de rocha são dos dois litotipos, prejudicaram suas identificações e diferenciações, desse modo, optou-se pela junção das duas unidades.

Os migmatitos graníticos são formados pelo conjunto de tipos petrográficos ricos em leocossoma que apresentam estruturas bandadas, nebulíticas e schlieren. São rochas leococráticas e mesocráticas, de coloração rósea e branca e às vezes cinza escuro a preto. Apresentam atitudes predominantemente NW com mergulhos suaves a fortes para SW. Do ponto de vista estrutural, tais rochas exibem padrões de dobramentos complexos. O bandamento e a foliação cataclástica de modo geral estão presentes.

Os migmatitos estromatíticos compreendem tipos petrográficos com predominância de paleossoma formado de hornblenda gnaisse, anfibolitos e granulitos que apresentam estrutura predominantemente bandada. Os migmatitos estromatíticos afloram na área de duas maneiras, a primeira sob a forma de afloramentos isolados (quase sempre a rocha está semi-alterada), o segundo modo, que é o tipo mais comum, na forma de leitões e núcleos intercalados nos migmatitos graníticos (Figura 5.7). A foliação predominante observada nessas rochas é a cataclástica.

Os migmatitos graníticos e estromatíticos desenvolvem-se por todo Complexo Varginha. Constituem-se na maior unidade do substrato rochoso mapeada ocupando 234,05 km² (48,53% do total).

Granulitos Quartzo-Feldspáticos

Granulitos são rochas predominantemente compostas de feldspato, contudo essa unidade recebeu tal denominação por se constituir essencialmente de quartzo e feldspato podendo conter ou não uma pequena parcela de máficos.

São rochas leucocráticas e hololeucocráticas que apresentam atitudes com direções preferenciais NW e mergulho SW. Exibem granulação média podendo às vezes apresentar grãos mais grossos e são caracterizados por acentuado desenvolvimento de foliação cataclástica.

Os granulitos quartzo-feldspáticos se entendem pela área em estudo por uma longa faixa NE – SW ocupando 66,54 km² (13,80% do total).

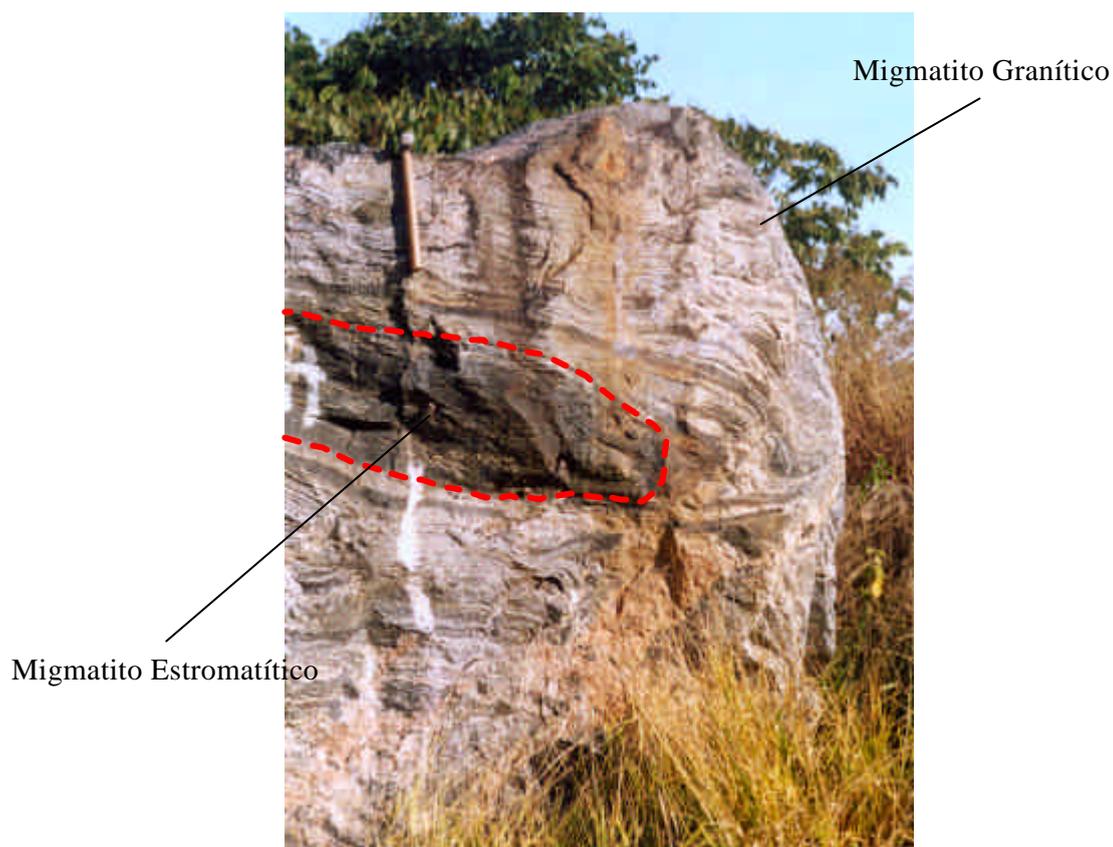


FIGURA 5.7 – Migmatitos estromatíticos formando leitos intercalados nos migmatitos graníticos.

Charnockitos

Os charnockitos mapeados se apresentam bastante alterados, onde afloramentos de rocha sã ou semi-alterada são muito restritos. Nesses casos, pode-se observar rochas de coloração predominantemente verde escura, estruturas gnáissicas e granulação que varia de fina a média, podendo mesmo chegar a grossa. Os charnockitos se estendem por uma superfície de 77,65 km² (16,10% do total) e ocupam a porção central da área estudada.

Migmatitos Oftalmíticos

Os migmatitos oftalmíticos constituem a menor unidade mapeada para o substrato rochoso com apenas 5,22 km² (1,08% do total). Esse grupo é formado por rochas migmatíticas facilmente identificadas no campo por uma série de características.

A principal delas é riqueza de porfiroblastos de k-feldspato, centimétricos, alongados e alinhados paralelamente a foliação. Além dessas qualidades, pode-se observar a predominância do neossoma sobre o paleossoma, granulação grossa e a presença de estruturas maciças ou bandadas.

A unidade do substrato rochoso composta por migmatitos oftalmíticos somente aflora na porção NW da área em estudo, onde se mostrou constituída como um corpo isolado bem definido, tanto nos trabalhos de campo, quanto nos de fotointerpretação.

MACIÇO ALCALINO DE POCOS DE CALDAS

Fonólitos e Tinguaitos

Fonólitos e tinguaitos predominam nas porções norte e oeste do maciço alcalino e ocupam 47,30 km² (9,81% do total). Na maioria dos locais onde afloram o relevo é acidentado, formado principalmente por escarpas com altas declividades (unidades D02 e D03 do Mapa de *Landforms*).

Tais litotipos, quando vistos em fotografias aéreas, são facilmente reconhecidos pelas grandes estruturas circulares que formam e que constituem a borda do maciço. Além dessas estruturas, fonólitos e tinguaitos estão presentes em outros setores representados por colinas de topos arredondados na forma aproximada de meia laranja.

Fonólitos e tinguaitos exibem coloração cinza esverdeado a preto e texturas que variam de afanítica a fanerítica fina ou mediamente fina. Do ponto de vista químico e mineralógico são muito semelhantes, sendo na maioria das vezes distinguíveis em função do tamanho dos seus minerais constituintes.

Os fonólitos possuem granulação muito fina, chegando as vezes a expor porções vítreas, por outro lado os tinguaitos apresentam uma granulação mais grossa o que permite o reconhecimento dos seus minerais a olho nu em alguns afloramentos.

A estrutura presente nessas rochas é maciça, porém, por conta do resfriamento durante o processo de solidificação, formaram-se planos de fraqueza verticais e subverticais (Figura 5.8). Além disso sistema de juntas com direções preferenciais NE-SW foram estruturalmente impostos a posterior. Assim, esses materiais geológicos afloram formando blocos aproximadamente retangulares de tamanhos que variam de 0,15 m a até mais de 2,5 m.

Nefelina Sienitos

Nefelina sienitos apresentam composição química e mineralógica muito próximas aos fonólitos e tinguaítos. Diferenciam-se pelo modo de ocorrência na crosta. Os primeiros possuem natureza plutônica enquanto que fonólitos e tinguaítos vulcânicas e subvulcânicas respectivamente.

As rochas dessa unidade são de cor cinza com tonalidades esverdeadas e estrutura maciça (Figura 5.8). São leococráticas e exibem grandes cristais, em geral idiomorfos, quase que exclusivamente formados por feldspato potássico e nefelina.

Nefelina sienitos afloram na porção sul da área em estudo estendendo-se por uma superfície de 51,53 km² (10,69% do total).

As etapas finais de confecção do mapa de substrato rochoso (Figura 5.9) concentram-se no escaneamento das unidades (com restituição das fotografias aéreas através do aerosketchmaster feita preliminarmente), assim como o seu referenciamento, digitalização e edição final *no AutoCad Map® 2000*.

5.1.4. Mapa de Materiais Inconsolidados

O mapa de materiais inconsolidados (ANEXO IV) é documento cartográfico imprescindível e indispensável para o estudo de uma área do ponto de vista geotécnico.

O mapa de materiais inconsolidados representa os materiais geológicos naturais que estão sobre o substrato rochoso são ou pouco alterado. Assim, dependendo do seu grau de refinamento, esse produto cartográfico pode auxiliar o usuário a avaliar o comportamento geotécnico desses materiais naturais frente diversas solicitações.

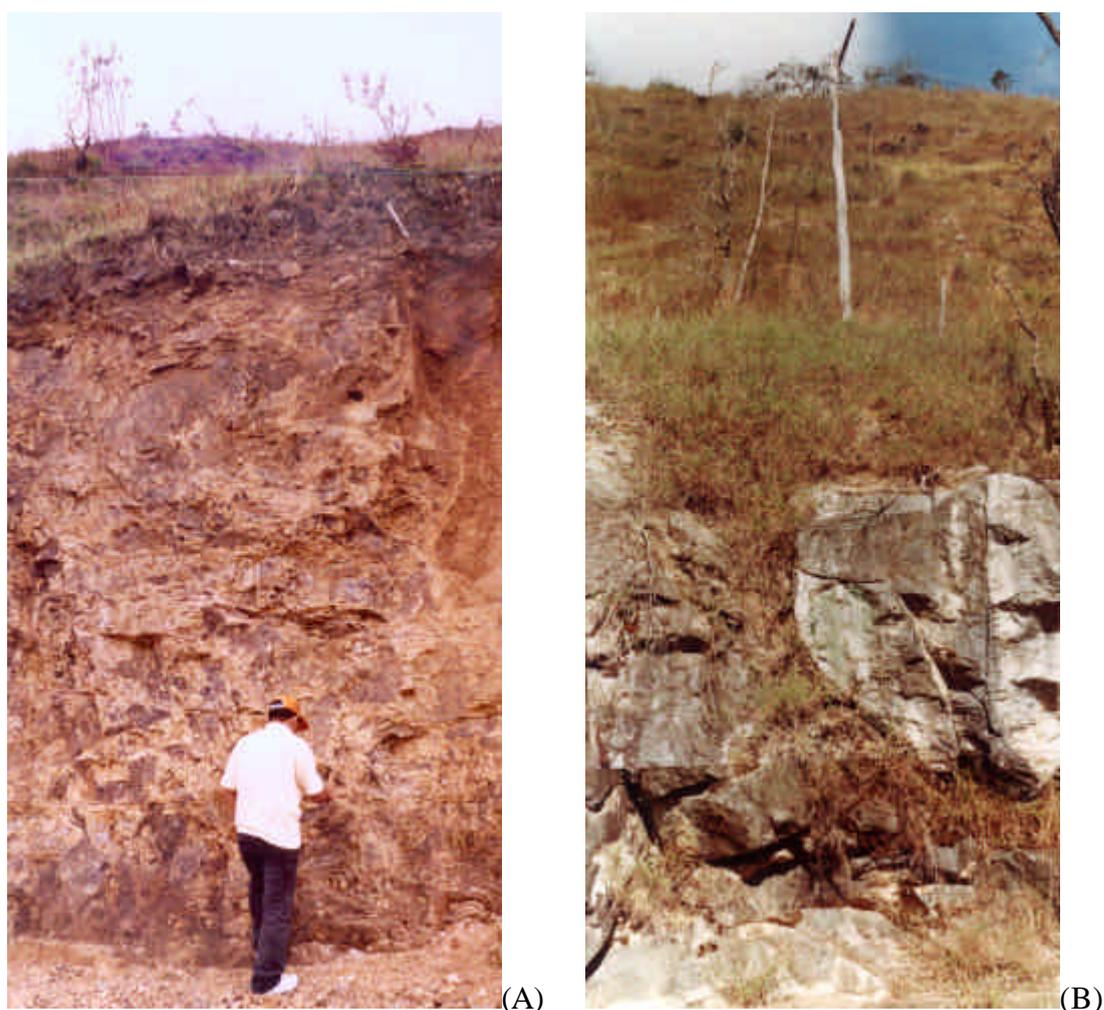


FIGURA 5.8 – (A) fonólitos e (B) nefelina sienitos, unidades do Maciço Alcalino que compõem o substrato rochoso da área estudada.

Os trabalhos de construção do mapa de materiais inconsolidados (Figura 5.10) se iniciam a partir de fotointerpretação. Portanto, observando principalmente aspectos de textura, padrão e densidade da rede hidrográfica nas fotografias aéreas, determinou-se unidades preliminares de materiais.

Durante a fase de campo os setores anteriormente mapeados foram amostrados e submetidos a ensaios laboratoriais. Dessa maneira, pôde-se redefinir ou refinar suas análises a medida que os novos dados foram adquiridos, além disso, permitiu também selecionar e reorientar áreas para amostragem em etapas seguintes de trabalhos de campo.

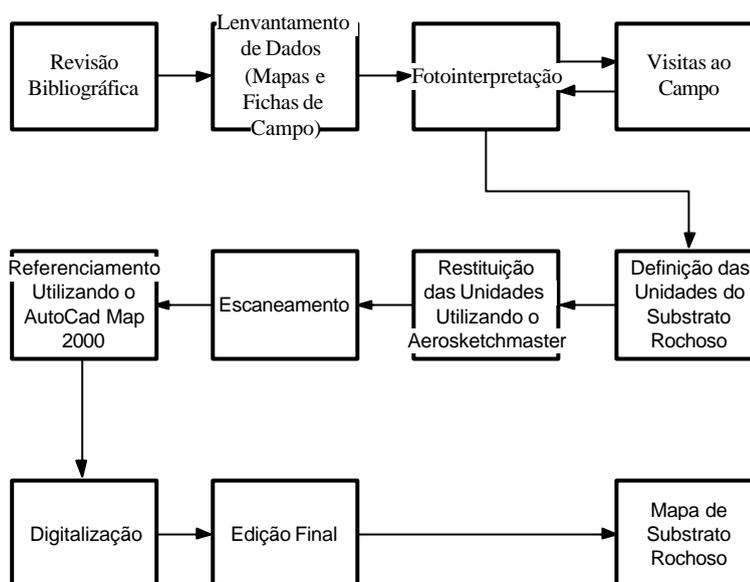


FIGURA 5.9 – Etapas seguidas para a construção do Mapa de Substrato Rochoso.

Além dos ensaios de granulometria conjunta, os materiais inconsolidados também foram caracterizados a partir do ensaio de azul de metileno em função de sua capacidade de troca catiônica (CTC) total, capacidade de troca catiônica (CTC) da fração argila, superfície específica (SE) total, valor de adsorção de azul de metileno para os solos (V_b), valor de adsorção de azul de metileno para a fração argila dos solos (A_{cb}) além da inferência do comportamento laterítico (Figura 5.11), da atividade das argilas (Figura 5.12) de acordo com Pejon (1992) e do potencial expansivo (Pejon, 2000) conforme mostra a Figura 5.13.

Valores de massa específica dos sólidos (ρ_s) foram determinados para todos os pontos amostrados. Nos locais onde houve a coleta de amostras indeformadas foram obtidos outros índices físicos como massa específica seca (ρ_d), índice de vazios (e), porosidade (n) e grau de saturação (S_r).

Especificamente para área estudada os materiais inconsolidados foram classificados em função de sua origem, textura e intervalo de espessuras predominantes.

Com relação a origem, os materiais inconsolidados de natureza residual foram divididos de acordo com as unidades do substrato rochoso a qual estão associados. Contudo, uma vez verificada a presença de materiais de origem não residual, estes foram designados simplesmente como materiais retrabalhados.

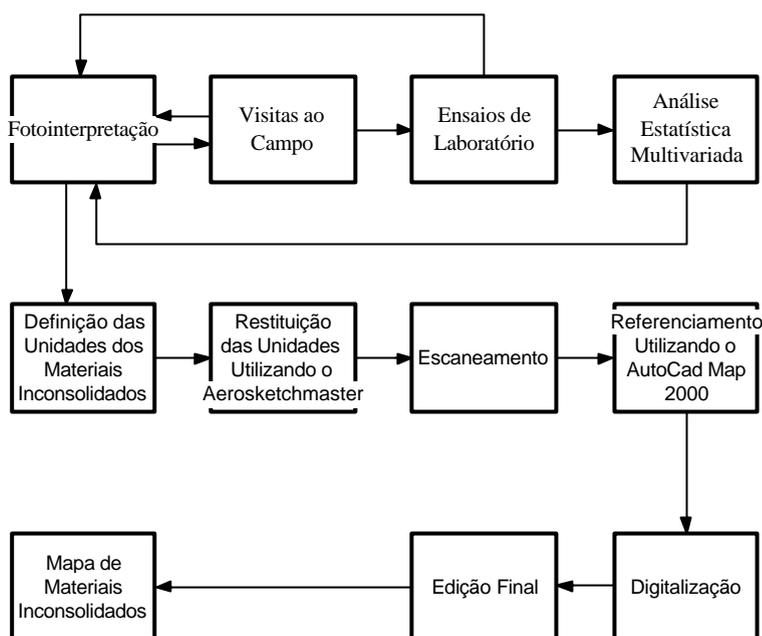


FIGURA 5.10 – Etapas seguidas para a construção do Mapa de Materiais Inconsolidados.

Quanto a classificação das espessuras dos materiais inconsolidados presentes na área em estudo, estes foram divididos em intervalos nos quais se observou que eram os mais frequentes, são eles: menor que 0,5 m variando entre 0,5 e 1,5 m, variando entre 1,5 e 3,0 m e maior que 3,0 m.

Com relação a textura, a subdivisão desses materiais se tornou mais complexa, isso porque ao se estabelecer uma separação baseando-se somente na análise visual das formas das curvas granulométricas ou ainda em percentuais de argila, silte e areia adotados em outros trabalhos, tal divisão poderia não ser adequada para área, ou pior, uma vez implementada não representaria áreas distinguíveis e delimitáveis nas fotografias aéreas.

Desse modo, optou-se pelo desenvolvimento de uma classificação textural dos materiais inconsolidados que atendesse três exigências.

A primeira delas é que a subdivisão somente deveria levar em conta as características próprias das curvas granulométricas produzidas, portanto assumindo o contexto geológico local. Assim, classificações realizadas em outros trabalhos para condições geológicas peculiares não foram consideradas.

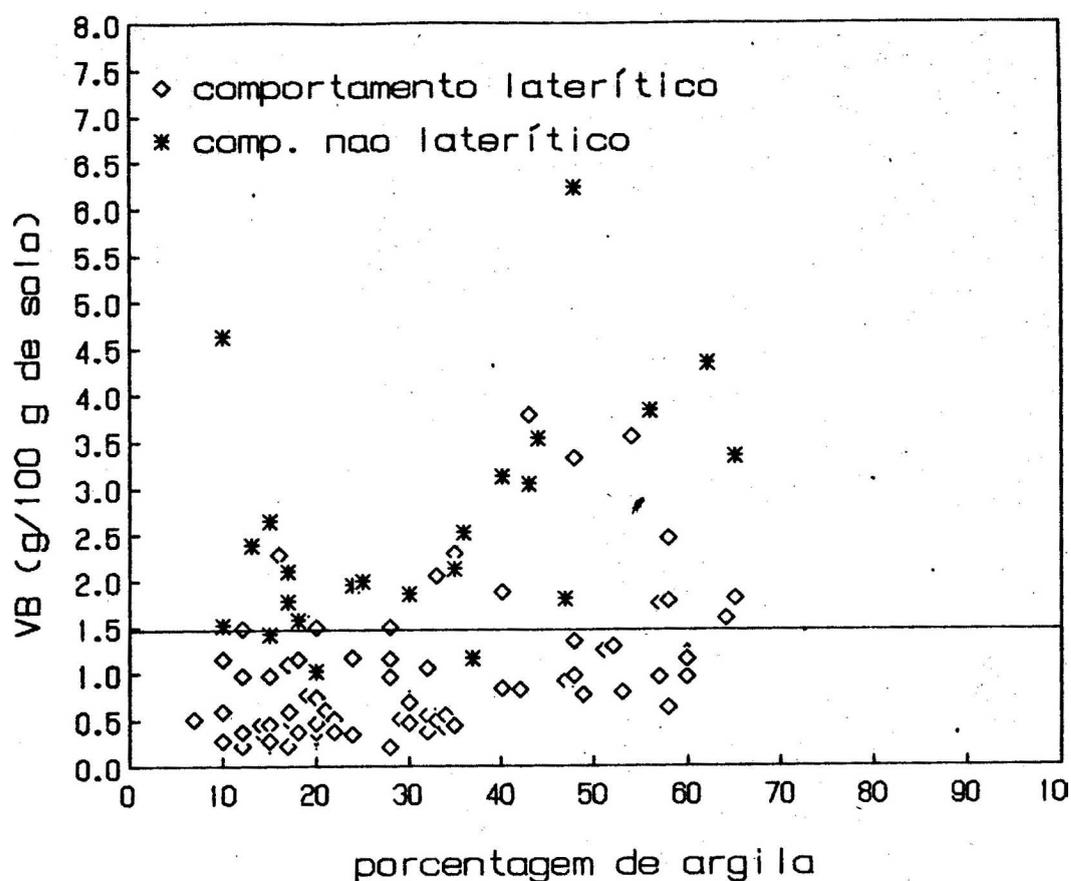


FIGURA 5.11 – Adsorção de azul de metileno em função da porcentagem de argila dos materiais inconsolidados, mostrando o comportamento laterítico ou não laterítico, obtido com a classificação M.C.T. (Fonte: Pejon, 1992).

Em segundo lugar, o critério ou os critérios definidos para essa classificação deveriam ser facilmente compreendidos, de forma que a divisão obtida pudesse rapidamente ser produzida e avaliada pelo usuário.

A terceira condição, e a mais importante, prevê que, uma vez superadas as etapas anteriores, os grupos texturais de materiais inconsolidados representariam áreas distinguíveis e delimitáveis, portanto áreas mapeáveis.

Baseado nessas condições, optou-se pela utilização da análise estatística multivariada ou multidimensional como técnica para definição de uma classificação textural para materiais inconsolidados.

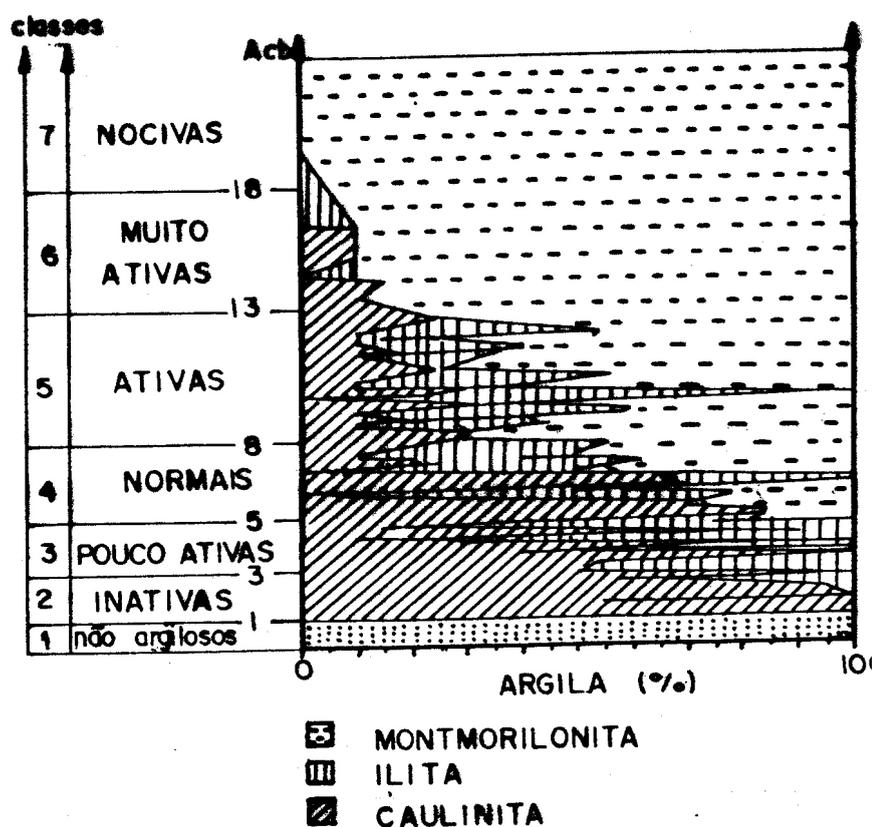


FIGURA 5.12 – Diagrama de atividade das argilas pelo método do azul de metileno (Fonte: Pejon, 1992).

De acordo com Landim (2001) diferentemente da estatística univariada a multivariada consegue detectar as relações entre um conjunto de dados e suas variáveis de forma conjunta, tendo como condição fundamental a igualdade de importância entre as variáveis.

Dentre os diferentes tipos de técnicas classificatórias, a análise de agrupamentos hierárquicos foi escolhida, pois de acordo com o autor esta deve ser utilizada quando se deseja explorar a similaridade entre indivíduos (modo Q).

Segundo Landim (2001) a aplicação da metodologia utilizada para a formação de agrupamentos hierárquicos, relativa a análise de dados geológicos multivariados, demonstra que a técnica de agrupamento pareado igualmente ponderado é superior as demais.

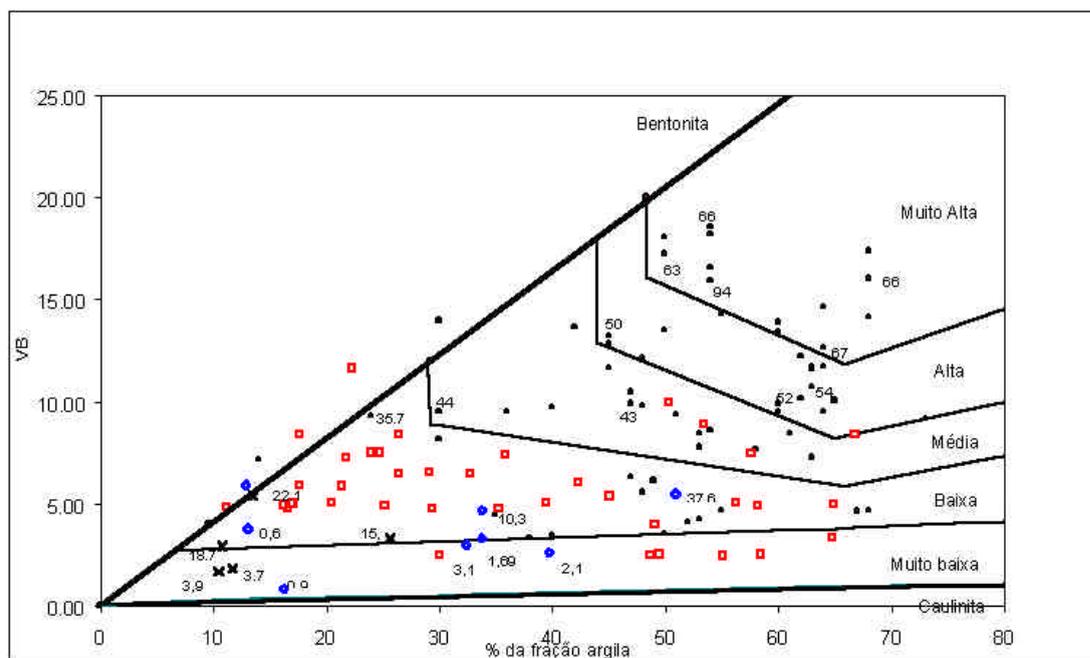


FIGURA 5.13 – Ábaco para determinação do potencial expansivo (Fonte: Pejon, 2000).

Assim, utilizando o *software* STATISTICA® 5.5, foram analisadas as variáveis que correspondem aos percentuais de argila, silte e areia dos materiais inconsolidados, por meio da técnica de agrupamento pareado igualmente ponderado, empregando a medida de distância euclidiana.

Foram submetidas à análise multivariada os resultados de análise granulométrica de 52 das 59 amostras coletadas de materiais inconsolidados. O restante não foi utilizado, pois correspondem a uma amostragem repetida realizada para alguns perfis, de forma que para cada um deles, foi escolhida somente a amostra mais representativa.

Observando o dendograma produzido (Figura 5.14), nota-se que existe uma ampla possibilidade de agrupamentos, variando desde 50, quando a distância euclidiana é igual a zero, a até dois grupos quando a distância vale 31.

Os resultados demonstraram que com uma distância euclidiana igual a 20 todos os setores podem ser delimitados em fotografias aéreas na escala 1:60.000, exceto o ocupado pela amostra P007-A02 que apresenta dimensões muito pequenas, dificultando desse modo seu mapeamento em função da escala adotada.

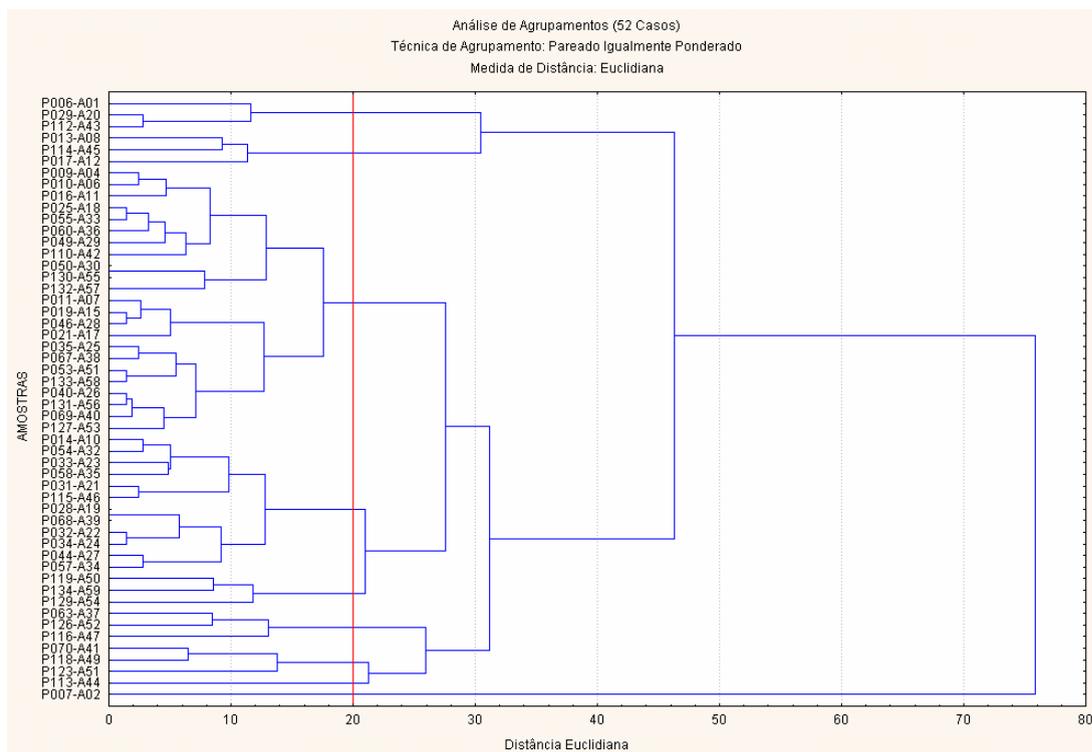


FIGURA 5.14 – Análise de agrupamentos entre as amostras de materiais inconsolidados (modo Q) a partir dos resultados dos ensaios de granulometria conjunta.

A amostra P007-A02 (composta por 3 % de argila, 4 % de silte e 93 % de areia) foi extraída em uma mina a céu aberto onde são explorados arenitos finos e médios e siltitos, que de acordo com Björnberg (1956 e 1959) *apud* Liporaci (1994), correspondem a arenitos eólicos e intercalações secundárias de siltitos, correlacionadas à Formação Botucatu da Bacia do Paraná.

Os grupos texturais obtidos formam padrões de curvas granulométricas bem definidos (Figuras 5.15 e 5.16). As unidades de materiais inconsolidados são descritas a seguir.

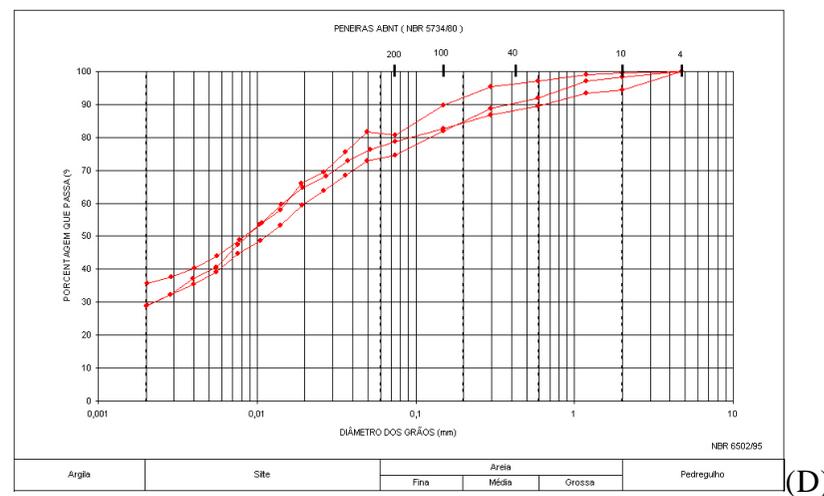
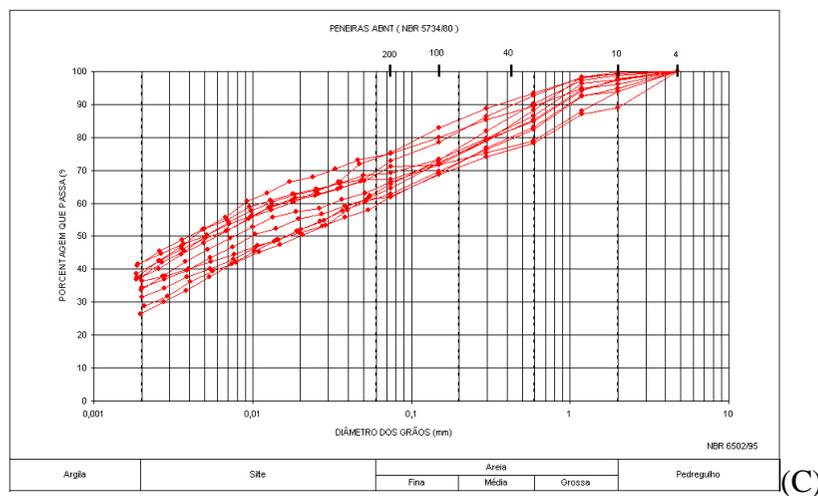
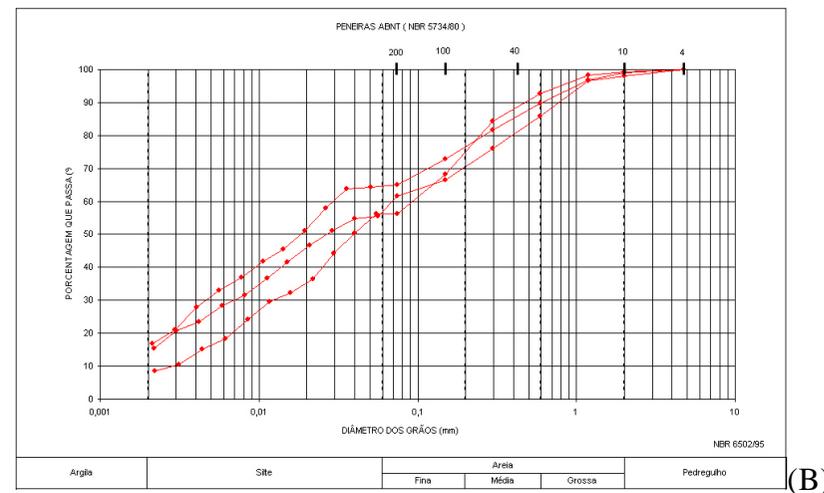
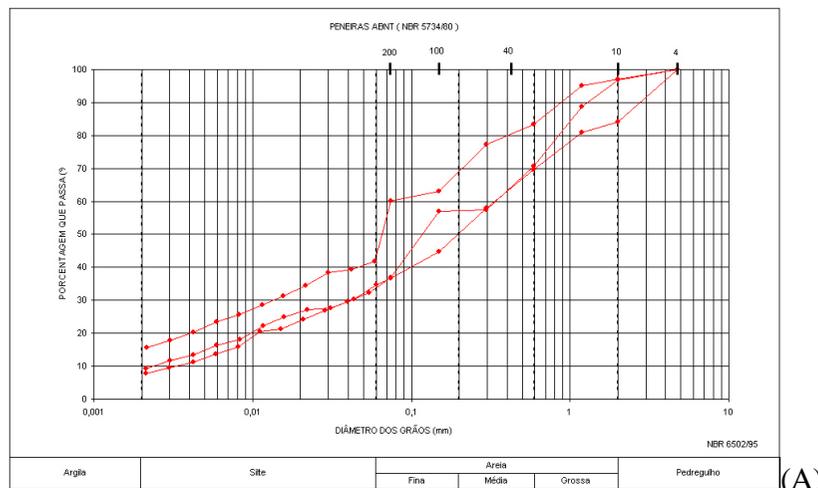


FIGURA 5.15 – Curvas granulométricas das amostras pertencentes aos grupos texturais I (A), II (B), III (C) e IV (D).

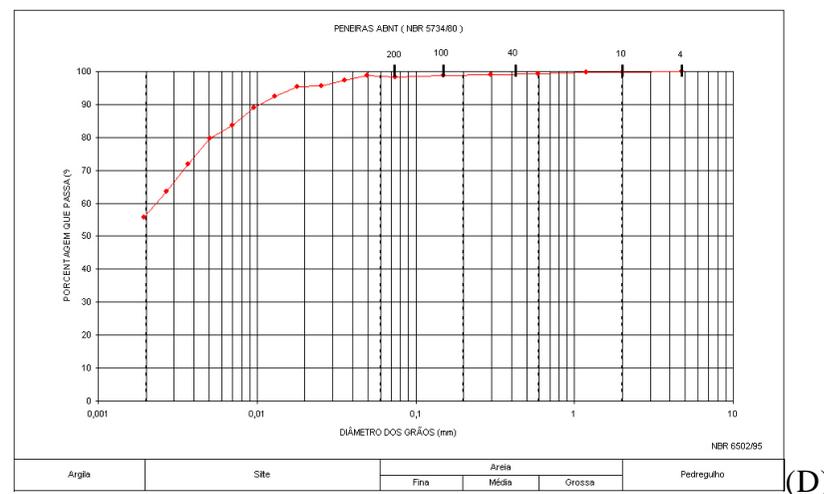
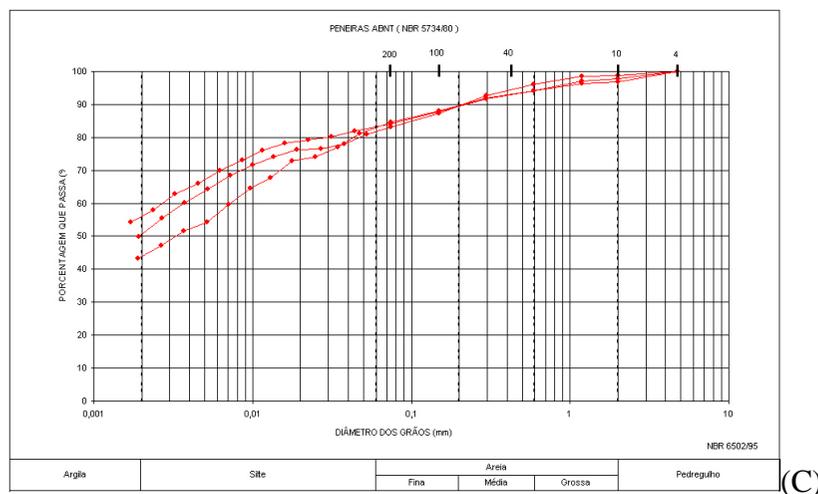
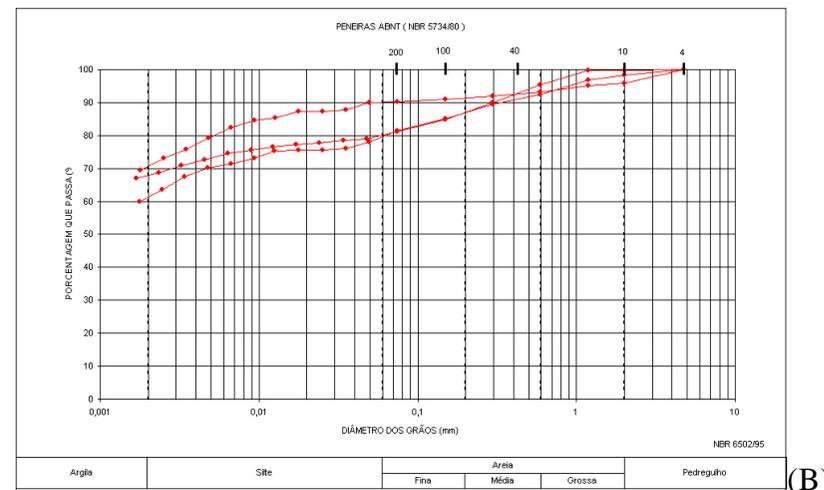
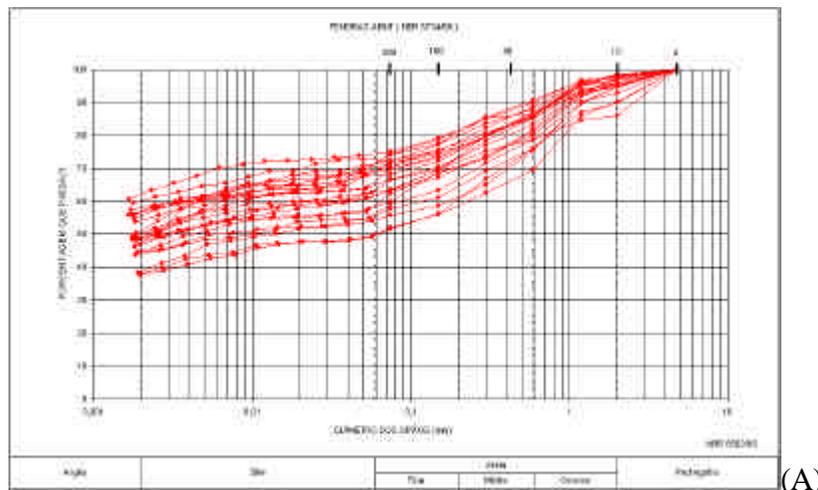


FIGURA 5.16 – Curvas granulométricas das amostras pertencentes aos grupos texturais V (A), VI (B), VII (C) e VIII (D).

MATERIAIS RETRABALHADOS

Unidade 01

É formada por materiais retrabalhados pertencentes ao grupo textural I de origem aluvionar. A unidade 01 ocupa uma superfície de 1,11 km² (0,23 % do total) e apresenta espessuras dos seus materiais variando desde inferiores a 0,5 m a até 4,0 m.

Com relação a textura, conforme mostra a Figura 5.15 (A), o grupo textural I apresenta a fração argilosa inferior a 25%, a siltosa em torno de 25% e a arenosa sempre superior a 50%.

Unidade 02

É constituída por materiais retrabalhados pertencentes ao grupo textural VI com espessuras inferiores a 0,5m (Figura 5.17). A unidade 02 ocupa uma superfície de 2,32 km² (0,48 % do total).

Do ponto de vista textural, a fração argilosa presente nas amostras classificadas para o grupo textural VI predomina sobre a soma das demais (> 50%), a medida que a fração siltosa e arenosa são sempre ambas inferiores a 25% (Tabela 5.4).

De acordo com os resultados apontados na Tabela 5.5, a unidade 02 possui comportamento não laterítico, potencial expansivo muito baixo e comportamento relacionado a atividade das argilas considerado pouco ativo.

Unidade 03

É formada por materiais retrabalhados pertencentes ao grupo textural I de origem coluvionar com espessuras inferiores a 0,5 m (Sub-unidade 03a) e por materiais com espessuras variáveis (Figura 5.18) que podem atingir até 8,0 m (Sub-unidade 03b). A unidade 03 estendem-se por uma superfície de 40,61 km² (8,42 % do total).

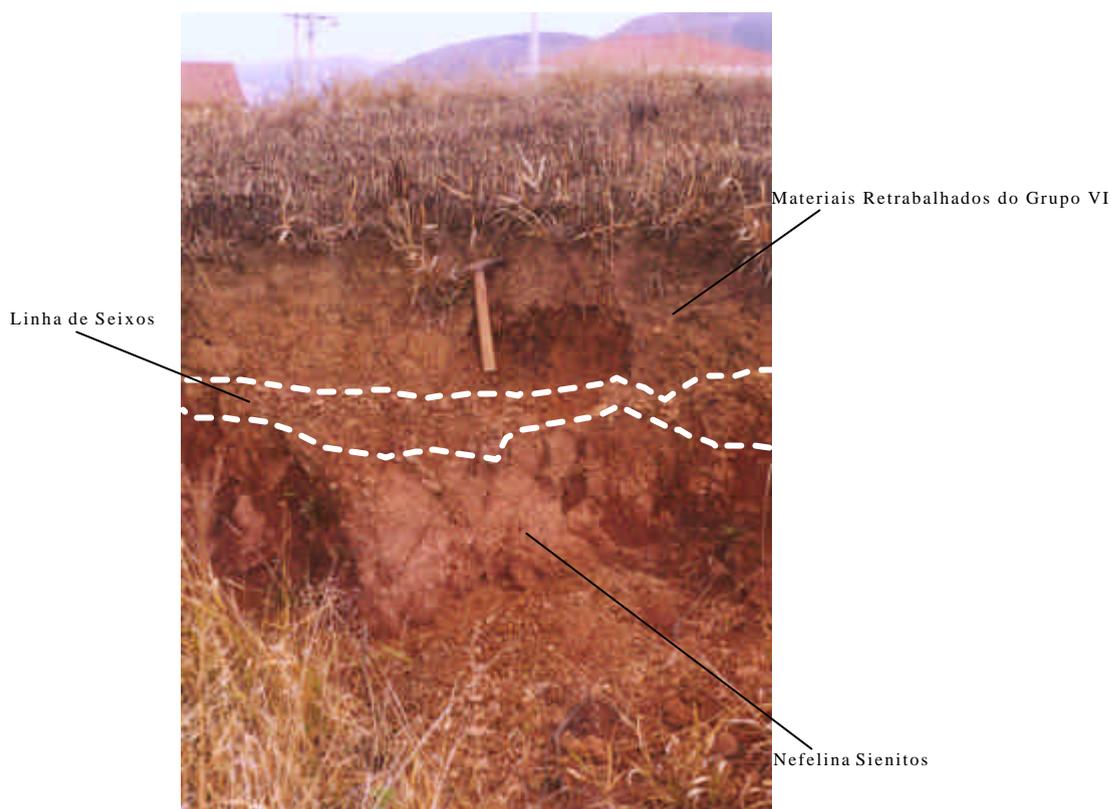


FIGURA 5.17 – Materiais inconsolidados pertencentes a Unidade 02.

TABELA 5.4 – Caracterização da amostra dos materiais inconsolidados que compõem a Unidade 02 quanto a sua localização, granulometria e índices físicos.

Amostra	UTM (E-W)	UTM (N-S)	Textura			r_s (g/cm ³)
			Argila (%)	Silte (%)	Areia (%)	
P116-A47	340596	7587533	71	19	10	2,584

TABELA 5.5 – Caracterização da amostra dos materiais inconsolidados que compõem a Unidade 02 pelo método de adsorção de azul de metileno.

Amostra	C.T.C. Do Solo (Cmol/kg)	C.T.C. da Argila (Cmol/kg)	S.E. do Solo (m ² /g)	Vb (g/100g de solo)	Comportamento Laterítico	Potencial Expansivo	Acb (g/100g de argila)	Atividade
P116-A47	7	9,86	54,46	2,23	Não	Muito Baixo	3,14	Pouco Ativa

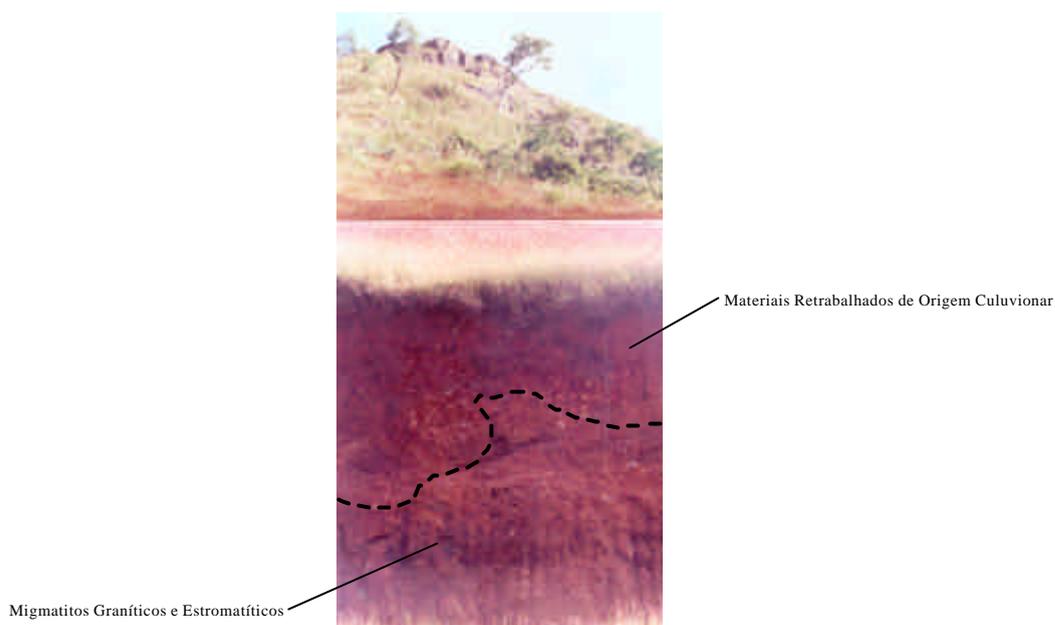


FIGURA 5.18 – Materiais inconsolidados pertencentes a Sub-unidade 03b.

Observando a Tabela 5.7, nota-se que as amostras ensaiadas apontam para um comportamento relacionado a atividade das argilas variando desde normal a nocivo. Contudo, em função da baixa quantidade da fração argilosa (Tabela 5.6) estes materiais inconsolidados apresentam potencial expansivo muito baixo e, portanto, não oferecem risco de acidentes geológicos relacionados a expansão.

MATERIAIS RESIDUAIS DO MACIÇO ALCALINO

Unidade 04

É composta por materiais residuais de fnólitos e tinguáitos pertencentes ao grupo textural III com espessuras variando entre 0,5 e 1,5 m (Figura 5.19). A unidade 04 ocupa uma superfície de 3,23 km² (0,67 % do total).

Os materiais inconsolidados do grupo textural III são os mais bem graduados encontrados na área em estudo. As concentrações de argila, silte e areia são, em todas as amostras analisadas, superiores a 25%.

TABELA 5.6 – Caracterização das amostras dos materiais inconsolidados que compõem a Unidade 03 quanto a sua localização, granulometria e índices físicos.

Amostra	UTM (E-W)	UTM (N-S)	Textura			r_s (g/cm ³)
			Argila (%)	Silte (%)	Areia (%)	
P006-A01	340591	7593473	16	27	57	2,726
P029-A20	338649	7609775	8	26	66	2,613
P112-A43	339228	7592638	10	24	66	2,818

TABELA 5.7 – Caracterização das amostras dos materiais inconsolidados que compõem a Unidade 03 pelo método de adsorção de azul de metileno.

Amostra	C.T.C. do Solo (Cmol/kg)	C.T.C. da Argila (Cmol/kg)	S.E. do Solo (m ² /g)	Vb (g/100g de solo)	Comportamento Laterítico	Potencial Expansivo	Acb (g/100g de argila)	Atividade
P006-A01	7,3	45,63	56,98	2,33	Não	Muito Baixo	14,55	Muito Ativa
P029-A20	1,5	18,75	11,86	0,48	Sim	Muito Baixo	6,06	Normal
P112-A43	8,8	88,00	68,9	2,82	Não	Muito Baixo	28,16	Nociva

Unidade 05

É constituída por materiais residuais de fnólitos e tinguaiños pertencentes ao grupo textural IV (Tabela 5.8) apresentando espessuras superiores a 3,0 m. A unidade 05 se estende por uma área de 2,79 km² (0,58 % do total).

Com relação a textura, o grupo IV apresenta a fração argilosa e siltosa individualmente sempre em concentrações superiores a 25 %, enquanto que, na arenosa predomina valores menores que 25 %.

De acordo com os resultados mostrados na Tabela 5.9, a unidade 05 possui comportamento laterítico, potencial expansivo muito baixo e comportamento relacionado a atividade das argilas considerado como pouco ativo.

Unidade 06

É formada por materiais residuais de fnólitos e tinguaiños pertencentes ao grupo textural VII (Tabela 5.10) com espessuras variando entre 0,5 e 1,5 m. A unidade 06 ocupa uma área de 15,30 km² (3,17 % do total).



FIGURA 5.19 – Materiais inconsolidados pertencentes a Unidade 04.

TABELA 5.8 – Caracterização da amostra dos materiais inconsolidados que compõem a Unidade 05 quanto a sua localização, granulometria e índices físicos.

Amostra	UTM (E-W)	UTM (N-S)	Textura			r_s (g/cm ³)
			Argila (%)	Silte (%)	Areia (%)	
P119-A50	331985	7590867	36	41	23	2,639

TABELA 5.9 – Caracterização da amostra dos materiais inconsolidados que compõem a Unidade 05 pelo método de adsorção de azul de metileno.

Amostra	C.T.C. do Solo (Cmol/kg)	C.T.C. da Argila (Cmol/kg)	S.E. do Solo (m ² /g)	Vb (g/100g de solo)	Comportamento Laterítico	Potencial Expansivo	Acb (g/100g de argila)	Atividade
P119-A50	3,7	10,28	29,14	1,19	Sim	Muito Baixo	3,31	Pouco Ativa

TABELA 5.10 – Caracterização da amostra dos materiais inconsolidados que compõem a Unidade 06 quanto a sua localização, granulometria e índices físicos.

Amostra	UTM (E-W)	UTM (N-S)	Textura			Γ_s (g/cm ³)	Γ_d (g/cm ³)	E	n (%)	Sr (%)
			Argila (%)	Silte (%)	Areia (%)					
P118-A49	333985	7589996	51	31	18	2,713	0,714	2,8	73,67	32,14

Texturalmente a concentração dos materiais finos no grupo textural VII é em torno de 80%. A fração argilosa perfaz 50% nas amostras analisadas, a siltosa sempre superior a 25% enquanto que arenosa não ultrapassa 20%

Os resultados apontados na Tabela 5.11 mostram que a unidade 06 possui comportamento não laterítico, potencial expansivo muito baixo e comportamento relacionado a atividade das argilas considerado como normal.

Unidade 07

É composta por materiais residuais de fnólitos e tinguaiós pertencentes ao grupo textural VIII apresentando espessuras superiores a 3,0 m (Figura 5.20). A unidade 07 se estende por uma superfície de 26,00 km² (5,39 % do total).

O grupo textural VIII ocorre exclusivamente nessa unidade de materiais inconsolidados. Nesse grupo a fração arenosa é praticamente inexistente enquanto que a fração argilosa presente ocorre em concentrações superiores a 50% (Tabela 5.12).

Do ponto de vista geotécnico, os materiais inconsolidados apresentam comportamento não laterítico, potencial expansivo médio e o comportamento relacionado a atividade das argilas considerado como ativo, portanto podem oferecer algum risco de acidente geológico dependendo da solicitação antrópica conferida ao meio físico (Tabela 5.13).

TABELA 5.11 – Caracterização da amostra dos materiais inconsolidados que compõem a Unidade 06 pelo método de adsorção de azul de metileno.

Amostra	C.T.C. do Solo (Cmol/kg)	C.T.C. da Argila (Cmol/kg)	S.E. do Solo (m ² /g)	Vb (g/100g de solo)	Comportamento Laterítico	Potencial Expansivo	Acb (g/100g de argila)	Atividade
P118-A49	10,8	21,18	84,36	3,45	Não	Muito Baixo	6,76	Normal



FIGURA 5.20 – Materiais inconsolidados pertencentes a Unidade 07.

TABELA 5.12 – Caracterização da amostra dos materiais inconsolidados que compõem a Unidade 07 quanto a sua localização, granulometria e índices físicos.

Amostra	UTM (E-W)	UTM (N-S)	Textura			r _s (g/cm ³)
			Argila (%)	Silte (%)	Areia (%)	
P113-A44	340336	7590413	57	42	1	2,612

TABELA 5.13 – Caracterização da amostra dos materiais inconsolidados que compõem a Unidade 07 pelo método de adsorção de azul de metileno.

Amostra	C.T.C. Do Solo (Cmol/kg)	C.T.C. da Argila (Cmol/kg)	S.E. do Solo (m ² /g)	Vb (g/100g de solo)	Comportamento Laterítico	Potencial Expansivo	Acb (g/100g de argila)	Atividade
P113-A44	23,1	40,53	180,85	7,39	Não	Médio	12,97	Ativa

Unidade 08

É constituída por materiais residuais de nefelina sienitos pertencentes ao grupo textural III (Tabela 5.14) com espessuras variando entre 0,5 e 1,5 m. A unidade 08 se estende por uma área de 44,89 km² (9,31 % do total).

De acordo com os resultados presentes na Tabela 5.15, a unidade 08 possui comportamento não laterítico, potencial expansivo baixo e comportamento relacionado a atividade das argilas considerado como muito ativo.

MATERIAIS RESIDUAIS DO COMPLEXO VARGINHA

Unidade 09

É formada por materiais residuais de charnockitos pertencentes ao grupo textural III (Tabela 5.16) com espessuras variando entre 1,5 e 3,0 m. A unidade 09 ocupa uma área de 35,62 km² (7,39 % do total).

Com relação as suas propriedades geotécnicas, segundo a Tabela 5.17, a unidade apresenta predominantemente comportamento não laterítico, potencial expansivo baixo e comportamento relacionado a atividade das argilas variando de pouco ativo a normal.

Unidade 10

É formada por materiais residuais de charnockitos pertencentes ao grupo textural V (Tabela 5.18) apresentando espessuras inferiores a 0,5 m (Sub-unidade 10a), entre 0,5 e 1,5 (Sub-unidade 10b), entre 1,5 e 3,0 m (Sub-unidade 10c) e superiores a 3,0 m (Sub-unidade 10d) podendo atingir até 6,0 m. A unidade 10 (Figura 5.21) ocupa uma área de 38,55 km² (7,99 % do total).

Texturalmente o grupo V se caracteriza pela concentração da fração siltosa sempre inferior a 25%, enquanto que areia e argila são individualmente superiores à mesma concentração, entretanto esta última freqüentemente perfaz a maior parte das amostras analisadas, ou seja é superior a 50%.

De acordo com os resultados mostrados na Tabela 5.19, a unidade 10 possui potencial expansivo muito baixo e comportamento relacionado a atividade das argilas variando de pouco ativo a normal.

TABELA 5.14 – Caracterização da amostra dos materiais inconsolidados que compõem a Unidade 08 quanto a sua localização, granulometria e índices físicos.

Amostra	UTM (E-W)	UTM (N-S)	Textura			Γ_s (g/cm ³)
			Argila (%)	Silte (%)	Areia (%)	
P115-A46	341523	7588830	29	34	37	2,686

TABELA 5.15 – Caracterização da amostra dos materiais inconsolidados que compõem a Unidade 08 pelo método de adsorção de azul de metileno.

Amostra	C.T.C. do Solo (Cmol/kg)	C.T.C. da Argila (Cmol/kg)	S.E. do Solo (m ² /g)	Vb (g/100g de solo)	Comportamento Laterítico	Potencial Expansivo	Acb (g/100g de argila)	Atividade
P115-A46	13,5	46,55	105,78	4,32	Não	Baixo	14,91	Muita Ativa

TABELA 5.16 – Caracterização das amostras dos materiais inconsolidados que compõem a Unidade 09 quanto a sua localização, granulometria e índices físicos.

Amostra	UTM (E-W)	UTM (N-S)	Textura			Γ_s (g/cm ³)	Γ_d (g/cm ³)	e	n (%)	Sr (%)
			Argila (%)	Silte (%)	Areia (%)					
P032-A22	339263	7601609	38	31	31	2,643	1,293	1,04	51,09	50,55
P033-A23	340890	7603409	34	30	36	2,637	1,182	1,23	55,18	69,67
P034-A24	341914	7603056	38	32	30	2,81	1,245	1,26	55,69	72,47
P044-A27	334159	7597782	42	25	33	2,701	1,298	1,08	51,93	70,15

TABELA 5.17 – Caracterização das amostras dos materiais inconsolidados que compõem a Unidade 09 pelo método de adsorção de azul de metileno.

Amostra	C.T.C. do Solo (Cmol/kg)	C.T.C. da Argila (Cmol/kg)	S.E. do Solo (m ² /g)	Vb (g/100g de solo)	Comportamento Laterítico	Potencial Expansivo	Acb (g/100g de argila)	Atividade
P032-A22	6,1	16,05	47,73	1,95	Não	Muito Baixo	5,13	Normal
P033-A23	3,5	10,29	27,01	1,1	Sim	Muito Baixo	3,25	Pouco Ativa
P034-A24	7,4	19,47	57,98	2,37	Não	Muito Baixo	6,24	Normal
P044-A27	6,8	16,19	53,33	2,18	Não	Muito Baixo	5,19	Normal

TABELA 5.18 – Caracterização das amostras dos materiais inconsolidados que compõem a Unidade 10 quanto a sua localização, granulometria e índices físicos.

Amostra	UTM (E-W)	UTM (N-S)	Textura			γ_s (g/cm ³)	γ_d (g/cm ³)	e	n (%)	Sr (%)
			Argila (%)	Silte (%)	Areia (%)					
P009-A04	336152	7596924	44	12	44	2,65				
P010-A06	336708	7596686	45	13	42	2,654				
P011-A07	336237	7600234	49	23	28	2,677				
P016-A11	337381	7596525	45	9	46	2,613				
P035-A25	335421	7594565	62	12	26	2,764	0,925	1,99	66,55	44,41
P040-A26	336239	7597774	57	10	33	2,687	1,185	1,27	55,91	56,66
P046-A28	335296	7598024	48	22	30	2,7	1,294	1,09	52,08	66,79
P049-A29	333285	7601134	49	10	41	2,723				
P050-A30	332181	7601625	38	12	50	2,558				
P060-A36	337036	7602218	48	14	38	2,664	1,244	1,14	53,32	48,3
P110-A42	337896	7591633	47	17	36	2,601				



FIGURA 5.21 – Materiais inconsolidados pertencentes a Sub-unidade 10d.

TABELA 5.19 – Caracterização das amostras dos materiais inconsolidados que compõem a Unidade 10 pelo método de adsorção de azul de metileno.

Amostra	C.T.C. do Solo (Cmol/kg)	C.T.C. da Argila (Cmol/kg)	S.E. do Solo (m ² /g)	Vb (g/100g de solo)	Comportamento Laterítico	Potencial Expansivo	Acb (g/100g de argila)	Atividade
P009-A04	4,4	10,00	34,63	1,42	Sim	Muito Baixo	3,22	Pouco Ativa
P011-A07	5,6	11,43	43,95	1,8	Não	Muito Baixo	3,67	Pouco Ativa
P016-A11	3,9	8,67	30,41	1,24	Sim	Muito Baixo	2,76	Argila Inativa
P035-A25	4,8	7,74	37,46	1,53	Não	Muito Baixo	2,47	Argila Inativa
P040-A26	4,8	8,42	37,29	1,52	Não	Muito Baixo	2,67	Argila Inativa
P046-A28	4,3	8,96	33,58	1,37	Sim	Muito Baixo	2,86	Argila Inativa
P049-A29	3,6	7,35	27,89	1,14	Sim	Muito Baixo	2,33	Argila Inativa
P050-A30	5,6	14,74	43,66	1,78	Não	Muito Baixo	4,7	Pouco Ativa
P060-A36	8,6	17,92	67,23	2,75	Não	Muito Baixo	5,72	Normal
P110-A42	3,2	6,81	25,07	1,02	Sim	Muito Baixo	2,18	Argila Inativa

Unidade 11

É composta por materiais residuais de charnockitos pertencentes ao grupo textural VI (Tabela 5.20) apresentando espessuras superiores a 3,0 m podendo atingir até 3,5 m. A unidade 11 ocupa uma área de 3,48 km² (0,72 % do total).

De acordo com os resultados mostrados na Tabela 5.21, a unidade 11 possui comportamento não laterítico, potencial expansivo muito baixo e comportamento relacionado a atividade das argilas considerado inativo.

Unidade 12

É a menor unidade de materiais inconsolidados mapeada com apenas 0,36 km² (0,07 % do total). A unidade 12 é constituída por materiais residuais de granulitos quartzo-feldspáticos pertencentes ao grupo textural III com espessuras variando entre 1,5 e 3,0 m.

Unidade 13

É formada por materiais residuais de granulitos quartzo-feldspáticos (Figura 5.22) pertencentes ao grupo textural V (Tabela 5.22) apresentando espessuras inferiores a 0,5 m (Sub-unidade 13a), entre 1,5 e 3,0 m (Sub-unidade 13b) e superiores a 3,0 m (Sub-unidade 13c) podendo atingir até 3,9 m. A unidade 13 se estende por uma área de 57,12 km² (11,84 % do total).

TABELA 5.20 – Caracterização da amostra dos materiais inconsolidados que compõem a Unidade 11 quanto a sua localização, granulometria e índices físicos.

Amostra	UTM (E-W)	UTM (N-S)	Textura			Γ_s (g/cm ³)	Γ_d (g/cm ³)	e	n (%)	Sr (%)
			Argila (%)	Silte (%)	Areia (%)					
P063-A37	336795	7604844	68	12	20	2,672	0,896	1,98	66,47	49,64

TABELA 5.21 – Caracterização da amostra dos materiais inconsolidados que compõem a Unidade 11 pelo método de adsorção de azul de metileno.

Amostra	C.T.C. do Solo (Cmol/kg)	C.T.C. da Argila (Cmol/kg)	S.E. do Solo (m ² /g)	Vb (g/100g de solo)	Comportamento Laterítico	Potencial Expansivo	Acb (g/100g de argila)	Atividade
P063-A37	6,2	9,12	48,2	1,97	Não	Muito Baixo	2,9	Argila Inativa

De acordo com os resultados mostrados na Tabela 5.23, a unidade 13 possui potencial expansivo muito baixo e comportamento relacionado a atividade das argilas variando de inativo a pouco ativo.

Unidade 14

É composta por materiais residuais de granulitos quartzo-feldspáticos pertencentes ao grupo. textural VI apresentando espessuras superiores a 3,0 m. A unidade 14 ocupa uma área de 2,00 km² (0,41 % do total).

Unidade 15

A unidade 15 ocupa uma área de 18,39 km² (3,81 % do total). É constituída por materiais residuais de migmatitos graníticos e estromatíticos pertencentes ao grupo textural II (Tabela 5.24) com espessuras variando entre 1,5 e 3,0 m.

A unidade 15, segundo a Tabela 5.25, apresenta atividade das argilas variando de normal a nociva, contudo não deve apresentar problemas com relação a expansão, pois o potencial expansivo de seus materiais varia de baixo a muito baixo.



FIGURA 5.22 – Materiais inconsolidados pertencentes a Sub-unidade 13b.

TABELA 5.22 – Caracterização das amostras dos materiais inconsolidados que compõem a Unidade 13 quanto a sua localização, granulometria e índices físicos.

Amostra	UTM (E-W)	UTM (N-S)	Textura			Γ_s (g/cm ³)	Γ_d (g/cm ³)	e	n (%)	Sr (%)
			Argila (%)	Silte (%)	Areia (%)					
P019-A15	342654	7608614	49	21	30	2,654				
P021-A17	343039	7607286	51	18	31	2,616	0,997	1,62	61,89	63,21
P025-A18	341484	7607181	51	12	37	2,696	1,211	1,23	55,08	76,56
P053-A31	331083	7603883	56	15	29	2,672	1,183	1,26	55,74	43,04
P067-A38	334199	7606042	60	13	27	2,64				

TABELA 5.23 – Caracterização das amostras dos materiais inconsolidados que compõem a Unidade 13 quanto a sua localização, granulometria e índices físicos.

Amostra	C.T.C. do Solo (Cmol/kg)	C.T.C. da Argila (Cmol/kg)	S.E. do Solo (m ² /g)	Vb (g/100g de solo)	Comportamento Laterítico	Potencial Expansivo	Acb (g/100g de argila)	Atividade
P019-A15	3,6	7,35	27,93	1,14	Sim	Muito Baixo	2,33	Argila Inativa
P021-A17	4,3	8,43	33,69	1,38	Sim	Muito Baixo	2,7	Argila Inativa
P025-A18	4,9	9,61	38,25	1,57	Não	Muito Baixo	3,07	Pouco Ativa
P053-A31	4,4	7,86	34,3	1,4	Sim	Muito Baixo	2,5	Argila Inativa
P067-A38	6,2	10,33	48,78	1,99	Não	Muito Baixo	3,32	Pouco Ativa

TABELA 5.24 – Caracterização das amostras dos materiais inconsolidados que compõem a Unidade 15 quanto a sua localização, granulometria e índices físicos.

Amostra	UTM (E-W)	UTM (N-S)	Textura			r _s (g/cm ³)
			Argila (%)	Silte (%)	Areia (%)	
P013-A08	324261	7596274	9	47	44	2,671
P017-A12	342643	7597482	17	48	35	2,71
P114-A45	345397	7598394	16	41	43	2,726

TABELA 5.25 – Caracterização das amostras dos materiais inconsolidados que compõem a Unidade 15 pelo método de adsorção de azul de metileno.

Amostra	C.T.C. do Solo (Cmol/kg)	C.T.C. da Argila (Cmol/kg)	S.E. do Solo (m ² /g)	Vb (g/100g de solo)	Comportamento Laterítico	Potencial Expansivo	Acb (g/100g de argila)	Atividade
P013-A08	4,6	51,11	35,96	1,47	Sim	Muito Baixo	16,33	Muito Ativa
P017-A12	3,3	19,41	25,61	1,05	Sim	Muito Baixo	6,16	Normal
P114-A45	21,3	133,13	167	6,83	Não	Baixo	42,66	Nociva

Unidade 16

Materiais residuais de migmatitos graníticos e estromatíticos pertencentes ao grupo textural III (Tabela 5.26) com espessuras variando de 1,5 a 3,0 m (16a) e superiores a 3,0 m podendo atingir até 3,5 m. A unidade 16 se estende por uma área de 34,62 km² (7,18 % do total).

TABELA 5.26 – Caracterização das amostras dos materiais inconsolidados que compõem a Unidade 16 quanto a sua localização, granulometria e índices físicos.

Amostra	UTM (E-W)	UTM (N-S)	Textura			Γ_s (g/cm ³)	Γ_d (g/cm ³)	e	n (%)	Sr (%)
			Argila (%)	Silte (%)	Areia (%)					
P014-A10	345397	7598394	37	26	37	2,629				
P028-A19	339923	7611342	39	35	26	2,773	1,32	1,08	51,98	57,8
P031-A21	339016	7612972	27	35	38	2,711	1,285	1,11	52,58	78,81
P054-A32	331765	7606820	35	26	39	2,658	1,1	1,42	58,61	35,24
P057-A34	328031	7606069	42	27	31	2,651	1,228	1,16	53,67	44,59
P068-A39	333888	7607528	39	35	26	2,685	1,103	1,43	58,92	36,87

De acordo com os resultados mostrados na Tabela 5.27, a unidade 16 possui potencial expansivo muito baixo e comportamento relacionado a atividade das argilas variando de pouco ativo a normal.

Unidade 17

É formada por materiais residuais de migmatitos graníticos e estromatíticos pertencentes ao grupo textural IV (Tabela 5.28) apresentando espessuras superiores a 3,0 m. A unidade 17 ocupa uma área de 5,50 km² (1,14 % do total).

De acordo com os resultados apontados na Tabela 5.29, a unidade 17 possui comportamento não laterítico, potencial expansivo baixo e comportamento relacionado a atividade das argilas considerado como normal.

Unidade 18

É constituída por materiais residuais de migmatitos graníticos e estromatíticos pertencentes ao grupo textural V (Tabela 5.30) com espessuras variando entre 0,5 e 1,5 m (Sub-unidade 18a). e entre 1,5 e 3,0 m (Sub-unidade 18b). A unidade 17 ocupa uma área de 15,84 km² (3,28 % do total).

De acordo com os resultados apontados na Tabela 5.31, a unidade 18 possui potencial expansivo baixo e comportamento relacionado a atividade das argilas variando de inativo a pouco ativo.

TABELA 5.27 – Caracterização das amostras dos materiais inconsolidados que compõem a Unidade 16 pelo método de adsorção de azul de metileno.

Amostra	C.T.C. do Solo (Cmol/kg)	C.T.C. da Argila (Cmol/kg)	S.E. do Solo (m ² /g)	Vb (g/100g de solo)	Comportamento Laterítico	Potencial Expansivo	Acb (g/100g de argila)	Atividade
P014-A10	5,4	14,59	42,13	1,72	Não	Muito Baixo	4,65	Pouco Ativa
P028-A19	4,5	11,54	35,1	1,43	Sim	Muito Baixo	3,68	Pouco Ativa
P031-A21	4,2	15,56	33,26	1,36	Sim	Muito Baixo	5,03	Normal
P057-A34	7,2	17,14	56,71	2,32	Não	Muito Baixo	5,52	Normal
P068-A39	5,1	13,08	40,04	1,64	Não	Muito Baixo	4,2	Pouco Ativa

TABELA 5.28 – Caracterização da amostra dos materiais inconsolidados que compõem a Unidade 17 quanto a sua localização, granulometria e índices físicos.

Amostra	UTM (E-W)	UTM (N-S)	Textura			r _s (g/cm ³)
			Argila (%)	Silte (%)	Areia (%)	
P134-A59	336418	7613127	29	45	26	2,724

TABELA 5.29 – Caracterização da amostra dos materiais inconsolidados que compõem a Unidade 17 pelo método de adsorção de azul de metileno.

Amostra	C.T.C. do Solo (Cmol/kg)	C.T.C. da Argila (Cmol/kg)	S.E. do Solo (m ² /g)	Vb (g/100g de solo)	Comportamento Laterítico	Potencial Expansivo	Acb (g/100g de argila)	Atividade
P134-A59	5,4	18,62	42,52	1,74	Não	Muito Baixo	5,99	Normal

TABELA 5.30 – Caracterização das amostras dos materiais inconsolidados que compõem a Unidade 18 quanto a sua localização, granulometria e índices físicos.

Amostra	UTM (E-W)	UTM (N-S)	Textura			r _s (g/cm ³)	r _d (g/cm ³)	e	n (%)	Sr (%)
			Argila (%)	Silte (%)	Areia (%)					
P055-A33	330192	7609779	50	12	38	2,64	1,175	1,25	55,49	40,49
P069-A40	330254	7609137	58	11	31	2,674	1,236	1,16	53,76	53,21

TABELA 5.31 – Caracterização das amostras dos materiais inconsolidados que compõem a Unidade 18 pelo método de adsorção de azul de metileno.

Amostra	C.T.C. do Solo (Cmol/kg)	C.T.C. da Argila (Cmol/kg)	S.E. do Solo (m ² /g)	Vb (g/100g de solo)	Comportamento Laterítico	Potencial Expansivo	Acb (g/100g de argila)	Atividade
P055-A33	4,2	8,40	32,68	1,34	Sim	Muito Baixo	2,67	Argila Inativa
P069-A40	7,9	13,62	61,64	2,52	Não	Muito Baixo	4,34	Pouco Ativa

Unidade 19

É composta por Materiais residuais de migmatitos graníticos e estromatíticos pertencentes ao grupo textural VII (Tabela 5.32) com espessuras variando entre 1,5 e 3,0 m. A unidade 19 ocupa uma área de 5,37 km² (1,11 % do total).

Os resultados mostrados na Tabela 5.32 revelam que a unidade 19 possui potencial expansivo baixo e comportamento relacionado a atividade das argilas variando de inativo a pouco ativo

Unidade 20

É a maior unidade de materiais inconsolidados mapeada. Estende-se por uma superfície de 123,97 km² (25,71 % do total). A unidade 20 é constituída por materiais residuais de migmatitos graníticos e estromatíticos pertencentes aos grupos texturais IV, V e VI (Tabela 5.34) apresentando espessuras variáveis que podem atingir até 7,0 m.

De acordo com os resultados apontados pelas amostras de materiais inconsolidados na Tabela 5.35, na unidade 20 predomina o comportamento não laterítico. A unidade 20 possui ainda potencial expansivo baixo e comportamento relacionado a atividade das argilas variando de inativo a ativo.

Unidade 21

É constituída por materiais residuais de migmatitos ofthalmíticos pertencentes ao grupo textural III (Tabela 5.36) com espessuras variando entre 1,5 e 3,0 m. A unidade 21 ocupa uma área de 5,22 km² (1,08 % do total).

TABELA 5.32 – Caracterização das amostras dos materiais inconsolidados que compõem a Unidade 19 quanto a sua localização, granulometria e índices físicos.

Amostra	UTM (E-W)	UTM (N-S)	Textura			Γ_s (g/cm ³)	Γ_d (g/cm ³)	E	n (%)	Sr (%)
			Argila (%)	Silte (%)	Areia (%)					
P070-A41	340098	7596080	56	27	17	2,71	1,077	1,52	60,27	60,52
P123-A51	346902	7599255	44	39	17	2,745				

TABELA 5.33 – Caracterização das amostras dos materiais inconsolidados que compõem a Unidade 19 pelo método de adsorção de azul de metileno.

Amostra	C.T.C. Do Solo (Cmol/kg)	C.T.C. da Argila (Cmol/kg)	S.E. do Solo (m ² /g)	Vb (g/100g de solo)	Comportamento Laterítico	Potencial Expansivo	Acb (g/100g de argila)	Atividade
P070-A41	4,6	8,21	35,82	1,46	Sim	Muito Baixo	2,61	Argila Inativa
P123-A51	5,3	12,04	61,49	1,69	Não	Muito Baixo	3,85	Pouco Ativa

TABELA 5.34 – Caracterização das amostras dos materiais inconsolidados que compõem a Unidade 20 quanto a sua localização, granulometria e índices físicos.

Amostra	UTM (E-W)	UTM (N-S)	Textura			Γ_s (g/cm ³)	Γ_d (g/cm ³)	e	n (%)	Sr (%)
			Argila (%)	Silte (%)	Areia (%)					
P126-A52	346902	7599255	62	18	20	2,745				
P127-A53	349321	7601633	54	11	35	2,647	1,16	1,28	56,19	40,63
P129-A54	353473	7602603	29	52	19	2,797				
P130-A55	354800	7604478	38	12	50	2,727				
P131-A56	356105	7606346	57	11	32	2,665	1,051	1,54	60,57	40,11
P132-A57	358666	7605908	39	17	44	2,783				
P133-A58	349904	7605752	57	15	28	2,927	0,964	2,04	67,08	34,6

De acordo com os resultados apontados pelas amostras de materiais inconsolidados na Tabela 5.37, a unidade 21 possui comportamento não laterítico, potencial expansivo baixo e comportamento relacionado a atividade das argilas considerado normal.

TABELA 5.35 – Caracterização das amostras dos materiais inconsolidados que compõem a Unidade 20 pelo método de adsorção de azul de metileno.

Amostra	C.T.C. Do Solo (Cmol/kg)	C.T.C. da Argila (Cmol/kg)	S.E. do Solo (m ² /g)	Vb (g/100g de solo)	Comportamento Laterítico	Potencial Expansivo	Acb (g/100g de argila)	Atividade
P126-A52	7,9	12,74	61,49	2,51	Não	Muito Baixo	4,05	Pouco Ativa
P127-A53	4,6	8,52	36,14	1,48	Sim	Muito Baixo	2,74	Argila Inativa
P129-A54	9,7	33,45	76,17	3,11	Não	Muito Baixo	10,74	Ativa
P130-A55	3,5	9,21	27,33	1,12	Sim	Muito Baixo	2,94	Argila Inativa
P131-A56	6,1	10,70	47,72	1,95	Não	Muito Baixo	3,42	Pouco Ativa
P132-A57	5,3	13,59	41,76	1,71	Não	Muito Baixo	4,74	Pouco Ativa
P133-A58	6,8	11,93	52,91	2,16	Não	Muito Baixo	3,79	Pouco Ativa

TABELA 5.36 – Caracterização da amostra dos materiais inconsolidados que compõem a Unidade 21 quanto a sua localização, granulometria e índices físicos.

Amostra	UTM (E-W)	UTM (N-S)	Textura			r _s (g/cm ³)
			Argila (%)	Silte (%)	Areia (%)	
P058-A35	327979	7608423	32	28	40	2,68

TABELA 5.37 – Caracterização da amostra dos materiais inconsolidados que compõem a Unidade 21 pelo método de adsorção de azul de metileno.

Amostra	C.T.C. Do Solo (Cmol/kg)	C.T.C. da Argila (Cmol/kg)	S.E. do Solo (m ² /g)	Vb (g/100g de solo)	Comportamento Laterítico	Potencial Expansivo	Acb (g/100g de argila)	Atividade
P058-A35	5,9	18,44	45,83	1,87	Não	Muito Baixo	5,85	Normal

5.1.5. Mapa de Landforms

O mapa de *landforms* (ANEXO V) de acordo com Lollo (1996), representa uma forma de zoneamento do meio físico que utiliza a técnica de avaliação de terreno e que consegue associar suas unidades de formas de relevo em função do substrato rochoso e dos materiais inconsolidados presentes

A técnica funciona a partir do conceito operacional de *landform* que de acordo com autor é definido como: “porção do terreno originada de processos naturais e distinguível das porções vizinhas (demais *landforms*) em pelo menos um dos seguintes elementos de identificação: forma e posição topográfica, frequência e organização dos canais, inclinação das vertentes e amplitude de relevo”.

A técnica de avaliação de terreno permite a divisão de uma determinada área em até três níveis hierárquicos (Figura 5.23) de acordo com a escala do método de sensoriamento remoto disponível e da finalidade pretendidas (Tabela 5.38).

Contudo, especificamente para a nosso objeto de estudo, tanto em função da escala do método de sensoriamento remoto empregado (fotografias aéreas na escala 1:60.000), quanto da finalidade principal do trabalho (subsidiar o planejamento regional), os níveis hierárquicos obtidos foram os dois níveis principais.

Assim foram delimitados quatro sistemas de terreno (Figura 5.24) subdivididos em trinta e uma unidades (ver critérios utilizados na Tabela 5.39), os quais serão descritos a seguir.

SISTEMA A

Associação de formas com ampla diversidade (colinas, vales, morros e escarpas) e que constituem a porção mais rebaixada da área em estudo. Apresenta substrato rochoso formado por litologias pré-cambrianas do Complexo Varginha onde praticamente todas suas unidades são exclusivamente constituídas de migmatitos graníticos e estromatíticos (excluindo-se a unidade A10 e parte da unidade A08). Com relação aos materiais inconsolidados, são em sua quase totalidade residuais onde predomina a classe textural III. Espessuras superiores a 1,5 m ocorrem em todas as unidades. Sua distribuição areal é de 262,44 km² o que perfaz mais da metade da área estudada com 54,41 % do seu total (Figura 5.25).

Unidade A01 – Corresponde a colinas com topos arredondados, encostas côncavas, declividades médias e amplitudes de relevo baixas. Apresenta materiais inconsolidados do grupo textural V que tem sua espessura variando entre 1,5 e 3,0 m. Ocupa uma superfície de 4,56 km² (0,95 % do total).

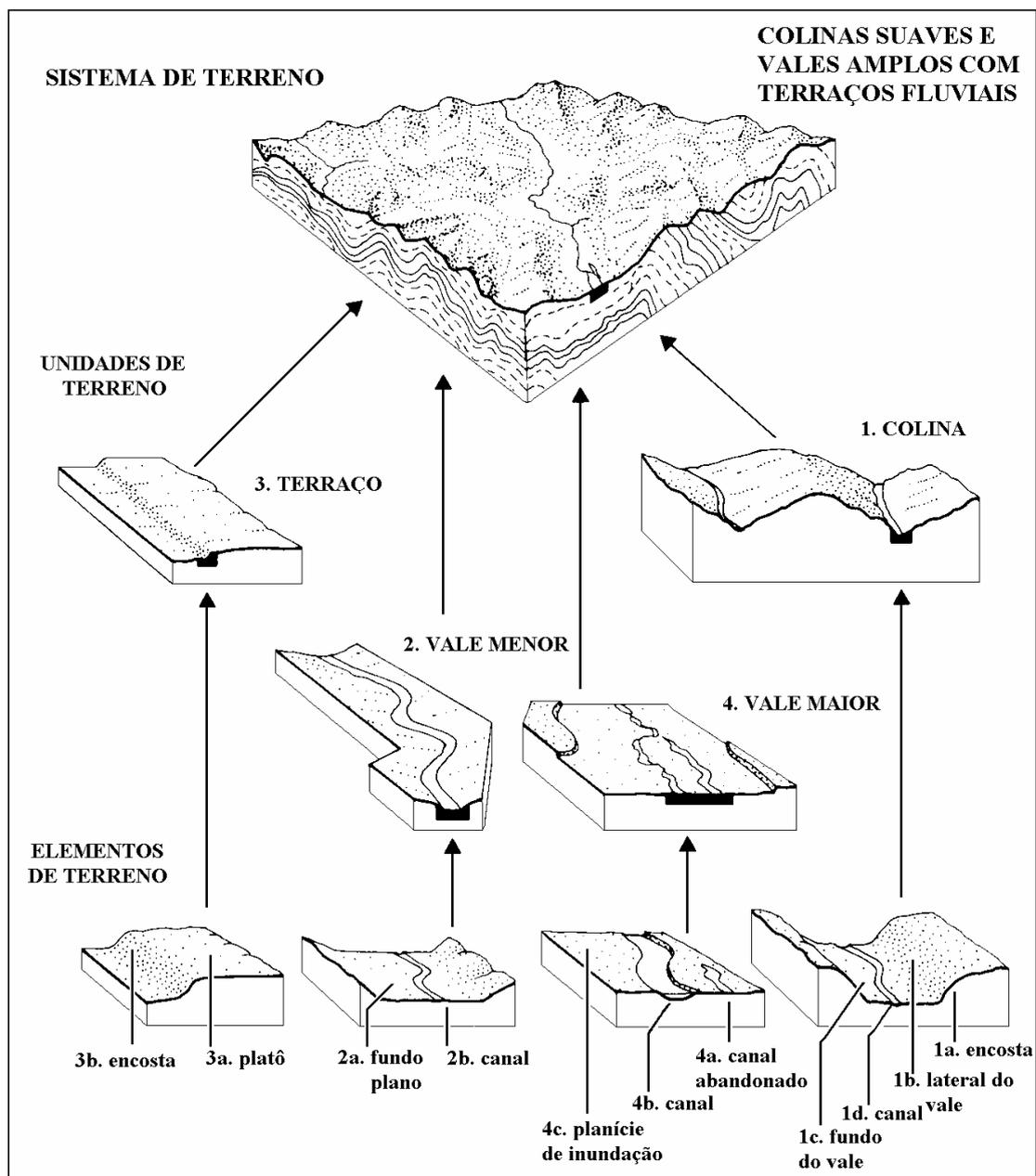


FIGURA 5.23 – Aplicação da técnica de avaliação de terreno, modificado de Cooke & Doorkamp (1990) *apud* Lollo (1996).

TABELA 5.38 – Níveis hierárquicos propostos por Lollo (1996) para técnica de avaliação de terreno.

Nível Hierárquico	Descrição	Forma de Obtenção
Sistema de Terreno (<i>Land System</i>)	Associação de feições de relevo com expressão espacial determinada e que representa condições similares de processos evolutivos e de materiais rochosos associados.	Trabalhos de aerofotointerpretação (sistemática de reconhecimento e identificação de características dos terrenos) visando um reconhecimento geral da área baseado nas grandes expressões geomorfológicas observadas.
Unidade de Terreno (<i>Land Unit</i>)	Feição individual do relevo que se distingue das demais às quais está associada por indicar um determinado subconjunto de processos do sistema de terreno no qual se situa, sendo que estas diferenças devem se refletir em termos dos materiais inconsolidados associados à unidade.	Características geomorfológicas tais como forma topográfica, amplitude de relevo, inclinação de vertentes e características de organização da drenagem em termos de frequência e estruturação dos canais.
Elemento de Terreno (<i>Land Element</i>)	Parte de uma feição individual do relevo distinguível das demais partes em termos de inclinação ou forma da vertente, posição ou forma topográfica, que deve refletir condições diferenciadas de materiais inconsolidados em termos de sua espessura ou de variações laterais no perfil de alteração dos materiais inconsolidados.	É o mesmo usado para unidade de terreno, apenas considerando-se o maior nível de detalhe requerido e o possível uso do enfoque paramétrico para a distinção de certas características do <i>landform</i> , além da necessidade do processo denominado fotodedução (associação das informações coletadas com o conhecimento do intérprete sobre o Terreno e os materiais nele presentes, permitindo a obtenção de informações derivadas - não obtidas diretamente da foto aérea).

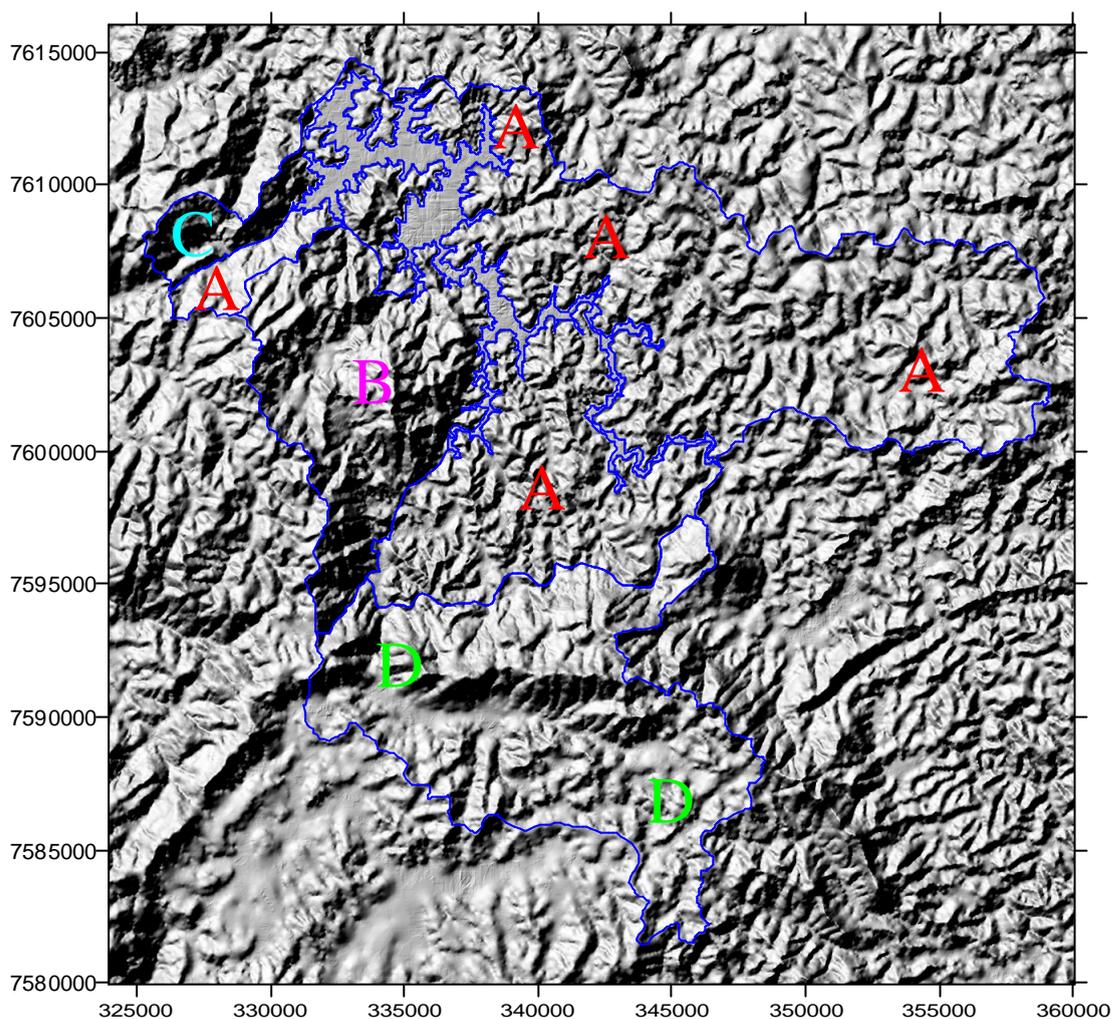


FIGURA 5.24 – Imagem sombreada do relevo (gerada a partir do MDT no *Surfer*® 7.00) mostrando a localização dos Sistemas de terreno que compõem a área estudada.

Unidade A02 – Estende-se por 4,19 km² (0,87 % do total). Caracteriza-se por apresentar morros com topos angulosos, encostas retilíneas, declividades altas, amplitudes de relevo médias e padrão de drenagem paralelo com altas densidades. Seus materiais inconsolidados pertencem ao grupo textural III. A porção ocidental exhibe espessuras que variam entre 1,5 a 3,0 m e ocupa cerca de 61,10% da unidade. O setor oriental, por sua vez, apresenta espessuras de até 5,6 m que se estendem por 38,90% da unidade.

TABELA 5.39 – Critérios Utilizados na Descrição das Unidades de Terreno.

CRITÉRIOS UTILIZADOS NA DESCRIÇÃO DAS UNIDADES DE TERRENO		
Significado	Termo	Dimensão ou Descrição
Forma do Topo	Plano	
	Arredondado	
	Anguloso	
Forma da Encosta	Convexa	
	Retilínea	
	Côncava	
Declividade	Baixa	< 5 %
	Média	5 a 20 %
	Alta	> 20 %
Amplitude de Relevo	Baixa	< 100 m
	Média	100 a 300 m
	Alta	> 300 m
Forma dos Vale	Aberto	
	Fechado	
Padrão de Drenagem	Definido por Howard (1967)	
Frequencia de Canais	Baixa	< 3 canais/km ²
	Média	3 a 15 canais/km ²
	Alta	> 15 canais/km ²

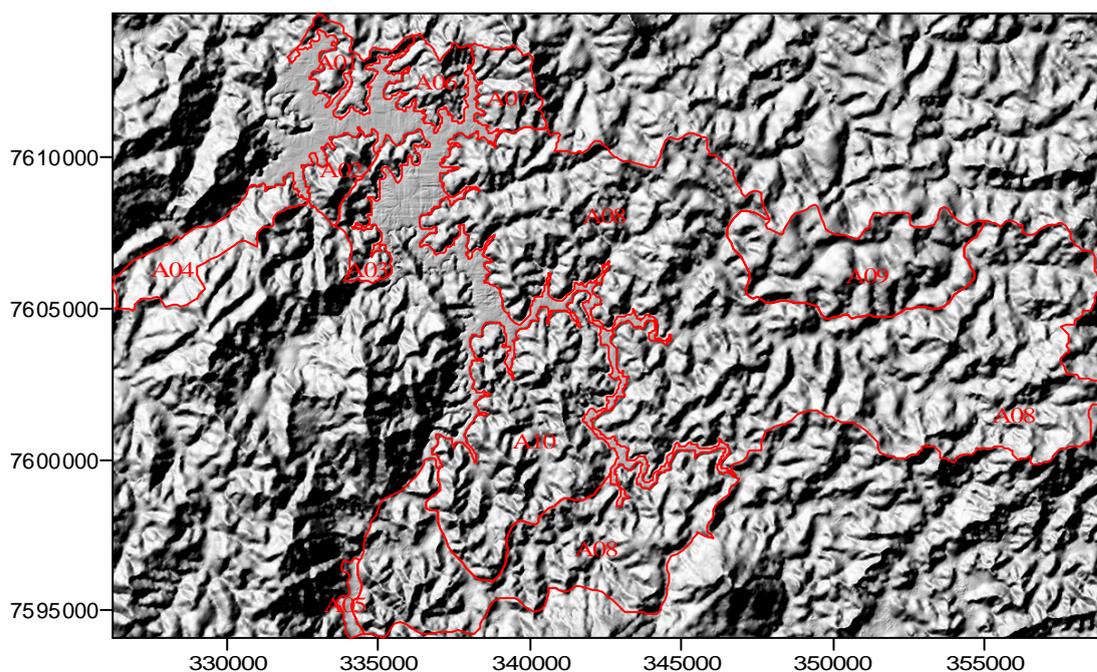


FIGURA 5.25 – Imagem sombreada do relevo mostrando a localização das unidades que compõem o Sistema de Terreno A.



FIGURA 5.26 – Vista da Unidade A05.

Unidade A03 – Corresponde a colinas com topos arredondados, encostas retilíneas, altas declividades, amplitudes de relevo baixas, padrão de drenagem paralelo com baixas densidades. Ocupa 5,31 km² (1,10 % do total). Materiais inconsolidados do grupo textural III com de até 5,6 m de espessura constituem essa unidade.

Unidade A04 – Caracteriza-se por apresentar escarpas com topos retilíneos, encostas retilíneas, declividades altas, amplitudes de relevo médias e padrão de drenagem paralelo com médias densidades de canais. Apresenta materiais inconsolidados da classe textural III com espessuras variando entre 1,5 e 3,0 m. A unidade ocupa 9,18 km² (1,90 % do total).

Unidade A05 – É a menor unidade de terreno mapeada, ocupando apenas 1,12 km² (0,23 % do total). Corresponde a vales abertos, encostas côncavas, declividades baixas, baixas amplitudes de relevo e densidade de canais (Figura 5.26). Seus materiais inconsolidados, ao contrário dos outros membros desse sistema, são retrabalhados do tipo aluvionar. Sua classe textural pertence ao grupo I (ver seção 5.1.5) com suas espessuras variando bastante, desde inferiores a 0,5 m a até 4,0 m.

Unidade A06 – É formada por morros com topos angulosos, encostas retilíneas, declividades altas, amplitudes de relevo médias e padrão de drenagem paralelo com altas densidades de canais. Ocupa 5,50 km² (1,14 % do total). É constituída por materiais do grupo textural IV com espessuras superiores a 3,1 m.

Unidade A07 – Corresponde a escarpas com topos e encostas retilíneas, médias declividades, amplitudes de relevo médias e com padrão de drenagem paralelo com baixas densidades de canais (Figura 5.27). A unidade é formada por materiais inconsolidados da classe textural III com espessuras que variam entre 1,5 e 3,0 m. Ocupa 5,44 km² (1,13 % do total).

Unidade A08 – É a maior unidade de terreno delimitada na área em estudo, estendendo-se por 171,00 km² (35,45 % do total). É formada por colinas com topos arredondados, encostas retilíneas, declividades médias, amplitudes de relevo médias e padrão de drenagem dendrítico com alta densidade (Figura 5.28). Seu substrato rochoso, além de conter migmatitos graníticos e estromatíticos (73,55% da unidade), apresenta ainda, granulitos quartzo-feldspáticos (17,13% da unidade) na porção noroeste e charnockitos (9,32% da unidade) no setor centro oeste. Os materiais inconsolidados que compõe a unidade A08 são diversificados. Materiais do grupo textural I de origem coluvionar e com espessuras inferiores a 0,5 m estão presentes no setor setentrional ocupando 4,14% da unidade. Na porção localizada ocidentalmente ao reservatório ocorrem materiais dos grupos texturais II com espessuras variando entre 1,5 e 3,0m, materiais do grupo V com espessuras superiores a 3,0 m e materiais do grupo VII com espessuras variando entre 1,5 a 3,0 m. Tais unidades de materiais inconsolidados correspondem respectivamente a 10,76%, 9,33% e 3,14% da extensão da unidade A08. O restante, cerca de 76,63%, é ocupado pelas unidades de materiais inconsolidados de classes texturais IV, V, VI e VII com espessuras que variam desde inferiores a 0,5 m a até 7,0 m.



FIGURA 5.27 – Vista da Unidade A07.



FIGURA 5.28 – Vista da Unidade A08.

Unidade A09 – Caracteriza-se por apresentar colinas com topos arredondados, encostas convexas, declividades médias, amplitudes de relevo médias com padrão de drenagem paralelo e baixa densidade de canais. Estende-se por 21,98 km² (4,56 % do total). Seus materiais inconsolidados, do mesmo modo que na unidade A08, apresentam classes texturais IV, V, VI e VII com espessuras que variam desde inferiores a 0,5 m a até superiores a até 3,2 m.

Unidade A10 – Corresponde a morros com topos angulosos, encostas retilíneas, altas declividades, baixas amplitudes de relevo, padrão de drenagem dendrítico com média densidade de canais. Ocupa 34,17 km² (7,09 % do total). O substrato rochoso é formado exclusivamente por charnockitos. Seus materiais inconsolidados correspondem a classe textural III com espessuras variando entre 1,5 e 3,0 m.

SISTEMA B

O Sistema de Terreno B (Figura 5.29) se situa no setor ocidental da área em estudo e ocupa a porção mais elevada do embasamento pré-cambriano. Estende-se por uma superfície de 76,72 km² (15,91 % do total) na qual estão presentes todos os padrões de forma (colinas, morros, morrotes, vales e escarpas). Seu substrato rochoso é formado exclusivamente por litologias do Complexo Varginha (migmatitos graníticos e estromatíticos, granulitos quartzo-feldspáticos e charnockitos). Seus materiais inconsolidados mais comuns pertencem a classe textural V, que só não ocorrem nas unidades B01 e B07 do Sistema B.

Unidade B01 – Estende-se por 7,25 km² (1,50 % do total) e é formada por escarpa com topo retilíneo, encosta côncava, declividades altas, amplitudes de relevo altas, padrões de drenagem dendríticos com média densidade de canais (Figura 5.30). Seu substrato rochoso é constituído por migmatitos graníticos e estromatíticos, apresenta materiais inconsolidados de classe textural III com espessuras variando entre 1,5 a 3,0 m na sua porção leste (75,55% da unidade) e com espessuras de até 4,0 m na porção oeste (23,45% da unidade).

Unidade B02 – Corresponde a colinas com topos arredondados, encostas retilíneas, altas declividades, baixas amplitudes de relevo, padrão de drenagem dendrítico com baixa densidade de canais. Migmatitos graníticos e estromatíticos formam seu substrato rochoso. Seus materiais inconsolidados são formados pela classe textural V, com espessuras que variam entre 0,5 e 1,5 m. A Unidade B02 ocupa 4,67 km² (0,97 % do total).

Unidade B03 – Caracteriza-se por apresentar escarpas com topos e encostas retilíneas, declividades médias, amplitudes de relevo médias, padrões de drenagem dendríticos e alta densidade de canais. Seu substrato rochoso é composto por granulitos quartzo-feldspáticos. Seus materiais inconsolidados pertencem ao grupo textural V com espessuras variando entre 1,5 e 3,0 m. A Unidade B03 ocupa 12,43 km² (2,58 % do total).

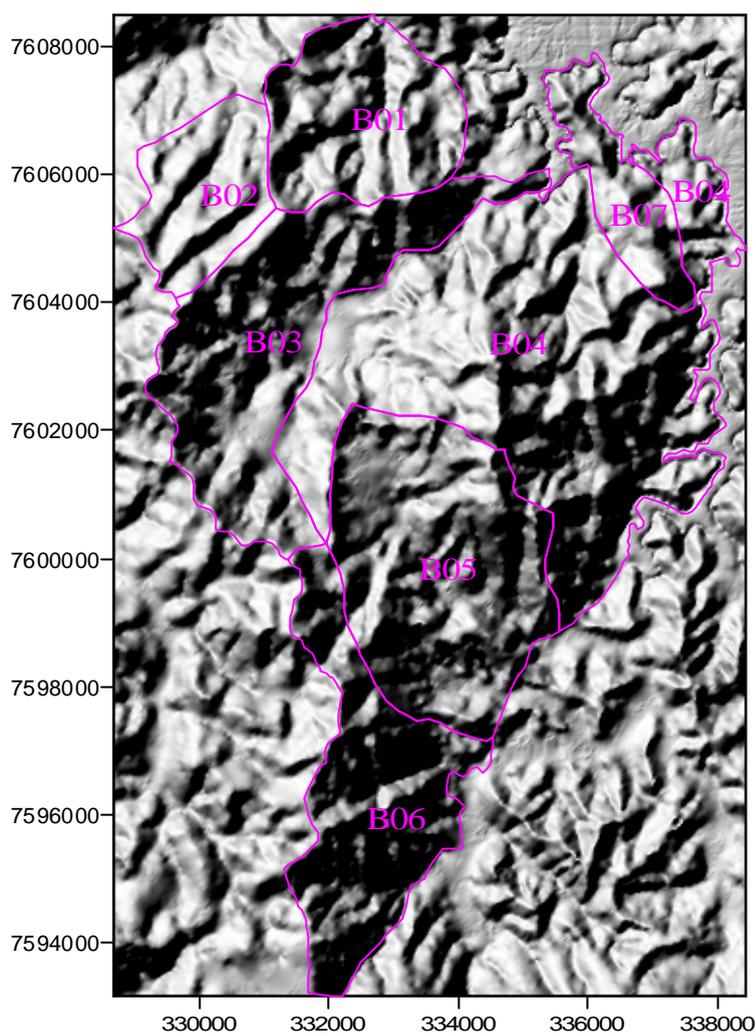


FIGURA 5.29 – Imagem sombreada do relevo mostrando a localização das unidades que compõem o Sistema de Terreno B.

Unidade B04 – É formada por morrotes com topos angulosos, encostas retilíneas, declividades médias, altas amplitudes de relevo, padrões de drenagem dendríticos com alta densidade de canais. Seu substrato rochoso apresenta granulitos quartzo-feldspáticos (58,41% da unidade) na porção noroeste e charnockitos (41,49% da unidade) na sudeste. Seus materiais inconsolidados são formados por materiais do grupo textural V com espessuras variando entre 0,5 a 1,5m na porção sudoeste (92,19% da unidade) e materiais do grupo VI com espessuras de até 3,1 m no setor nordeste (7,81% da unidade). A unidade B04 se estende por uma superfície de 25,81 km² (5,35 % do total).



FIGURA 5.30 – Vista da Unidade B01.

Unidade B05 – Corresponde a vales abertos, encostas retilíneas, declividades altas, altas amplitudes de relevo, padrões de drenagem dendríticos com baixa densidade de canais. Ocupa 13,35 km² (2,77 % do total). Seu substrato rochoso é formado por charnockitos. Os materiais inconsolidados presentes são: materiais do grupo textural III com espessuras variando entre 1,5 a 3,0 m na porção sudeste e ocupando 10,82% da unidade; materiais do grupo textural V com espessuras inferiores a 0,5 m na porção sudoeste que se estendem por 13,85% da unidade e materiais do grupo textural V com espessuras variando entre 1,5 e 3,0 m na porção setor norte da unidade, representando 75,33% de sua extensão.

Unidade B06 – Ocupa 9,74 km² (2,02 % do total) e é formada por escarpas com topos e encostas retilíneas, altas declividades, amplitudes de relevo baixas, padrões de drenagem dendríticos com baixa densidade de canais. Seus materiais inconsolidados pertencentes ao grupo textural III ocupam um pequeno setor da porção ocidental (3,70% da unidade) onde exibem espessuras que variam entre 1,5 e 3,0. Contudo, na maior parte (96,30% da unidade) os materiais inconsolidados presentes são do grupo textural V, onde as espessuras desenvolvidas são inferiores a 0,5 m. Seu substrato rochoso é composto por granulitos quartzo-feldspáticos

Unidade B07 – Corresponde a morros com topos angulosos, encostas retilíneas, declividades altas, medias amplitudes de relevo, padrões de drenagem paralelo e baixa densidade de canais. Apresenta materiais inconsolidados do grupo VI com espessuras de até 3,2 m. Seu substrato rochoso é formado por charnockitos, sendo que a unidade ocupa 3,47 km² (0,72 % do total)

SISTEMA C

O Sistema de Terreno C (Figura 5.31) se desenvolve sobre as litologias migmatíticas do Complexo Varginha. Seus materiais inconsolidados têm origem residual e apresentam espessuras variando entre 1,5 a 3,0m. Além disso, pode-se afirmar que somente materiais das classes texturais III e V estão presentes. As únicas formas de relevo desenvolvidas são escarpas e colinas. O Sistema C ocupa 15,08 km² (3,13 % do total).

Unidade C01 – Corresponde a escarpas com topos e encostas retilíneas, altas declividades, pequenas amplitudes de relevo, padrões de drenagem dendríticos com baixa densidade de canais. Migmatitos oftalmíticos compõem o substrato rochoso dessa unidade. O restante das unidades de terreno (C02, C03 e C04) é composto por migmatitos graníticos e estromatíticos. A unidade C01 ocupa 5,22 km² (1,08 % do total) onde se desenvolvem materiais inconsolidados do grupo textural III.

Unidade C02 – Estende-se por 1,87 km² (0,39 % do total) e é constituída por colinas com topos arredondados, altas declividades, encostas retilíneas, pequenas amplitudes de relevo, padrões de drenagem paralelos e baixa densidade de canais. Materiais inconsolidados do grupo textural III estão presentes nessa unidade.

Unidade C03 – Caracteriza-se por apresentar colinas de topos arredondados, encostas retilíneas, altas declividades, pequenas amplitudes de relevo, padrões de drenagem paralelos com baixa densidade de canais. Esta unidade ocupa 2,11 km² (0,44 % do total) onde se desenvolvem materiais inconsolidados do grupo textural V.

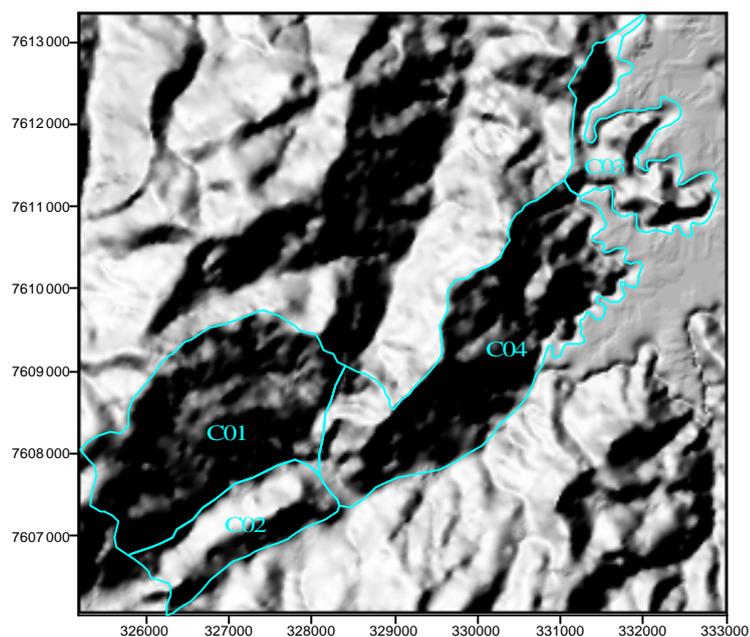


FIGURA 5.31 – Imagem sombreada do relevo mostrando a localização das unidades que compõem o Sistema de Terreno C.

Unidade C04 – Estende-se por 5,89 km² (1,22 % do total) e é formada por escarpas com topos retilíneos, encostas retilíneas, altas declividades, pequenas amplitudes de relevo, padrões de drenagem paralelos com média densidade de canais. Seus materiais inconsolidados pertencentes ao grupo textural III localizam-se na sua porção sudoeste (23,63% da unidade) enquanto que o restante de C04 é formada por materiais do grupo textural V (76,36% da unidade).

SISTEMA D

Associação de formas com ampla diversidade (colinas, vales, morros e escarpas) e que constituem a porção mais elevada da área em estudo (Figura 5.32). O Sistema D Estende-se por 128,06 km² (26,55 % do total). Apresenta substrato rochoso formado por migmatitos graníticos e estromatíticos do Complexo Varginha (Unidade D02), além de fonólitos (Unidades D01, D03, D04, D06, D07, D08 e D09) e nefelina sienitos (Unidades D05 e D10) do Maciço Alcalino de Poços de Caldas. Seus materiais inconsolidados exibem ampla diversidade com relação a gênese (residual e retrabalhada) classes texturais (I, III, IV, VI, VII e VIII) e espessuras (desde inferiores a 0,5 m a superiores a 3,0 m).

Unidade D01 – Corresponde a escarpas com topos retilíneos, encostas côncavas, declividades médias, amplitudes de relevo baixas, padrões de drenagem dendríticos e densidade de canais média (Figura 5.33). Seus materiais inconsolidados pertencem a classe textural VII e desenvolvem espessuras variando entre 1,5 e 3,0 m, ocupando uma área de 4,31 km² (0,89 % do total).

Unidade D02 – Estende-se por 29,20 km² (6,06 % do total) e caracteriza-se por apresentar escarpas com topos retilíneos, encostas convexas, altas declividades, altas amplitudes de relevo padrões de drenagem paralelos e média densidade de canais (Figura 5.34). Seus materiais inconsolidados são da classe textural I, de origem coluvionar e apresentam espessuras desde inferiores a 0,5 m a até 8,0 m.

Unidade D03 – É formada por escarpas com topos retilíneos, encostas côncavas, altas declividades, amplitudes de relevo altas, padrão de drenagem paralelo e densidade de canais baixa. A unidade D03 ocupa 4,18 km² (0,87 % do total), sendo seus materiais inconsolidados da classe textural VIII e com espessuras de até 9,0 m.

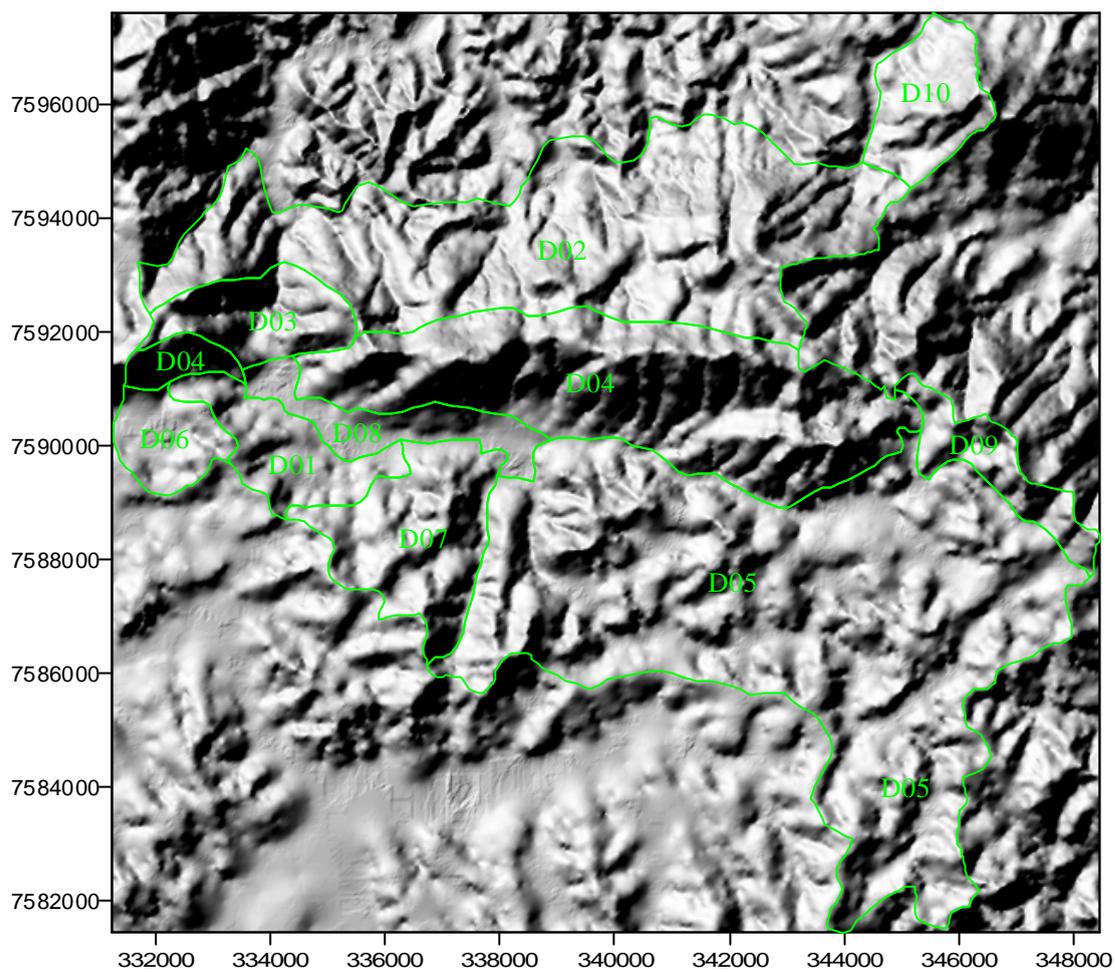


FIGURA 5.32 – Imagem sombreada do relevo mostrando a localização das unidades que compõem o Sistema de Terreno D.

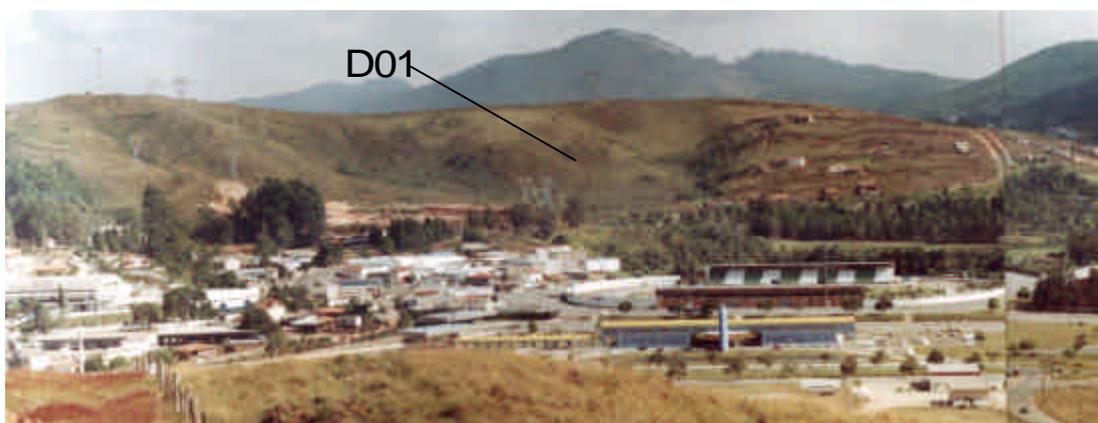


FIGURA 5.33 – Vista da Unidade D01.



FIGURA 5.34 – Vista da Unidade D02.

Unidade D04 – Ocupa uma superfície de 21,81 km² (4,52 % do total) e corresponde a escarpas de topo retilíneo, encostas retilíneas, declividades altas, amplitudes de relevo altas, padrões de drenagem paralelos com alta densidade de canais (Figura 5.35). Seus materiais inconsolidados são os mesmos presentes na unidade D03.

Unidade D05 – É formada por colinas com topos angulosos, encostas convexas, declividades médias, amplitudes de relevo médias, padrões de drenagem paralelos com média densidade de canais. Esta unidade estende-se por 47,21 km² (9,79 % do total), apresentando materiais inconsolidados residuais (cerca de 95,09% da unidade) pertencentes a classe textural III com espessuras que variam entre 0,5 e 1,5 m. Além desses materiais próximo da porção central podem ser encontrados materiais retrabalhados da classe textural VI (4,91% da unidade) cuja espessuras são inferiores a 0,5 m.

Unidade D06 – A unidade D06 ocupa 2,79 km² (0,58 % do total). Caracteriza-se por apresentar vales abertos, encostas côncavas, baixas declividades e amplitudes de relevo. Seus materiais inconsolidados pertencem a classe textural IV e desenvolvem espessuras de até 3,3 m.



FIGURA 5.35 – Vista da Unidade D04.

Unidade D07 – Corresponde a morros com topos angulosos, encostas retilíneas, declividades altas, médias amplitudes de relevo, padrão de drenagem dendrítico e baixa densidade de canais. Com uma extensão de 7,43 km² (1,54 % do total) apresenta materiais inconsolidados do grupo textural VII com espessuras variando entre 0,5 e 1,5 m.

Unidade D08 – É formada por vales abertos, encostas convexas, baixas declividades e amplitudes de relevo. Seus materiais inconsolidados são os mesmos presentes na unidade D07 e ocupa uma área de 3,57 km² (0,74 % do total).

Unidade D09 – Corresponde a escarpas com topos retilíneos, encostas convexas, declividades médias, pequenas amplitudes de relevo, padrão de drenagem dendrítico e com baixa densidade de canais. D09 ocupa 3,23 km² (0,67 % do total). Seus materiais inconsolidados correspondem ao grupo textural III com espessuras variando entre 0 e 0,5 m.

Unidade D10 – É formada por morrotes com topos angulosos, encostas retilíneas, altas declividades, amplitudes de relevo altas (> 300 m), padrões de drenagem paralelos com baixa densidade de canais (Figura 5.36). Seus materiais inconsolidados pertencem ao grupo textural I, tem origem coluvionar e apresentam espessuras que variam desde inferiores a 0,5m a até 3,5 m. A Unidade D10 se estende por uma superfície de 4,34 km² (0,90 % do total).



FIGURA 5.36 – Vista da Unidade D10.

Uma vez completada a fotointerpretação e a delimitação dos sistemas e unidades de terreno nas fotografias aéreas, ocorre a restituição desses setores classificados utilizando o *aerosketchmaster* para a base topográfica disponível.

O processo final de construção do mapa de *landforms* abrange etapas de escaneamento do documento restituído assim como seu referenciamento, digitalização e edição final no *AutoCad Map 2000* (Figura 5.37).

A descrição das unidades de terreno forneceu um grande número de dados sobre a área estudada. Portanto, para cada uma delas foram definidas: feição de relevo, forma do topo ou tipo de vale, tipo de encosta, declividade, padrão de drenagem e densidade de drenagem.

Deste modo, procurou-se a partir da interpretação das informações disponíveis utilizar algum tipo de análise que apontasse relação entre os níveis hierárquicos de terreno definidos por Lollo (1996) como mostra a Tabela 5.25.

Assim, a exemplo da utilização de estatística multivariada para a seleção das classes texturais no mapa de materiais inconsolidados, optou-se pelo emprego de análise de agrupamentos hierárquicos no tratamento das informações coletadas para o mapa de *landforms*.

Desse modo, foi escolhido a técnica de agrupamento por ligação completa que utiliza como medida de distância o percentual de discordância para classificar os níveis taxonômicos de terrenos, tal operação fora realizada pois tal técnica permite a análise estatística de dados cuja a natureza é nominal (alfanumérica).



FIGURA 5.37 – Etapas seguidas para a construção do Mapa de *Landforms*.

As variáveis utilizadas foram: feição de relevo, forma do topo ou tipo de vale, tipo de encosta, declividade, padrão de drenagem e densidade de drenagem. As análises foram realizadas utilizando o *software STATISTICA® 5.5*.

Os primeiros resultados não se mostraram satisfatórios porque os agrupamentos obtidos não mostravam nenhuma similaridade com o que havia sido proposto por fotointerpretação. Contudo, esses resultados começaram a melhorar a partir do momento que foi levado em consideração o conceito de Lollo (1996) para Sistema de Terreno.

Segundo o autor o Sistema de Terreno representa a associação de feições de relevo com expressão espacial determinada e que representa condições similares de processos evolutivos e de materiais rochosos associados.

Examinando o conceito, observa-se que unidades do mesmo sistema tendem a apresentar materiais rochosos similares, portanto, substratos rochosos de mesma natureza. Do mesmo modo, unidades que compõem o mesmo sistema tendem a experimentar o mesmo processo evolutivo, dessa maneira, também devem experimentar o mesmo período de tempo desde suas formações até o estágio que se encontram hoje.

Baseado nessas qualidades, optou-se por acrescentar variáveis que representassem tais condições, desse modo foram incluídos o tipo, a mineralogia e a idade do substrato rochoso presentes em cada Unidade de Terreno.

A inclusão da variável mineralogia é justificada pois na área em estudo ocorrem exemplos de substratos rochosos com diferentes denominações e que apresentam composição mineralógica muito parecidas, portanto tendem a gerar produtos de alteração muito similares.

A partir dessas considerações ficaram estabelecidas algumas condições para execução da análise de agrupamento. A primeira delas é que a classificação feita para o mapa de substrato rochoso seria utilizada sem nenhuma generalização ou subdivisão nas Unidades de Terreno, exceção feita aos migmatitos e entre os nefelina sienitos e os fonólitos.

A última condição diz respeito ao tempo de desenvolvimento dos processos evolutivos que experimentaram as unidades. Desse modo, considerou-se as litologias do Complexo Varginha como relativas ao período pré-cambriano e as do Complexo Alcalino de Poços de Caldas a Era Mesozóica.

Uma vez superadas essas etapas, foram realizadas diversas análises, inicialmente considerando todas as variáveis e depois retirando cada uma delas e mantendo o restante. Ao final desse procedimento, observou-se que o melhor resultado foi atingido quando na análise foi suprida a variável feição de relevo.

Acredita-se que a inserção da variável feição de relevo deve prejudicar a análise de agrupamento, pois esta freqüentemente traz consigo uma série de características de outras variáveis. Assim, quando se define que determinadas feições são compostas por escarpas já se sabe que seus topo não são arredondado, ou ainda, que morrotes jamais possuem pequenas amplitudes de relevo.

A análise pelo modo Q (Figura 5.38) demonstra um agrupamento muito similar ao realizado utilizando fotografias aéreas considerando que o Sistema de Terreno C corresponde a um sistema de transição, podendo ter unidades tanto pertencentes ao Sistema de Terreno A quanto B.

Assim, quando o percentual de discordância atinge 78 % se observa que apenas cinco unidades (A08, A10, B01, B02 e D02) não pertencem aos mesmos sistemas definidos em fotografias aéreas, tal conjunto perfaz apenas uma diferença percentual em torno de 16,13% num universo de trinta e uma unidades (Tabela 5.40).

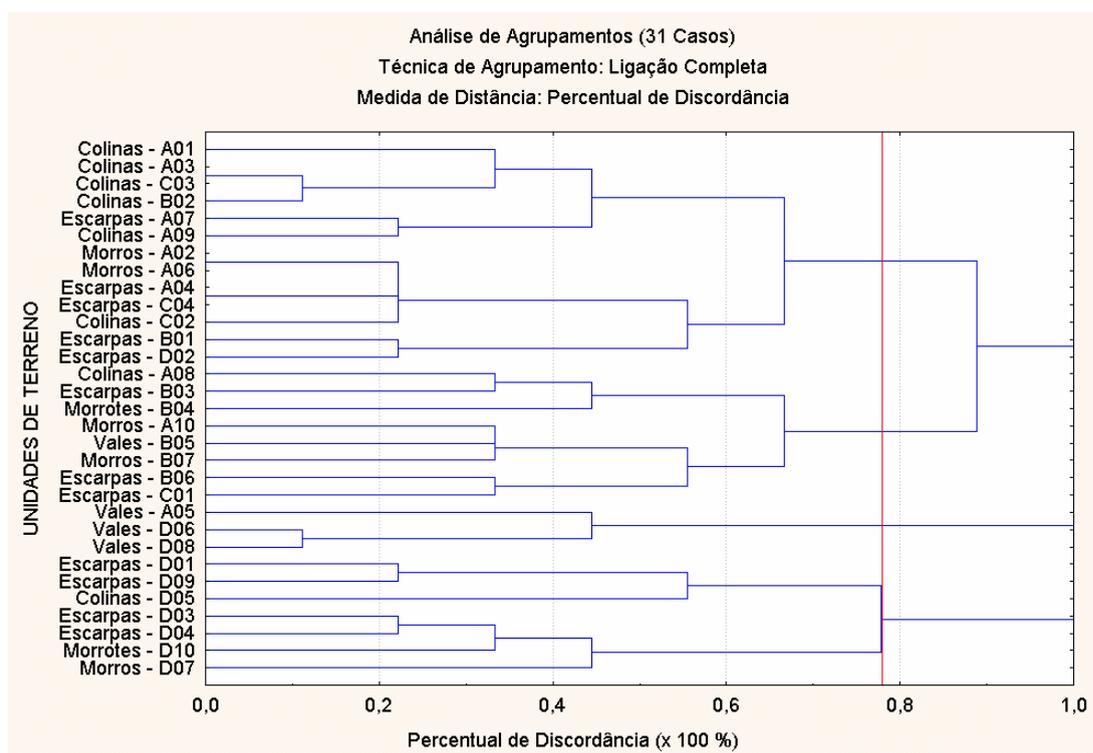


FIGURA 5.38 – Análise de agrupamentos entre as Unidades de Terrenos (modo Q) presentes no Mapa de Landforms.

TABELA 5.40 – Comparação entre os resultados obtidos na composição dos Sistemas de Terreno por meio da Técnica de Avaliação de Terreno de Lollo (1996) em relação aos definidos pela análise de agrupamentos, para isso, considerando as condições de contorno estabelecidas para área em estudo.

SISTEMAS DE TERRENOS DELIMITADOS POR FOTOGRAFIAS ÁERIAS
Sistema A: A01, A02, A03, A04, A05, A06, A07, A08, A09 e A10
Sistema B: B01, B02, B03, B04, B05, B06 e B07
Sistema C: C01, C02, C03 e C04
Sistema D: D01, D02, D03, D04, D05, D06, D07, D08, D09 e D10

SISTEMAS DE TERRENOS AGRUPADOS PELO DENDOGRAMA
Sistema A: A01, B01 , A02, B02 , C02, D02 , A03, C03, A04, C04, A06, A07 e A09
Sistema B: C01, B03, B04, B05, B06 e B07 A08 e A10
Sistema D: D01, D03, D04, D05, D07, D09 e D10
Sistema E (Vales): A05, D06 e D08

O dendograma indica ainda a existência de um outro sistema formado exclusivamente por vales (Tabela 5.40), o que também pode ser considerado como aceitável, uma vez que essas feições de relevo possuem uma descrição bem particular quando compõem unidades de terreno (ausência de topo, forma de seu vale, etc).

5.1.6. Mapa de Uso e Ocupação

O mapa de uso e ocupação (ANEXO VI) é o documento cartográfico que representa a disposição espacial das atividades e distribuição dos meios biológico e antrópico sobre o meio físico para um intervalo de tempo definido.

É através do mapa de uso e ocupação que se pode avaliar, medir, planejar e até mesmo fiscalizar as atividades humanas que tragam sérios danos ao meio ambiente.

A confecção de tal documento cartográfico nessa pesquisa envolveu o uso de imagens de satélite, contudo também poderiam ser utilizadas fotografias aéreas, desde que recentes.

O passo inicial de construção do mapa de uso e ocupação foi a aquisição de imagens do LANDSAT 5 (Figura 5.39) datadas de setembro de 1999 e a definição do *software ENVI*® 3.2 como responsável pelo processamento digital das imagens. A partir de então, foram escolhidas as Bandas 4, 5 e 3 (Figura 5.40) para o processamento digital, isso porque, para esse tipo de satélite, tais bandas são as mais indicadas quando se deseja observar os padrões de uso e ocupação.

O passo seguinte foi a delimitação e edição, dentro da cena do LANDSAT, do polígono regular que contém a área em estudo, desse modo, o georeferenciamento e a classificação da imagem se tornariam mais eficazes, uma vez que o processamento não seria realizado sobre toda a cena onde não se dispunha de informação.

A correção geométrica, ou georeferenciamento, de acordo com o Guia do ENVI 3.5 em Português (2002), é feita pelo ajuste de uma imagem ou de um arquivo vetorial a um espaço definido por um sistema de coordenadas de referência, no caso utilizado desta o Sistema UTM.

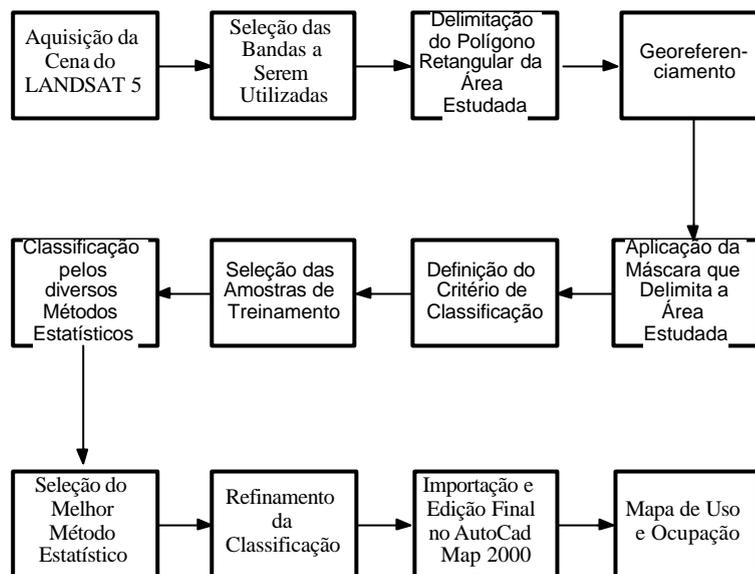


FIGURA 5.39 – Etapas seguidas para a construção do Mapa de Uso e Ocupação.

Assim, utilizando um arquivo de pontos de controle da imagem, que o próprio *software* gerou, baseados em pontos obtidos a partir dos folhas topográficas, (Caconde, Botelhos, Caldas e Poços de Caldas) foi calculado o valor RMS (Erro Médio Quadrático).

Segundo o Guia do ENVI 3.5 em Português (2002) “*O Erro médio quadrático é uma medida do desvio dos valores calculados em relação aos valores originais. O erro RMS é estimado tomando-se uma amostra dos valores calculados e comparando-a com seus valores reais. As diferenças entre elas são então elevadas ao quadrado e somadas. A soma é então dividida pelo número de medidas, para que se atinja um valor cuja raiz quadrada fornece uma medida característica de erro na mesma unidade das medidas originais. O erro RMS é diretamente comparável ao conceito de desvio padrão*”.

Para área estudada foram utilizados 13 pontos de coordenadas conhecidas identificados nas cartas topográficas. O RMS calculado para imagem apontou um valor de 1,6985.

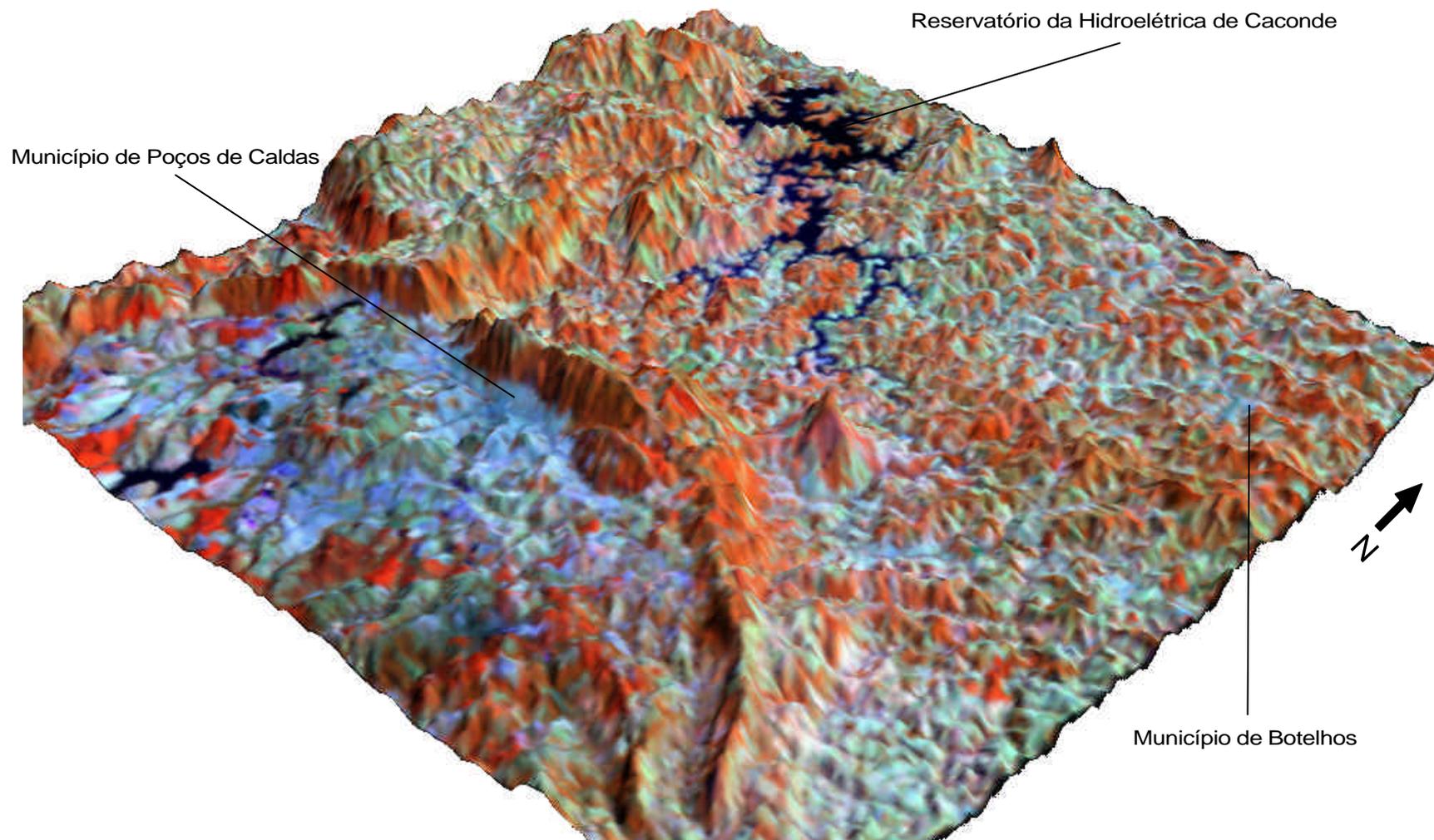


FIGURA 5.40 – Bandas 4, 5 e 3 do LANDSAT 5 sobrepostas ao MDT gerado para área estudada utilizando o *ArcView*® 3.1.

Segundo o Guia do ENVI 3.5 em Português (2002) as etapas finais de correção geométrica incluem duas fases de processamento. A primeira delas é transformação de coordenadas em pixels, a outra é conhecida como reamostragem, ou seja, é a etapa responsável pela determinação do valor do pixel na imagem a ser registrada. Para primeira etapa foi utilizada a transformação polinomial de 2ª ordem enquanto que na segunda a convolução cúbica.

A próxima fase executada para o processamento da imagem foi a utilização de um filtro chamado de máscara, filtro esse cuja finalidade é excluir do processamento digital da imagem os setores externos ao limite da área estudada. Tal procedimento visa a melhoria do processamento uma vez que aumenta a eficiência da classificação.

O ENVI ® 3.2 permite ao usuário a definição de dois critérios de classificação. O primeiro chamado de classificação não supervisionada é geralmente utilizado quando não se possui informação a cerca da área estudada, ou ainda quando se deseja obter uma classificação preliminar para auxiliar na busca de informações voltada para uma classificação posterior, do tipo supervisionada.

A classificação supervisionada, o outro critério de classificação oferecido pelo ENVI ® 3.2, foi utilizada na pesquisa uma vez que as etapas de campo realizadas trouxeram informações que puderam ser utilizadas na composição das amostras de treinamento (Figura 5.41).

Desse modo, puderam ser definidas cinco tipos de amostras de treinamento, são elas:

- a) *Água represada*: representada pelo reservatório da Hidroelétrica de Caconde e pelos diversos pequenos corpos de água na forma de barragens e lagos
- b) *Floresta nativa*: representada pela Floresta Mesófila
- c) *Áreas destinadas a pecuária bovina extensiva*: representadas pelos campos de pastagem.
- d) *Áreas sem cobertura vegetal*: representadas pelos setores que apresentaram solos expostos (áreas desmatadas).
- e) *Monocultura cafeeira*: representada pelas áreas onde o café é cultivado independente de seus estágios de desenvolvimento.

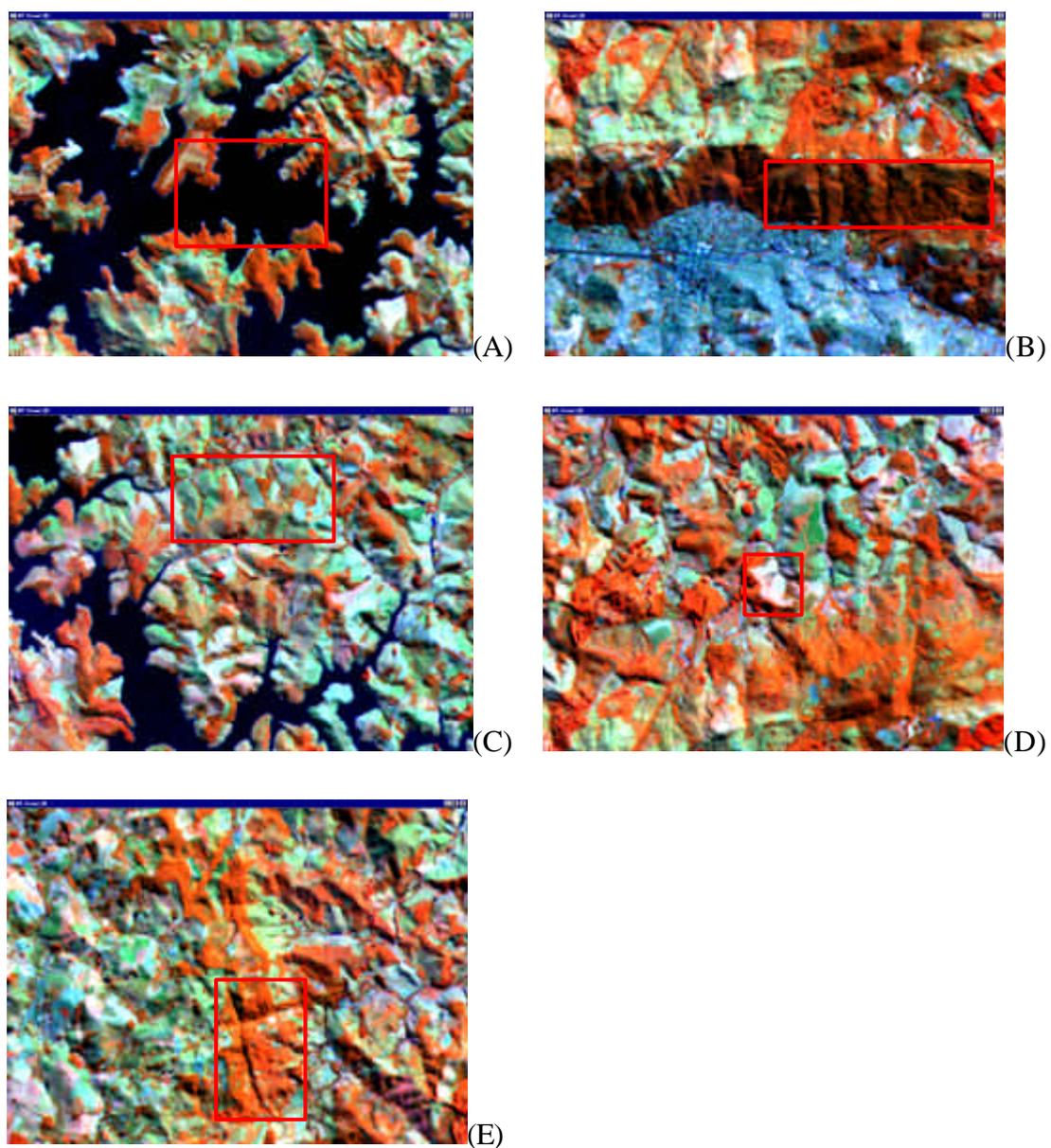


FIGURA 5.41 – Aparência das amostras de treinamento das classes de uso e ocupação da área estudada a partir das composições das bandas 4, 5 e 3 do LANDSAT 5. As classes utilizadas são: água represada (A), floresta nativa (B), áreas destinadas a pecuária bovina extensiva (C), áreas sem cobertura vegetal (D), monocultura cafeeira (E).

A classe que representa áreas urbanizadas não teve incluídas amostras de treinamento. De acordo com Novo (1989) devido a diversidade de materiais que compõe os centros urbanos essas áreas não apresentam comportamento espectral homogêneo, portanto dificultam o processamento em função de sua variância interna muito grande.

A etapa seguinte envolveu a classificação por seis tipos de algoritmos que o *ENVI* ® 3.2 apresenta, são eles: Método do paralelepípedo, Método da distância mínima, Método da máxima verossimilhança, Mapeador de ângulo espectral, Classificação por distância de Mahalanobis e Classificação por "Binary Encoding".

O *ENVI* ® 3.2 possibilita a avaliação dos resultados das classificações através de seu módulo de matriz de confusão ou de erros. Tal módulo fornece para cada algoritmo a sua exatidão global e o seu coeficiente kappa.

De acordo com o Guia do *ENVI* 3.5 em Português (2002) a exatidão global pode ser compreendida como a relação percentual entre o número de pixels bem classificados nos setores ocupados pelas amostras de treinamento pelo número total de pixels que as amostras de treinamento ocupam, que no caso dessa pesquisa correspondem a uma superfície de 7,47 % da área estudada.

Ainda segundo o Guia do *ENVI* 3.5 em Português (2002), coeficiente kappa incorpora a informação dos pixels mal classificados, e não apenas dos bem classificados como a exatidão global. O kappa é sensível não só a perda de acurácia global como as variações dos erros de omissão e de inclusão de pixels nas diferentes classes de usos definidas.

Os resultados na Tabela 5.41 apontam o método da máxima verossimilhança com o melhor valor de exatidão global e coeficiente kappa, fazendo assim do resultado da classificação da imagem por esse algoritmo, como o utilizado nessa pesquisa.

O *ENVI* ® 3.2 permitiu posteriormente a classificação a aplicação de filtros que tem o objetivo de reduzir a quantidade de pixels mal classificados (ruídos) não imagem.

Algoritmo	Exatidão Global	Coefficiente kappa
Método do paralelepípedo	42,10 %	0,25
Método da distância mínima	90,39 %	0,86
Método da máxima verossimilhança	94,87 %	0,93
Mapeador de ângulo espectral	62,32 %	0,50
Classificação por distância de Mahalanobis	88,92 %	0,84
Classificação por "Binary Encoding"	79,94 %	0,70

TABELA 5.41 – Valores de exatidão global e coeficiente kappa obtidos para imagem da área estudada a partir dos algoritmos de classificação supervisionada fornecidos pelo *ENVI*® 3.2.

O primeiro filtro utilizado foi o de convolução mediana, de acordo com Collares (2000) este filtro permite a remoção de ruídos, provocando um efeito de suavização. O processo é efetuado com uma máscara por cima da imagem, geralmente utilizando-se uma matriz 3x3, onde o pixel central é substituído pelo valor médio de seus vizinhos.

Os outros filtros utilizados foram o *Clump* e *Sieve*. Segundo Collares (2000) estes servem, respectivamente, para aglutinar ou separar pixels isolados envoltos ou próximos de um grupo de pixels de uma determinada classe. O autor destaca como aspecto negativo que o processamento é efetuado em toda imagem e não apenas em pontos isolados, fato este que pode provocar distorções em locais indesejados.

O último estágio na classificação da imagem é a inserção das áreas urbanizadas através do aplicativo *classedit*. Assim, por meio da digitalização dos limites dos centros urbanos tendo como imagem de fundo as composições das bandas 4,5 e 3, pode-se delimitar com precisão os limites dessa classe.

A matriz de erro dessa nova imagem apontou uma melhora nos valores de exatidão global e coeficiente kappa, passando a primeira de 94,87 % para 96,88 % e a segunda de 0,93 para 0,95.

A última etapa de construção do mapa de uso e ocupação envolveu a importação do arquivo do *ENVI*® 3.2 no formato BMP por parte do *AutoCad Map 2000* e conseqüentemente a realização da edição no mesmo programa. O resultado da distribuição das classes desse mapa pode ser apreciado na Tabela 5.42.

TABELA 5.42 – Resultados da distribuição das classes para o Mapa de Uso e Ocupação.

Classe de Uso e Ocupação	Total de Área Ocupada em km ²	Percentual da Área Ocupada
Água represada	26,73	5,25
Floresta nativa	93,19	18,31
Áreas destinadas a pecuária bovina extensiva	234,58	46,08
Áreas sem cobertura vegetal	14,62	2,87
Monocultura cafeeira	117,12	23,01
Áreas urbanizadas	22,15	4,35
Setores não classificados	0,66	0,13
TOTAL	509,05	100,00

5.1.7. Carta de Potencial Agrícola

A carta de potencial agrícola (ANEXO VII), especificamente para essa pesquisa, tem a finalidade de classificar e delimitar de modo relativo a área estudada quanto a sua aptidão agrícola geral.

Desse modo, o objetivo desse documento cartográfico é diferenciar setores que apresentem por exemplo solos espessos, bem graduados, profundos, com alta capacidade de troca catiônica, situados em áreas de baixa declividades e que não tenham nenhuma restrição legal quanto ao uso como setores favoráveis a atividade agrícola de forma geral.

Por outro lado, deseja-se delimitar do mesmo modo como áreas restritivas, por exemplo, aquelas que apresentem solos muito arenosos, rasos, com baixo CTC situadas em terrenos com altas declividades.

Além disso, buscou-se ainda mapear áreas que apresentem adequabilidades intermediárias entre restritivas e favoráveis (adequabilidades severas e moderadas) além de setores que possuam restrições legais quanto ao uso agrícola.

A exemplo da confecção da carta de potencial agrícola produzida por Grecchi (1998), esse documento cartográfico geotécnico foi elaborado baseando-se nos atributos propostos por Zuquette (1993), conforme mostra a Tabela 5.42, com o objetivo de obter uma avaliação geral das potencialidades e limitações da região quanto aos aspectos agrícolas. Desse modo, não se pretendeu entretanto, avançar neste assunto, tanto pela falta de aptidão técnica, por se tratar de um ramo específico da agronomia, quanto por se tornar inviável dentro dos objetivos desse trabalho.

O passo inicial para construção da carta foi a seleção dos atributos propostos por Zuquette (1993) (presentes na Tabela 5.43) que poderiam ser obtidos tomando como base os dados levantados nessa pesquisa.

Desse modo, percebeu-se que as classes de adequabilidades de aptidão agrícola relativas a espessuras, a textura e a capacidade de troca catiônica dos materiais inconsolidados, poderiam ser obtidas facilmente por meio de uma reclassificação do mapa de materiais inconsolidados em três planos de informações distintos seguindo os intervalos propostos por Zuquette (1993), conforme mostra a figura 5.42 e a Tabela 5.44.

Com relação as classes de adequabilidades do atributo declividade, essas deveriam ser definidas a partir da reclassificação das declividades geradas pelo MDT, uma vez que as classes utilizadas na carta de declividades não coincidiram com as proposta por Zuquette (1993).

A etapa seguinte envolveu a definição de um peso específico para cada classe de adequabilidades (favorável, moderada, severa e restrita) em cada um dos planos de informação (espessuras, texturas, CTC e declividade) gerados, desse modo tais planos puderam ser adicionados um a um dentro do SIG *Idrisi*® 32 para posterior reclassificação em intervalos julgados adequados.

Ficou ainda estabelecido que os planos de informações deveriam possuir o mesmo peso quando comparados entre si, portanto, dessa forma, todas as classes de adequabilidades dos planos de informações, quando analisadas individualmente nos diferentes mapas, deveriam ter a mesma unidade. Os valores atribuídos para cada classe de adequabilidade nessa pesquisa foram: favorável igual a 1, moderada 2, severa 3 e restritiva 4 (Figura 5.43).

TABELA 5.43 – Combinação de atributos e níveis que definem as classes da carta de potencial agrícola (Fonte: Zuquette, 1993)

Componentes	Atributos	Classes			
		Favorável	Moderada	Severa	Restritiva
Substrato Rochoso	Profundidade (m)	> 1,5	> 0,7	< 0,5	< 0,2
Material Inconsolidado	Textura	Média Argilo-Arenosa e Argilosa	Areia (< 30%)	Arenosa (> 90%)	Arenosa/ Argilas expansivas
	Estruturas	Moderado ou sem			Maciça, estrutura grosseira
	Consistência	Friável		Dura	Muito dura
	Níveis de Umidade	Boa retenção			Baixa retenção
	C.T.C. (cap. troca catiônica) (meq/100g TFSA)	> 20 meq/100 (superficial) > 10 meq/ (subsuperficial)	10 meq/100 g (superfic.) 5 meq/100 g (subsuperficial)	> 2 meq/100 (superf. e subsuperficial)	< 2 meq/100 g
	Δ pH	Negativo			Positivo
	PH	5,5 – 7,5			< 4 > 8
	Nutrientes	Altos níveis			Baixos níveis
	Pedregosidade	Sem ocorrência	Pequena ocorrência (0,1 – 1 %)	Média (> 2 %)	Alta ocorrência (> 3 %)
	Salinidade Ece* MS/CM	> 2	2 – 8	8 – 15	> 15
	Sódio (meq/100 g)	> 0,2	0,2 – 1	> 1	> 2
	Sódio trocável Nat/C.T.C. (%)	> 2	2 – 10	> 10	> 15
	Capacidade de Campo – Ponto de murchamento (Δ m)	Alto	Médio	Baixo	Baixo
Porcentagem Mat. Orgânica	> 4 %	2 %	1 %	< 0,1	

* Condutividade elétrica do extrato de saturação.

TABELA 5.43 (Continuação) – Combinação de atributos e níveis que definem as classes da carta de potencial agrícola (Fonte: Zuquette, 1993)

Componentes	Atributos	Classes						
		Favorável		Moderada		Severa		Restritiva
Material Inconsolidado	Saturação em Bases (%)	> 60		20 – 60		< 20		< 10
Condições para Irrigação	Meio Físico / Águas	Adequado	Adequado	Média	Adequado	Média	Média	Inadequado em um dos fatores
				Adequado				
Águas	Drenabilidade	Boa		Média		Má		Má
	Profundidade (m)	NA	> 2	1 – 2		< 1		< 0,5
Relevo	Declividade	< 8		8 – 12		> 12		> 20
Riscos	Erosão	Baixo		Médio		Alto		Alto ou Muito Alto
	Contaminação das águas subterrâneas	Nulo a baixo		Baixo		Médio		Alto

A sobreposição de todos os planos de informações no *Idrisi* ® 32 gerou um plano de informação novo (potencial agrícola) cujo os valores individuais dos pixels variavam desde 4 até 16. Portanto, para pixels de valor igual a 4 todas as classes de adequabilidade, para os diferentes atributos (diferentes planos de informações), possuíam condição favorável, em contrapartida, para valores iguais a 16 elas eram todas restritas.

A etapa seguinte envolveu a reclassificação da imagem a partir da definição dos quatro intervalos nos quais as classes de aptidão estariam representadas, são eles:

- a) de 4 a 6 para classe *Favorável*
- b) de 7 a 9 para classe *Moderada*
- c) de 10 a 13 para classe *Severa*
- d) de 14 a 16 para classe *Restritiva*

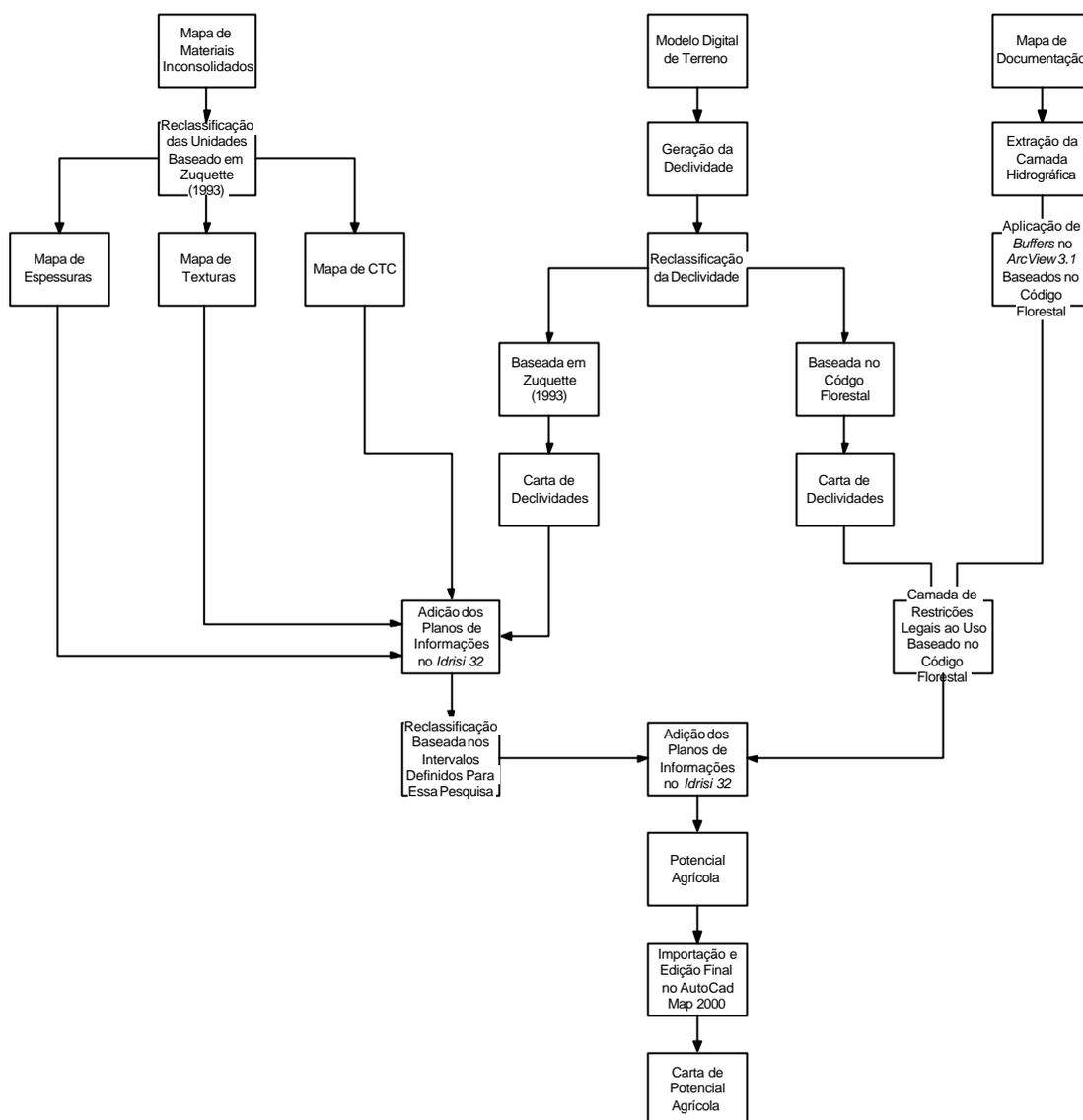


FIGURA 5.42 – Etapas seguidas para a construção da Carta de Potencial Agrícola.

Com o plano de informação de potencial agrícola reclassificado de treze (anteriormente variando entre 4 e 16) para quatro níveis (agora variando entre 1 e 4), o próximo passo envolveu a análise do Código Florestal (Lei nº 4.471/65) para se determinar quais tipos de restrições legais poderiam existir e se aplicar na área em estudo.

TABELA 5.44 – Classificação dos planos de informações obtidos por meio do mapa de materiais inconsolidados de acordo com suas classes de adequabilidade de potencial agrícola (de acordo com Zuquette, 1993).

	Espessura	Textura	CTC
Unidade 01	Favorável	Severa	Restritiva
Unidade 02	Severa	Moderada	Moderada
Sub-unidade 03a	Severa	Severa	Restritiva
Sub-unidade 03b	Favorável	Severa	Moderada
Unidade 04	Moderada	Favorável	Severa
Unidade 05	Favorável	Moderada	Severa
Unidade 06	Moderada	Moderada	Favorável
Unidade 07	Favorável	Restritiva	Favorável
Unidade 08	Moderada	Favorável	Favorável
Unidade 09	Favorável	Favorável	Moderada
Sub-unidade 10a	Severa	Favorável	Moderada
Sub-unidade 10b	Moderada	Favorável	Moderada
Sub-unidade 10c	Favorável	Favorável	Severa
Sub-unidade 10d	Favorável	Favorável	Severa
Unidade 11	Favorável	Moderada	Moderada
Unidade 12	Favorável	Favorável	Severa
Sub-unidade 13a	Severa	Favorável	Moderada
Sub-unidade 13b	Moderada	Favorável	Moderada
Sub-unidade 13c	Favorável	Favorável	Severa
Unidade 14	Favorável	Favorável	Severa
Unidade 15	Favorável	Favorável	Severa
Sub-unidade 16a	Favorável	Favorável	Severa
Sub-unidade 16b	Favorável	Favorável	Moderada
Unidade 17	Favorável	Moderada	Moderada
Sub-unidade 18a	Severa	Favorável	Moderada
Sub-unidade 18b	Favorável	Favorável	Moderada
Unidade 19	Favorável	Moderada	Severa
Unidade 20	Favorável	Favorável	Moderada
Unidade 21	Favorável	Favorável	Moderada

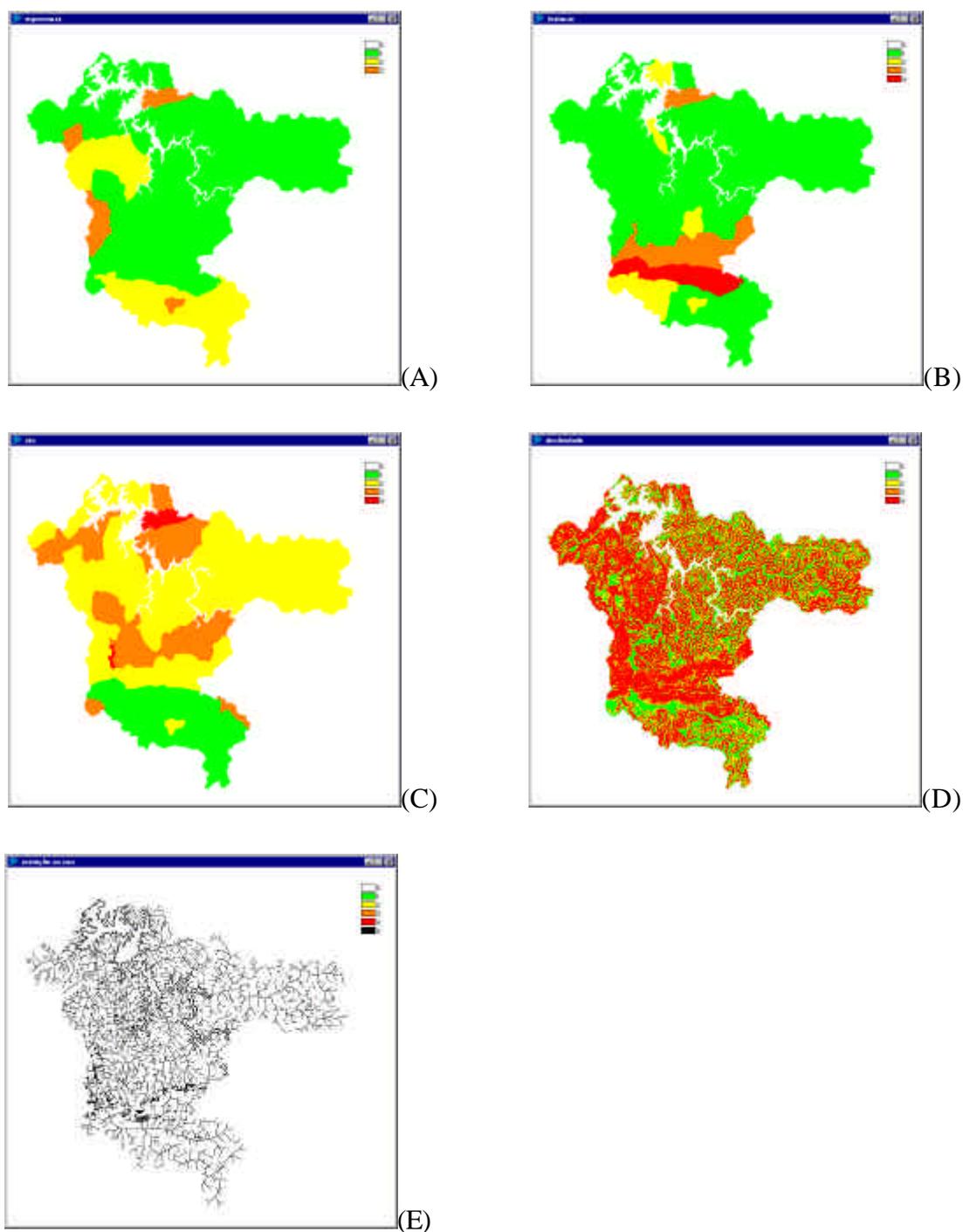


FIGURA 5.43 – Planos de informações utilizados no *Idrisi*® 32 para gerar a carta de potencial agrícola. São eles: espessuras (A), texturas (B), CTC (C), declividades (D) e restrições legais baseado no Código Florestal (E). As cores verde, amarelo, laranja, vermelho e preto correspondem respectivamente aos potenciais favorável, moderado, severo, restritivo e restritivo baseado no Código Florestal.

O Código Florestal Brasileiro foi utilizado pois a área estudada está localizada entre uma bacia hidrográfica que pertence a duas unidades da federação (Bacia do Rio Pardo), portanto nesse caso se preferiu adotar um mesmo critério. Além disso, quaisquer resoluções legislativas estaduais e municipais específicas provenientes, tanto em São Paulo quanto em Minas Gerais, jamais poderiam diminuir as áreas destinadas a preservação ambiental amparadas pelo Código Florestal.

O Código Florestal regulamenta:

Art. 2º – Consideram-se de preservação permanente, pelo só efeito desta lei, as florestas e demais formas de vegetação natural situadas:

- a) ao longo dos rios ou de qualquer curso de água desde seu nível mais alto em faixa marginal cuja largura mínima seja:
 - 1) de 30 (trinta) metros para cursos de água de menos de 10 (dez) metros de largura;
 - 2) de 50 (cinquenta) metros para cursos de água que tenham de 10 (dez) a 50 (cinquenta) metros de largura;
 - 3) de 100 (cem) metros para os cursos de água que tenham de (cinquenta) a 200 (duzentos) metros de largura;
 - 4) de 200 (duzentos) metros para os cursos de água que tenham de 200 (duzentos) a 600 (seiscentos) metros de largura;
 - 5) de 500 (quinhentos) metros para cursos de água que tenham largura superior a 600 (seiscentos) metros;
- b) ao redor das lagoas, lagos ou reservatórios de águas naturais ou artificiais;
- c) nas nascentes, ainda que intermitentes e nos chamados olhos d'água, qualquer que seja a sua situação topográfica, num raio mínimo de 50 (cinquenta) metros de largura;
- d) no topo de morros, montes, montanhas e serras;
- e) nas encostas ou partes destas com declividade superior a 45º, equivalente a 100 % as linha de maior declive;
- f) nas restingas, como fixadoras ou estabilizadoras de mangues;

- g) nas bordas dos tabuleiros ou chapadas, a partir da linha de ruptura de relevo, em uma faixa nunca inferior a 100 (cem) metros em projeções horizontais;
- h) em atitudes superiores a 1.800 (mil e oitocentos) metros, qualquer que seja a vegetação

Parágrafo Único – No caso de áreas urbanas, assim entendidas as compreendidas nos perímetros urbanos definidos por lei municipal, e nas regiões metropolitanas e aglomerações urbanas, em todo território abrangido, observar-se-á o disposto nos respectivos planos diretores e leis de uso de solo, respeitados os princípios e limites que se refere este artigo

Art. 10º – Não é permitida a derrubada de florestas situadas em áreas de inclinação entre 25 e 45 graus, só sendo nelas tolerada a extração de toros quando em regime de utilização racional, que vise a rendimentos permanentes.

Para carta de potencial agrícola ficou estabelecido que seriam adotados:

- I. O conteúdo do ítem 1 da alínea “a” do artigo 2º para todos os canais de drenagem mapeados (presentes no mapa de documentação).
- II. Cem metros para a resolução definida pelo conteúdo da alínea “b” do artigo 2º (sugestão).
- III. O conteúdo da alínea “e” do artigo 2º.
- IV. O conteúdo do artigo 10º.

O conteúdo da alínea “c” do artigo 2º não foi adotado nessa pesquisa pela dificuldade de localização dos inúmeros olhos d’água, nascentes permanentes e intermitentes. Contudo, uma vez tais locais identificados pelo(s) usuário (s) desse produto cartográfico geotécnico, este(s) deve(m) estar informado(s) que as áreas situadas ao redor de 50 m estão sobre preservação permanente, portanto não devendo ser utilizadas com finalidade agrícola independente de serem consideradas de aptidão restritiva, severa, moderada ou até mesmo favorável pela carta de potencial agrícola.

Superadas essas etapas, os passos seguintes envolveram a delimitação dos setores com restrições legais, adotados para carta de potencial agrícola a partir do Código Florestal, utilizando os SIG’s *ArcView* ® 3.1 e *Idrisi* ® 32.

Por meio do *ArcView 3.1* foi possível selecionar os intervalos de 30 e 100 m respectivamente para as áreas marginais aos canais da rede de drenagem e ao lago da Hidroelétrica de Caconde (função *buffer*). No *Idrisi 32*, por sua vez, novamente reclassificou-se as declividades (geradas a partir do MDT) e dividiu-se em dois intervalos. O primeiro deles corresponde aos intervalos restritivos estabelecidos pelos artigos 2º e 10º. O segundo refere-se aos locais não especificados pelos artigos, ou seja áreas do terreno com declividades inferiores a 25 graus (47 %).

O estágio seguinte de construção desse documento cartográfico abrangeu a adição dos dois planos de informações de caráter restritivo (rede hidrográfica e declividades), sobre o plano de informação contendo o potencial agrícola no *Idrisi 32*.

A última etapa de construção da carta de potencial agrícola envolveu a importação do arquivo do *Idrisi* ® 32 no formato BMP por parte do *AutoCad Map 2000* e conseqüentemente a realização da edição no mesmo programa. O resultado da distribuição das classes dessa carta podem ser apreciadas na Tabela 5.45.

TABELA 5.45 – Resultados da distribuição das classes que compõem a Carta de Potencial Agrícola

Classe de Potencial Agrícola	Total de Área Ocupada em km ²	Percentual da Área Ocupada
Favorável	85,62	17,75
Moderada	260,25	53,96
Severa	47,39	9,83
Restritiva	2,14	0,44
Setores com restrições legais	86,89	18,02
TOTAL	482,29	100,00

5.2. Sistemas de Bancos de Dados Associados aos Documentos Cartográficos Produzidos em Ambiente SIG

Tendo em vista o grande número de informações produzidas nessa pesquisa, sentiu-se a necessidade de organizá-las de forma que o(s) usuário(s) futuro(s) possa(m) acrescentar, recuperar, atualizar ou até mesmo remover qualquer registro de informação a medida que se faça necessário.

Desta forma, optou-se por se trabalhar com um SIG, pois este é capaz de associar um ou mais sistemas de banco de dados a um ou mais documentos cartográficos (mapas e cartas) de forma que interajam conjuntamente promovendo assim grande rapidez e confiabilidade ao(s) usuário(s) que o esteja utilizando.

Para essa pesquisa o SIG adotado foi o *ArcView*® 3.1 pois esse foi capaz de importar e manipular os mapas e cartas produzidos no *AutoCad Map*® 2000 (mapas de documentação, substrato rochoso, materiais inconsolidados e *landforms*) *Idrisi*® 32 (cartas de declividade e potencial agrícola) e *Envi*® 3.2 (mapa de uso e ocupação).

5.2.1. Construção do Banco de Dados Baseados em Registros Pontuais

A construção do banco dos registros pontuais realizados nesse trabalho envolveu o desenvolvimento de três tabelas em formato DBF no *Microsoft Excel* e posterior integração ao sistema de banco de dados do *ArcView*® 3.1.

As tabelas são referentes às informações obtidas através de pontos visitados no campo (62 pontos), pontos visitados acrescidos de resultados de ensaios realizados em amostras deformadas e indeformadas de materiais inconsolidados (52 pontos) e informações pré-existentes resultante da consulta do banco de dados digital (Sistema MICROSIR), checadas no campo, provenientes da CPRM (20 pontos).

A tabela de pontos visitados foi obtida a partir da consulta dos registros da caderneta de campo. Desse modo, foram estabelecidos como campos (colunas) da tabela: número do ponto observado; UTM (E-W); UTM (N-S); tipo de *landform* e tipo de substrato rochoso e imagem (foto quando existir).

É importante frisar que a caderneta de campo possui mais informações que as presentes nos campos da tabela (cor, origem e textura dos materiais inconsolidados; mineralogia do substrato rochoso, presença de eventos geodinâmicos, padrão de uso do meio físico, etc). Portanto, podendo essas serem acrescentadas à medida que se queira ou se faça necessário.

Para a tabela referente aos pontos amostrados, além dos campos contidos na tabela anterior, foram adicionados os resultados dos ensaios realizados com amostras deformadas e indeformadas nos materiais inconsolidados. Dessa forma, foram acrescentados os campos de massa específica dos sólidos (ρ_s); os percentuais de argila, silte, areia, a imagem da curva granulométrica produzida pelo ensaio de análise granulométrica, massa específica dos sólidos (ρ_s), massa específica seca (ρ_d), índice de vazios (e), porosidade (n), grau de saturação (S_r), capacidade de troca catiônica (CTC) total, capacidade de troca catiônica (CTC) da fração argila, superfície específica (SE) total, valor de adsorção de azul de metileno para os solos (V_b), valor de adsorção de azul de metileno para a fração argila dos solos (A_{cb})

Os pontos que formam a tabela de dados pré-existentes foram obtidos por meio da consulta ao banco de dados da CPRM, chamado de MICROSIR. Tal sistema disponibiliza aos usuários informações acerca de afloramentos geológicos, análises geoquímicas, ocorrências minerais e poços para água subterrânea baseados nos trabalhos desenvolvidos pela CPRM desde sua criação em todo o território nacional.

Especificamente para a área em estudo, os dados pré-existentes recuperados referem-se somente as fichas de campo utilizadas por Cavalcante *et al.* (1979). Nessas são apresentadas informações relativas à localização, ao relevo, à vegetação, aos solos, à descrição geológica e à classificação estratigráfica.

A tabela de dados pré-existentes, além de contar com a verificação em campo da descrição de seus pontos, teve seus campos complementados de acordo com a tabela de pontos visitados.

As tabelas construídas foram integradas ao sistema de banco de dados do *ArcView* ® 3.1 através do módulo de visualização (*view*) acessado a partir do gerenciador de projetos por meio do comando VIEW → ADD EVENT THEME.

É importante frisar que em situações que envolvam um grande número de campos (colunas da tabela) e principalmente registros (linhas da tabela) é preferível que o sistema de banco de dados seja implementado fora do *ArcView 3.1*.

Isso ocorre porque *softwares* específicos como *Microsoft Access* facilitam a entrada de dados através da construção de formulários específicos para cada tipo de situação, portanto, permitem aos usuários preencher os campos de modo mais eficiente e rápido. Os sistemas de bancos de dados montados externamente podem ser facilmente integrados ao *ArcView 3.1* por meio da função *SQL Connect*.

5.2.2. Construção do Banco de Dados a Partir dos Documentos Cartográficos Elaborados

Como já dito anteriormente todos os mapas e cartas produzidos nessa pesquisa foram integrados ao sistema de bancos de dados do *ArcView 3.1*. Com relação aos documentos que foram produzidos no formato raster como o mapa de uso e ocupação no *Envi 3.2*, e as cartas de declividade e potencial agrícola pelo *Idrisi 32*, os respectivos *softwares* dispunham de opções que permitiram a exportação para o *ArcView 3.1*.

Desse modo esses documentos cartográficos foram convertidos em planos de informações do tipo vetorial, permitindo assim a formação de polígonos associados a um sistema de banco de dados pela aglutinação de pixels vizinhos com o mesmo identificador.

Com relação aos mapas digitalizados no *AutoCad Map 2000* (formato vetorial), os planos de informação foram inportados para o *ArcView GIS 3.1* através do módulo de visualização (*view*) acessado a partir do gerenciador de projetos (comando: VIEW → ADD THEME).

Especificamente para o mapa de documentação, além dos planos de informação presentes no documento cartográfico, foram adicionados a tabela relativas aos pontos visitados no campo, aos pontos visitados acrescidos de resultados de ensaios realizados e as informações pré-existentes (Figura 5.44).

Em complemento a essa etapa de trabalho foi utilizado a ferramenta *hot link* do *ArcView GIS 3.1*, pois essa permite que sejam feitas ligações entre entidades de um nível (pontos, linhas e polígonos) com diversos tipos de formatos de arquivos (imagens, textos ou outros arquivos do *ArcView*). Desse modo foi possível, por exemplo, adicionar fotografias retiradas no campo às diversas unidades mapeadas presentes nos documentos cartográfico produzidos.

5.2.3. Alguns Exemplos de Operações que Podem Ser Realizadas Utilizando os Bancos de Dados e os Documentos Cartográficos Produzidos

As possibilidades de análise e manipulação de um banco em um ambiente de sistema de informações geográfica são muito amplas. Entretanto, deseja-se apresentar nessa sessão, a título de exemplo, três dessas operações que podem ser facilmente executadas no SIG por qualquer usuário a partir da seqüência de comandos descritos.

A primeira dessas é a seleção de entidades a partir do documento de visualização (Mapa de *Landforms*). Através dessa ferramenta o sistema de informação geográfica permite que o usuário consiga obter informações a cerca de qualquer entidade presente no mapa de *landforms* (pontos, retas ou polígonos) na forma de tabela com um simples clique do cursor.

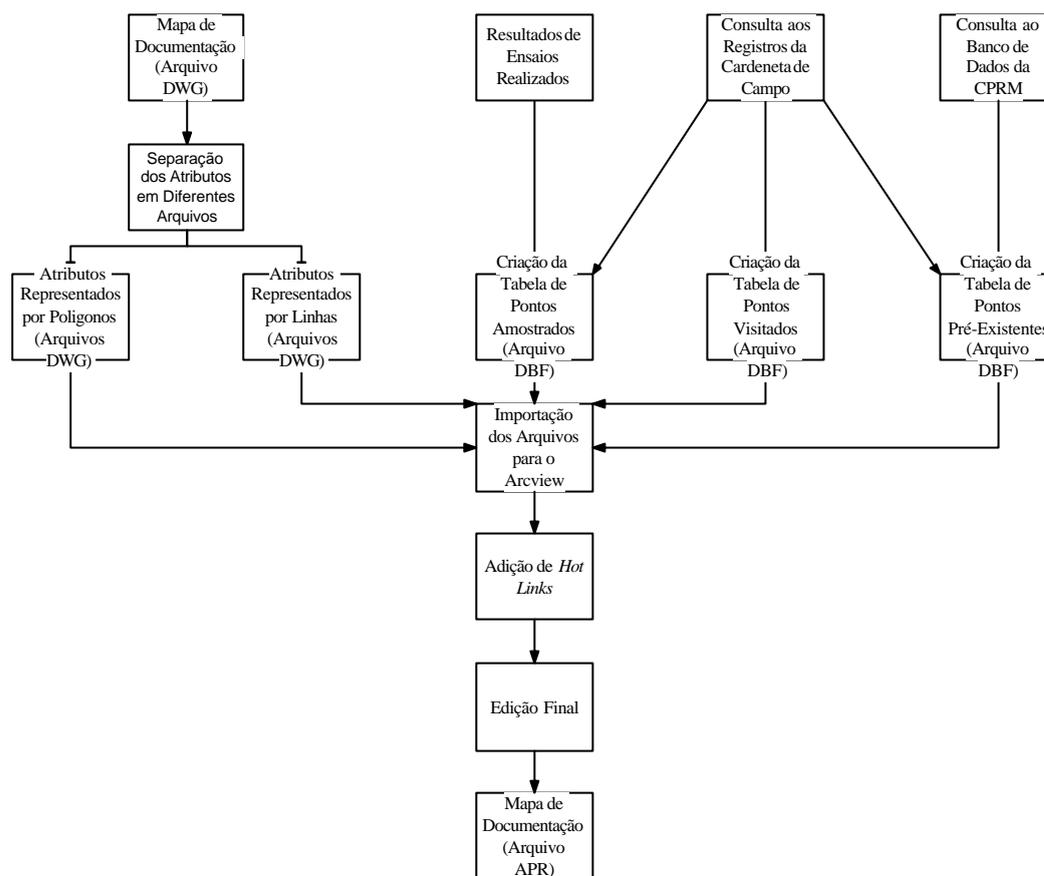


FIGURA 5.44 – Etapas seguidas para a construção do mapa de documentação no *ArcView GIS 3.1*.

Uma vez que o documento de visualização está atrelado a um banco de dados contendo suas informações, o programa exige que o nível (*shape*) escolhido esteja selecionado, sendo em seguida acionado o botão *identify* sob a entidade desejada (Figura 5.45).

Dentre as operações que o SIG realiza, utilizando banco de dados, uma das mais interessantes é o cálculo das dimensões das linhas e polígonos que compõem o documento de visualização.

A aplicação desse tipo de ferramenta é bastante conveniente principalmente no que se refere a análise morfométrica de bacias. Desse modo, são estabelecidos com facilidade parâmetros como: Relação de bifurcação (R_b), Relação entre o comprimento médio dos canais de cada ordem (RL_m), Índice de Circularidade (I_c), Densidade hidrográfica (D_h), dentre outros.

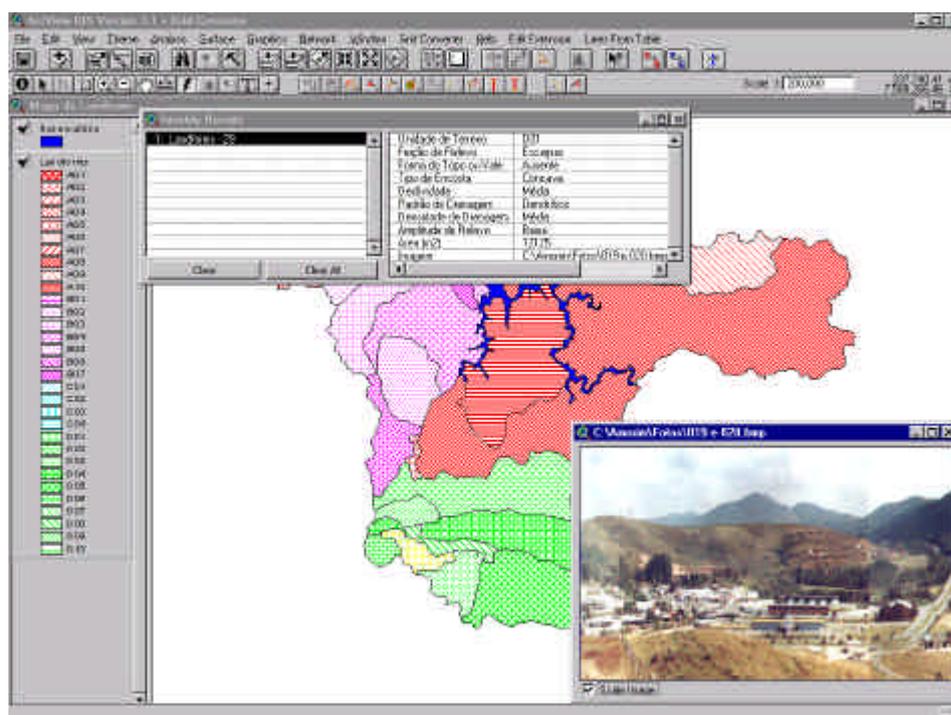


FIGURA 5.45 – Identificação das Unidades de Terreno com auxílio de *hot link*.

Diversos estudos geológico-geotécnicos vem se servindo de análises morfométricas temporais em bacias no Estado de São Paulo (Simões, 1999; Collares, 2000; Silva 2000). Isso se deve principalmente ao fato da rede de drenagem se constituir em um excelente geo-indicador.

O cálculo do comprimento de cada canal da bacia é realizado dentro da tabela correspondente ao *shape* (nível) da rede hidrográfica (presente no mapa de documentação). Assim, a partir da criação de um novo campo na tabela (comprimento), e utilizando a função *field calculator* através do comando: *[Shape].ReturnLength*, o Arcview GIS 3.1 estabelece para cada canal previamente digitalizado no CAD (Figura 5.2) o seu comprimento medido em metros (Figura 5.46).

O terceiro exemplo de operação utilizando o banco de dados é realizada por meio da seleção de um grupo de entidades envolvendo um ou mais campos das tabelas numéricas ou alfanuméricas. Desse modo, é possível através de uma simples pesquisa determinar no documento de visualização qual(is) polígono(s), reta(s) ou ponto(s) que atendem a uma determinada condição.

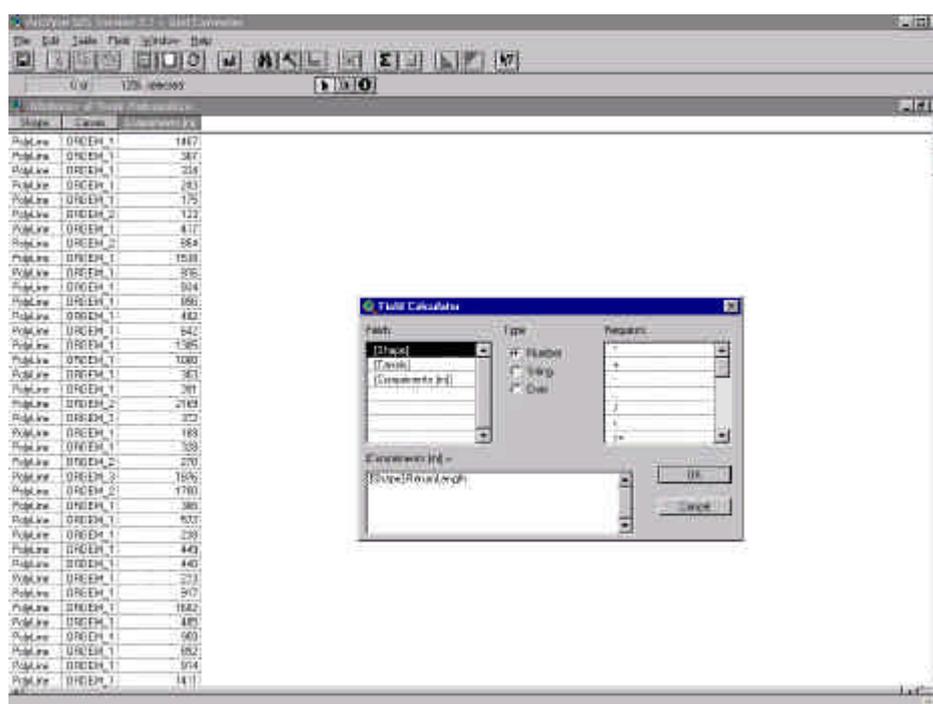


FIGURA 5.46 – Cálculo do comprimento dos canais fluviais através da função *field calculator*.

Para ilustrar tal operação consideremos duas situações. Na primeira suponhamos que se queira determinar em quais pontos amostrados a fração argilosa predomina sobre a soma das outras ($> 50\%$), associando ainda a essa condição, um resultado para a massa específica de sólidos maior que a do quartzo ($2,650 \text{ g/cm}^3$).

O primeiro passo é escolher no documento de visualização (mapa de documentação) o *shape* desejado, no caso, pontos amostrados. Por fim, através da função *query builder* (THEME → QUERY BUILDER) e utilizando a linha de comando: $([\% \text{ de Argila}] > 50) \text{ and } ([\text{MES}] > 2.650)$ todos os pontos que atenderem essa condição serão selecionados (Figura 5.47).

Para confirmar se realmente essa qualidade foi atendida, basta examinar a Figura 5.48 e nela comprovar que os pontos P025-A18, P035-A25, P040-A26, P053-A31, P063-A37, P069-A40, P070-A41, P116-A48, P118-A49, P126-A52, P131-A56, P133-A58 selecionados são os que respeitam essa condição.

Para segunda, imagine-se que o usuário queira localizar de modo preliminar os locais com tendência a apresentar materiais inconsolidados pouco espessos, podendo estes, estar associados a substrato rochoso aflorante.

De acordo com Lollo (1996) formas que apresentam encostas íngremes ou abruptas devem apresentar perfis menos profundos de materiais inconsolidados, devido a intensidade de processos erosivos. Desse modo, o usuário pode assumir que as Unidades de Terreno formadas por escarpas com encostas retilíneas e de alta declividade são excelentes representantes dessas condições.

Utilizando o mapa de *landforms* através da função *query builder* (THEME → QUERY BUILDER) mais a linha de comando: (*[Feição de Relevo] = "Escarpas"*) *and* (*[Tipo de Encosta] = "Retilínea"*) *and* (*[Declividade] = "Alta"*) todos os registros que atenderem essa condição serão selecionados (Figura 5.49) tanto quanto as unidades A04, B06, C01, C04 e D04 no mapa de *landforms* (Figura 5.50).

The screenshot shows the ArcGIS Desktop interface with a table of landform units. The table has columns for ID, País, Estado, Município, Tipo de Unidade, Forma, Tipo de Fronteira, and Área. A query builder dialog box is open, showing a query expression: `(País de Terreno = 'Ecuador') and (Forma de Terreno = 'Monte')`. The table contains 31 rows of data, with several rows highlighted in yellow.

ID	País	Estado	Município	Tipo de Unidade	Forma	Tipo de Fronteira	Área
801	Colômbia	Antioquia	Cartago	Monte	Irregularizado	Dieta	22892
802	Perú	Áncash	Paucopampa	Alto	Planície	Alta	11294
803	Colômbia	Antioquia	Medellín	Alto	Planície	Dieta	20787
804	Ecuador	Azuais	Baños	Alto	Planície	Monte	19412
805	Venezuela	Vale do U	Croquis	Ilha	Irregularizado	Dieta	7252
806	Brasil	Paraná	Paraná	Alto	Planície	Alta	17073
807	Ecuador	Azuais	Medellín	Alto	Planície	Monte	11388
808	Colômbia	Antioquia	Medellín	Alto	Planície	Alta	18928
809	Colômbia	Antioquia	Cartago	Alto	Planície	Monte	8811
810	Brasil	Paraná	Paraná	Alto	Planície	Monte	19227
811	Ecuador	Azuais	Medellín	Alto	Planície	Monte	41548
812	Colômbia	Antioquia	Medellín	Alto	Planície	Monte	10482
813	Colômbia	Antioquia	Medellín	Alto	Planície	Monte	8285
814	Ecuador	Azuais	Baños	Alto	Planície	Monte	21383
815	Perú	Áncash	Paucopampa	Alto	Planície	Alta	40306
816	Venezuela	Vale do U	Croquis	Alto	Planície	Alta	74283
817	Ecuador	Azuais	Baños	Alto	Planície	Monte	73782
818	Brasil	Paraná	Paraná	Alto	Planície	Monte	11408
819	Ecuador	Azuais	Baños	Alto	Planície	Monte	8288
820	Colômbia	Antioquia	Medellín	Alto	Planície	Monte	8273
821	Colômbia	Antioquia	Medellín	Alto	Planície	Monte	11174
822	Ecuador	Azuais	Baños	Alto	Planície	Monte	18541
823	Ecuador	Azuais	Medellín	Alto	Planície	Monte	
824	Ecuador	Azuais	Medellín	Alto	Planície	Monte	
825	Ecuador	Azuais	Medellín	Alto	Planície	Monte	
826	Ecuador	Azuais	Medellín	Alto	Planície	Monte	
827	Colômbia	Antioquia	Medellín	Alto	Planície	Monte	
828	Venezuela	Vale do U	Croquis	Alto	Planície	Monte	
829	Ecuador	Azuais	Medellín	Alto	Planície	Monte	
830	Perú	Áncash	Paucopampa	Alto	Planície	Monte	

FIGURA 5.49 – Unidades de Terreno (entidades alfanuméricas) selecionadas na tabela de *landforms* a partir da função *query builder*

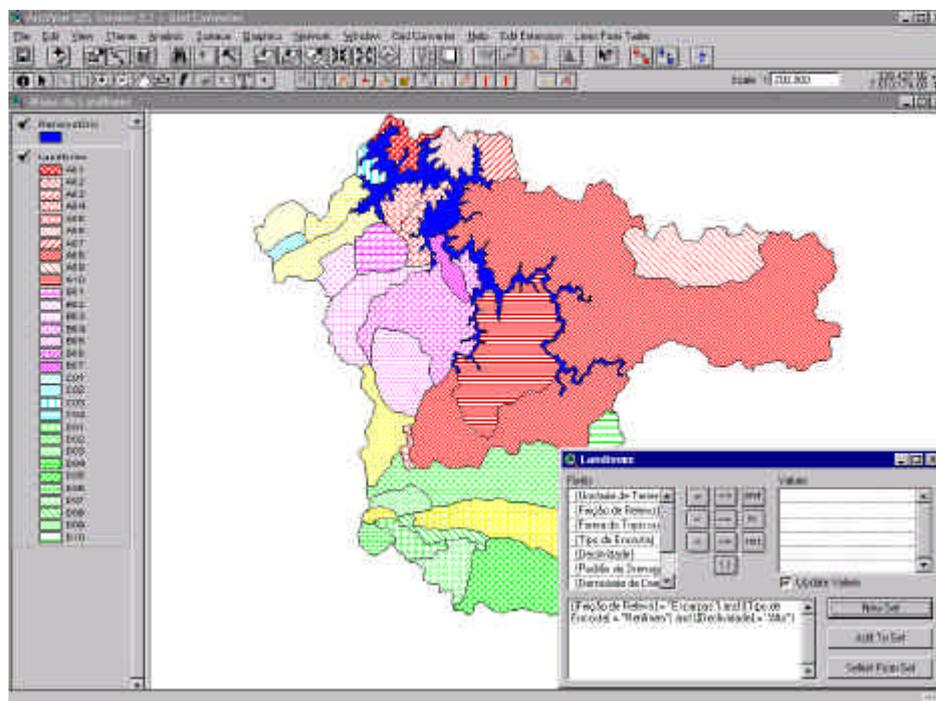


FIGURA 5.50 – Função *query builder* utilizada na seleção de Unidades de Terreno no mapa de *landforms* (polígonos destacados em amarelo).

CAPÍTULO 6 – CARTA DE ZONEAMENTO GEOAMBIENTAL

6.1. Definição e Finalidades da Carta de Zoneamento Geoambiental

A Carta de Zoneamento Geoambiental (ANEXO VIII) nessa pesquisa deve ser compreendida a partir de duas concepções. A primeira delas atribui como sua principal finalidade a de delimitar na área estudada setores que apresentem, quando analisados individualmente, homogeneidade quanto aos aspectos do meio físico levantados, em termos geomorfológicos (carta de declividades e mapa de *landforms*), geológicos (mapa de substrato rochoso), de “solos” (mapa de materiais inconsolidados) e de suas aptidões (carta de potencial agrícola).

A segunda concepção prevê para a carta geoambiental, quando avaliada na sua totalidade, um comportamento heterogêneo de modo que cada um de seus setores (unidades geoambientais) apresentem características bem particulares relacionadas aos componentes do meio físico avaliados, desse modo podendo ser utilizados como unidades de planejamento territorial e de avaliação ambiental.

6.2. Elaboração da Carta de Zoneamento Geoambiental

A confecção da carta foi realizada por meio de uma reclassificação das unidades de terreno (mapa de *landforms*) a partir da análise de agrupamentos dos atributos do meio físico presentes nos documentos cartográficos geotécnicos produzidos (Figura 6.1).

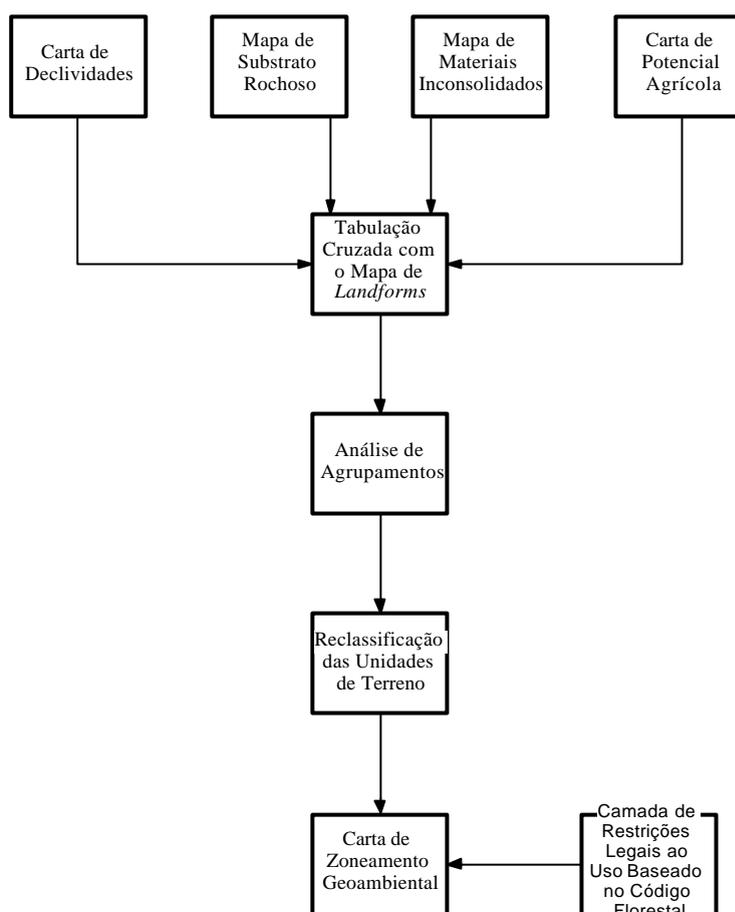


FIGURA 6.1 – Etapas seguidas para a construção da Carta de Zoneamento Geoambiental.

As variáveis analisadas referem-se aos percentuais em área ocupadas em cada unidade de terreno pelas classes/unidades de declividades (9 variáveis), de potencial agrícola (5 variáveis), de substrato rochoso (6 variáveis) e de materiais inconsolidados (21 variáveis). Tais áreas foram obtidas utilizando o *Idrisi 32* através da função de tabulação cruzada (Comando: ANALYSIS → DATABASE QUERY → CROSSTAB).

Os resultados fornecidos pela tabulação cruzada encontram-se no ANEXO IX que conta ainda com outras informações relativas às unidades de terreno obtidas pela análise do MDT da área (altimetria) e dos canais de drenagem (consulta ao banco de dados no *ArcView 3.1*).

A análise de agrupamentos dos componentes do meio físico foi executada utilizando-se o *STATISTICA*® 5.5 por meio da técnica de agrupamento pareado igualmente ponderado, empregando a medida de distância euclidiana. Este procedimento foi adotado, pois tal técnica se mostrou muito apropriada à geração de agrupamentos que apresentam variáveis com a mesma dimensão, conforme mostra a análise de agrupamentos dos materiais inconsolidados na sessão 5.4 (Figura 5.14) realizada somente a partir de classes texturais (percentuais de argila, silte e areia).

O dendograma produzido com as 41 variáveis utilizadas aponta para possibilidades de agrupamentos que variam de 31, quando a distância euclidiana é 0, a até dois grupos para uma distância de 205,64 (Figura 6.2).

A partir desses resultados ficou estabelecido para esta pesquisa que a análise de agrupamentos somente seria utilizada na reclassificação das unidades de terreno se atendessem as seguintes condições:

- a) Feições de relevo do tipo vales não poderia estar associadas a outros tipos de feições de relevo, exceto a outros vales, uma vez que apresentam características bem particulares de declividades, de amplitudes de relevo, de ausência de topos, de forma (vales abertos ou fechados), de condições hidrológicas, de materiais inconsolidados (muitas vezes compostos exclusivamente por materiais retrabalhados), etc;
- b) As unidades de terreno agrupadas deveriam apresentar pouca heterogeneidade em relação aos atributos do meio físico envolvidos, principalmente no que se refere aos seus substratos rochosos e materiais inconsolidados;
- c) As unidades geoambientais, obtidas pela análise de agrupamentos, deveriam ser reagrupadas de modo a manterem a ausência de qualquer agrupamento utilizando as mesmas condições de contorno estabelecidas para as unidades de terreno.

Analisando tais considerações, observa-se no dendograma das unidades de terrenos (Figura 6.2) que a distância euclidiana com valor igual a 60 atende a todas as condições citadas anteriormente.

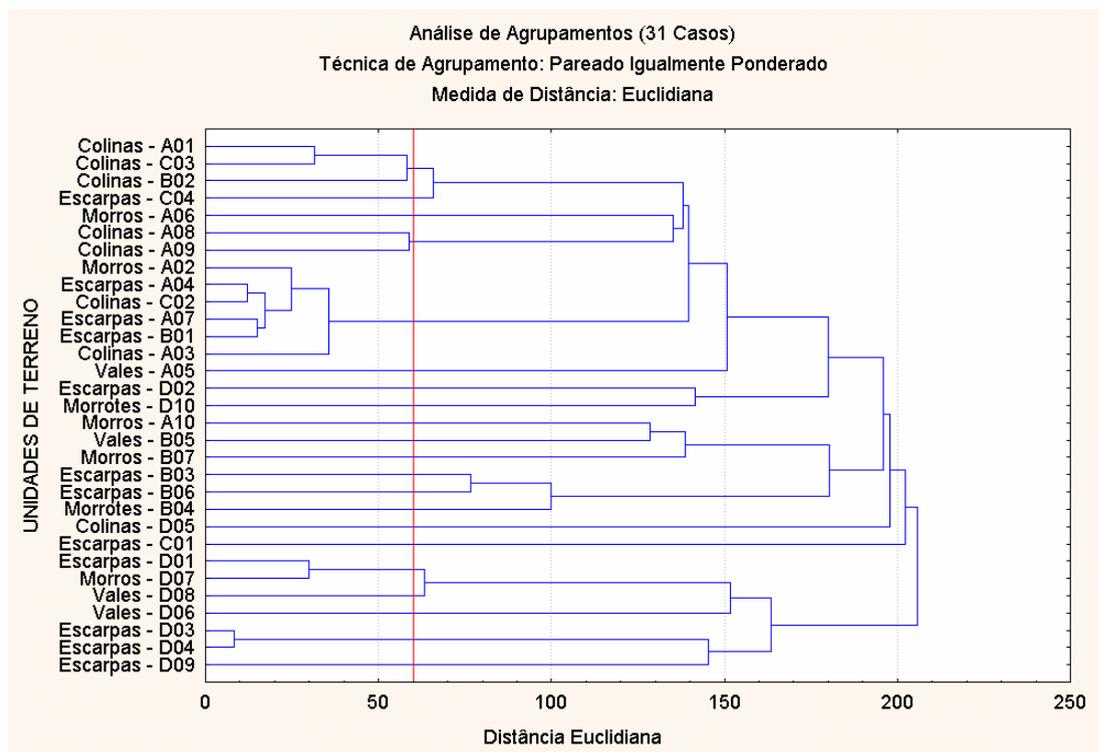


FIGURA 6.2 – Análise de agrupamentos (modo Q) realizada a partir das superfícies ocupadas em cada unidade de terreno pelas classes/unidades de declividades, de potencial agrícola, de substrato rochoso e de materiais inconsolidados.

A partir do valor igual a 60 são estabelecidos 21 agrupamentos (Tabela 6.1) onde os vales não formam agrupamentos com outras feições de relevo, entretanto esses ocorrem entre outras feições de relevo nas seguintes unidades geoambientais:

- ✓ 01 entre três tipos de colinas (A01, C03 e B02);
- ✓ 04 entre dois tipos de colinas (A08 e A09);
- ✓ 05 entre três tipos de escarpas (A04, A07 e B01), dois de colinas (C02 e A03) e um de morro (A02);
- ✓ 17 entre um tipo de escarpa (D01) e outro de morro (D07);
- ✓ 20 entre dois tipos de escarpas (D03 e D04).

TABELA 6.1 – Unidades geoambientais e sua(s) unidade(s) de terreno correspondente(s).

Unidade Geoambiental	Unidade(s) de Terreno (s) Correspondente (s)
01	A01, C03 e B02
02	C04
03	A06
04	A08 e A09
05	A02, A04, C02, A07, B01 e A03
06	A05
07	D02
08	D10
09	A10
10	B05
11	B07
12	B03
13	B06
14	B04
15	D05
16	C01
17	D01 e D07
18	D08
19	D06
20	D03 e D04
21	D09

Com relação a homogeneidade das unidades de terreno agrupadas a partir dos atributos do meio físico, esta pode ser facilmente percebida pela análise da figura 6.3. Nela, o dendograma apresentado é similar ao anterior (Figura 6.2) se diferenciando somente na distância euclidiana máxima atingida na formação dos dois principais agrupamentos que passa de 205,64 para 100 %. No dendograma da figura 6.3, os 21 agrupamentos obtidos com uma distância euclidiana de 60 no dendograma anterior (Figura 6.2), agora correspondem a um valor igual a 29 %, ou seja, as unidades de terreno agrupadas apresentam sempre mais de 71 % de similaridade, podendo atingir o valor de 96 % (agrupamento entre as unidades D03 e D04 na composição da Unidade Geoambiental 20).

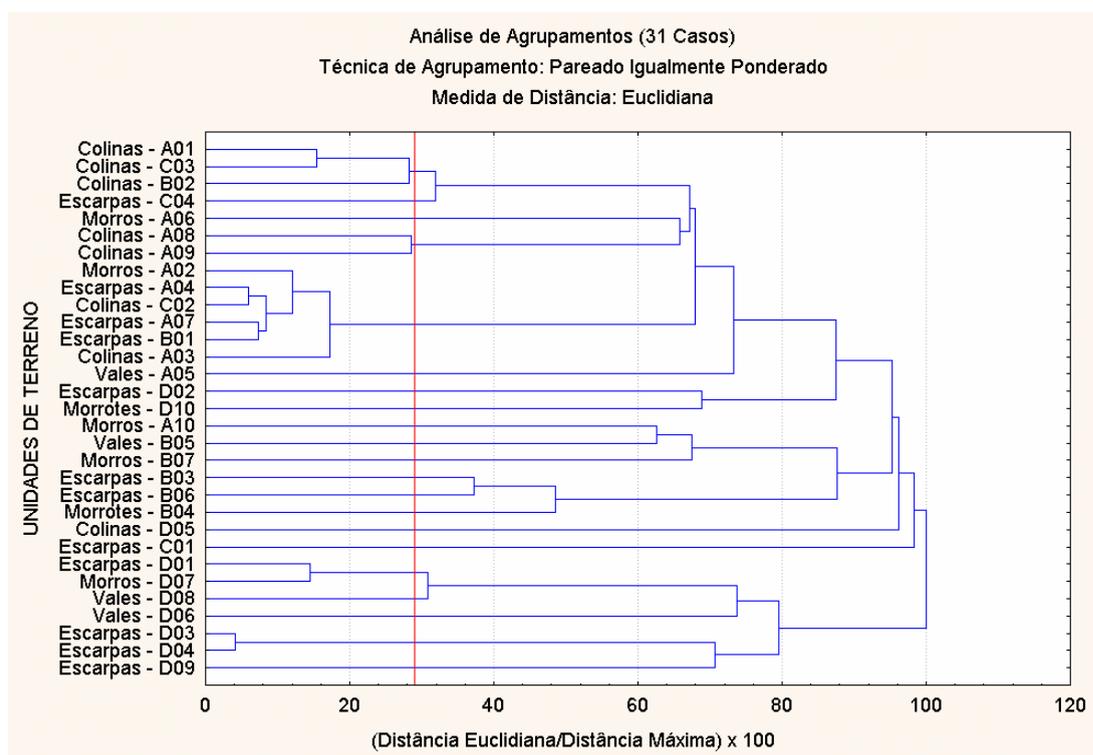


FIGURA 6.3 – Análise de agrupamentos (modo Q) realizada a partir das superfícies ocupadas em cada unidade de terreno pelas classes/unidades de declividades, de potencial agrícola, de substrato rochoso e de materiais inconsolidados onde a distância euclidiana máxima atingida é igual a 100 %.

Sobre os cinco agrupamentos realizados, cuja as unidades geoambientais possuem mais de uma unidade de terreno, pode-se afirmar:

- ✓ As Unidades de Terreno A01, C03 e B02, que compõem a Unidade Geoambiental 01, correspondem a colinas que apresentam materiais inconsolidados da classe textural V, de origem residual desenvolvidos sobre migmatitos graníticos e estromatíticos.

- ✓ A Unidade Geoambiental 04 é formada por colinas das Unidades de Terreno A08 e A09. Estas apresentam pelo menos 2/3 de seus substratos rochosos compostos por migmatitos graníticos e estromatíticos. Do mesmo modo, até 60 % de seus materiais inconsolidados são coincidentes. São materiais de natureza residual onde são encontradas as classes texturais IV, V e VI. Por outro lado, A08 e A09 exibem menores variabilidades quando analisadas suas classes de declividades e de potencial agrícola.
- ✓ As Unidades de Terreno A02, A04, C02, A07, B01 e A03 que compõem a Unidade Geoambiental 05 apresentam como substrato rochoso migmatitos graníticos e estromatíticos, onde se desenvolvem materiais inconsolidados residuais pertencentes ao grupo textural III. As classes de declividades tem pequena variação, assim como as de potencial agrícola, estas estabelecendo para as unidades de terreno de 50 a 75 % de potencial moderado e ausência de setores com potencial severo.
- ✓ A Unidade Geoambiental 17 é formada por unidades de terrenos que apresentam feições de relevo do tipo escarpas (D01) e de morros (D07) cujo o substrato rochoso é composto por fonólitos e tinguaitos. Seus materiais inconsolidados são de natureza residual pertencentes ao grupo textural VII.
- ✓ A Unidade Geoambiental 20 é formada pelas unidades de terreno que apresentam as maiores similaridades entre as 41 variáveis analisadas. As unidades D3 e D4 são constituídas por escarpas cujo substrato rochoso é composto por fonólitos e tinguaitos. Seus materiais inconsolidados são de natureza residual pertencente ao grupo textural VIII. Os valores apresentados pelas unidades de terreno nos intervalos de declividades e de potencial agrícola são muito próximos (ver ANEXO IX). Nas unidades D3 e D4 predominam em mais da metade de suas superfícies a classe de adequabilidade severa de potencial agrícola.

Por fim, percebe-se que as unidades geoambientais não formam qualquer tipo agrupamento considerando as mesmas condições de contorno estabelecidas para as unidades de terreno, conforme mostra as Figuras 6.4 e 6.5.

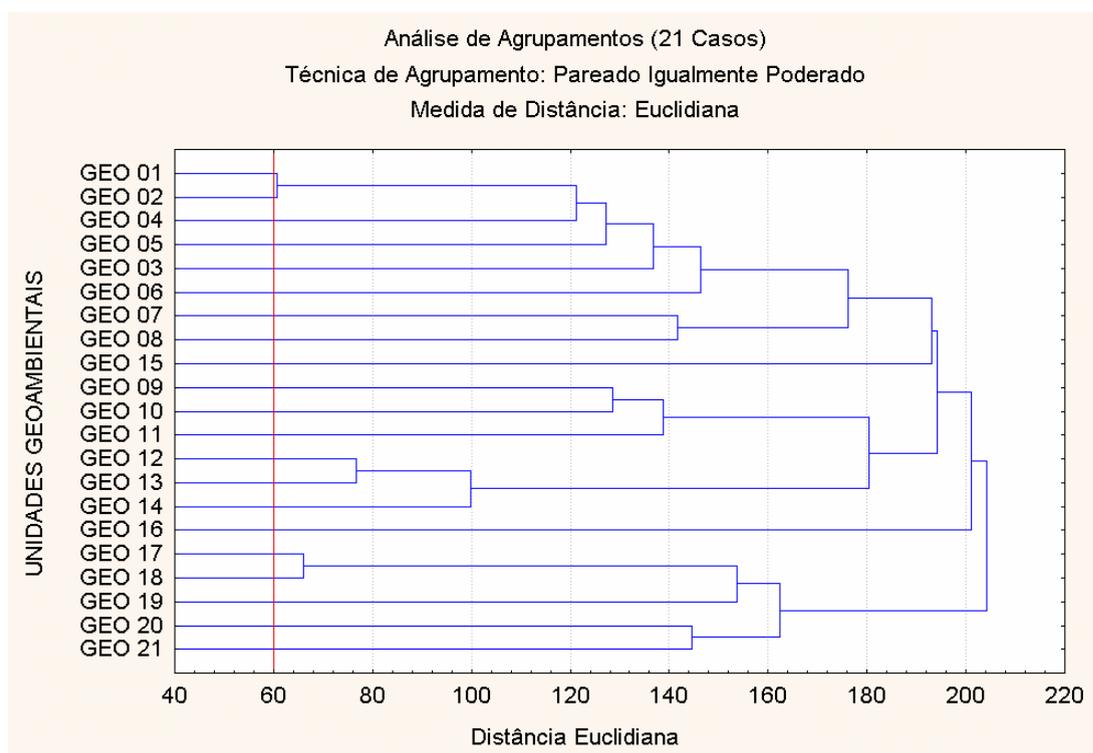


FIGURA 6.4 – Análise de agrupamentos (modo Q) realizada a partir das superfícies ocupadas em cada unidade geoambiental pelas classes/unidades de declividades, de potencial agrícola, de substrato rochoso e de materiais inconsolidados.

Tal avaliação é muito importante pois verifica se o grau de heterogeneidade apontado para as unidades geoambientais durante o agrupamento das unidades de terreno é mantido. Desse modo, é possível saber se a reclassificação é apropriada, pois se essa não fosse, mostraria agrupamentos com uma distância euclidiana menor que a adotada, o que significa uma maior homogeneidade, não verificada no agrupamento das unidades de terreno, portanto tal reclassificação seria considerada inconsistente.

Analisando o dendrograma da Figura 6.4 nota-se que a distância euclidiana igual a 60 não forma agrupamentos entre as unidade geoambientais. Além disso, verifica-se que a distância euclidiana máxima atingida é praticamente a mesma observada na Figura 6.2 (referente ao agrupamento das unidades de terreno) que passa de 205,64 para 204,27.

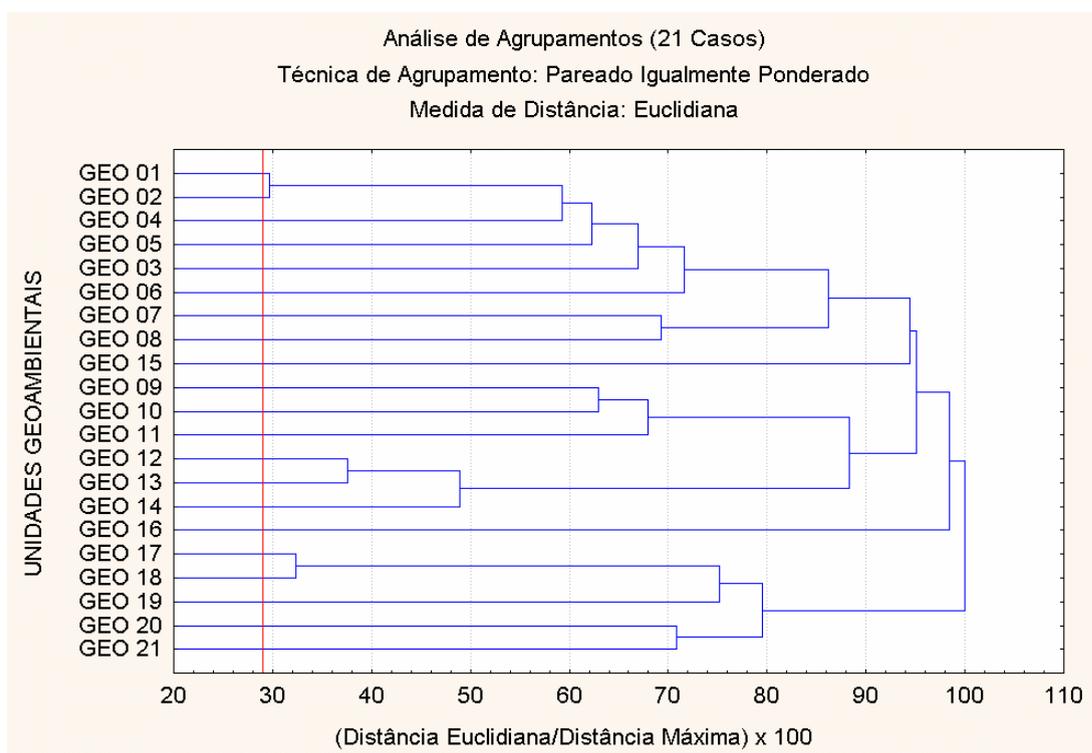


FIGURA 6.5 – Análise de agrupamentos (modo Q) realizada a partir das superfícies ocupadas em cada unidade geoambiental pelas classes/unidades de declividades, de potencial agrícola, de substrato rochoso e de materiais inconsolidados onde a distância euclidiana máxima atingida é igual a 100 %.

Do mesmo modo na Figura 6.5, onde a distância euclidiana máxima atingida é igual a 100 %, não se formam agrupamentos entre as unidades geoambientais considerando a distância igual a 29 %.

Por outro lado, observa-se que a distância que agrupa as Unidades Geoambientais 01 e 02 diminui quando passa de 65,70, no dendrograma da Figura 6.4, para 60,62 na Figura 6.5, entretanto a distância que agrupa as unidades 17 e 18 aumenta de um dendrograma para o outro passando de 63,44 para 66,11.

6.3. Análise das Aptidões e das Situações de Uso e Ocupação do Meio Físico nas Unidades Geoambientais

6.3.1. Aptidões do Meio Físico nas Unidades Geoambientais

A análise das aptidões do meio físico é fundamental para uma utilização adequada das unidades geoambientais. Por meio dessa análise é possível estabelecer para as unidades, por exemplo, em quais destas predomina setores com potenciais considerados favoráveis frente aos de caráter restritivos a partir das mais diferentes formas de solicitação de uso e ocupação do meio físico.

Nessa pesquisa foi somente analisada a aptidão agrícola da área estudada pois foi a única carta dessa natureza produzida, contudo o exame de diferentes classes de adequabilidades do meio físico poderiam ser obtidas, assim como foram para a carta de potencial agrícola proposta por Zuquette (1993), também poderiam para as outras cartas de aptidão sugeridas pelo autor, são elas: carta de potencial a corrossividade, carta para fundações, carta de condições de escavabilidade, carta para barragens rurais, carta para estradas e carta de disposição de resíduos (aterros sanitários).

A análise do potencial agrícola realizada foi por meio de agrupamentos utilizando o *STATISTICA*® 5.5 através da técnica de agrupamento pareado igualmente ponderado empregando a medida de distância euclidiana.

Os dendogramas produzidos por essa análise apresentam distâncias euclidianas máximas de formação de agrupamentos de 61,14 e 100 % respectivamente, conforme mostram as Figuras 6.6 e 6.7. O exame desses dendogramas apontam para a existência de quatro agrupamentos com características bem distintas com distâncias euclidianas assumidas de 29 e 47 % respectivamente.

De acordo com análise de agrupamentos realizada, pode-se afirmar:

- ✓ As unidades geoambientais 01 e 06 possuem aproximadamente 25 % de suas superfícies pertencentes a classe proibida de potencial agrícola e em torno de 40 a 50 % de composição moderada.
- ✓ Entre 50 e 75 % aproximadamente das superfícies das unidades 02, 05, 14, 11, 12, 10, 04, 09, 17, 03, 16 e 19 possui adequabilidade agrícola moderada.

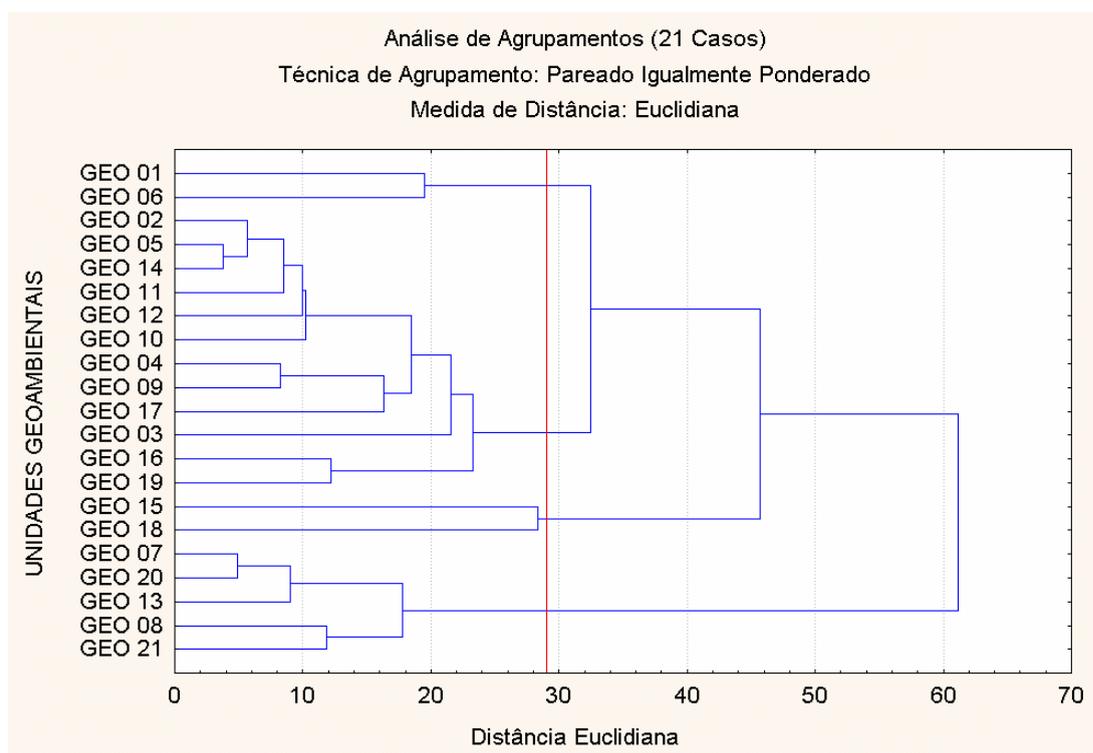


FIGURA 6.6 – Análise de agrupamentos (modo Q) realizada a partir das superfícies ocupadas pelas classes de potencial agrícola em cada unidade geoambiental.

- ✓ As unidades 15 e 18 são as que apresentam as melhores condições de aptidão agrícola, pois possuem de modo aproximado entre 1/3 e 2/3 de suas superfícies com potencial favorável, enquanto que entre 30 e 50 % são tidas como moderadas.
- ✓ As unidades 07, 20, 13, 08 e 21, por outro lado, expressam as piores condições de aptidão agrícola com aproximadamente metade de suas superfícies pertencentes a classe severa além de apresentar entre 8,94 e 24,29 % de classe proibida.

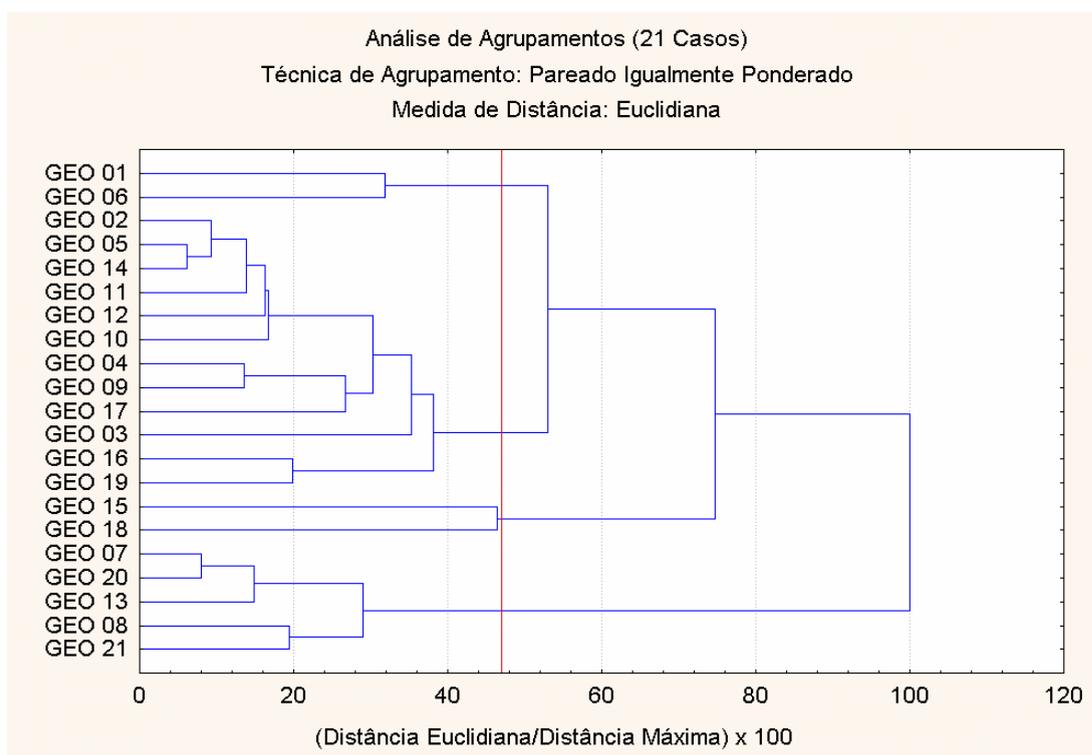


FIGURA 6.7 – Análise de agrupamentos (modo Q) realizada a partir das superfícies ocupadas em cada unidade geoambiental pelas classes de potencial agrícola onde a distância euclidiana máxima atingida é igual a 100 %.

6.3.2. Situação do Uso e Ocupação do Meio Físico nas Unidades Geoambientais

A distribuição das formas de uso e ocupação do meio físico sobre as unidades geoambientais foram avaliadas nessa pesquisa tanto de modo mais geral quanto mais específico.

Para fazer a avaliação genérica foram calculadas por tabulação cruzada (ver o procedimento na sessão 6.2) o percentual em área das unidades de uso e ocupação, excetuando as áreas ocupadas pelas águas represadas, compreendidas nas classes das cartas de declividade e potencial agrícola e nas unidades dos mapas de substrato rochoso e materiais inconsolidados.

Além disso, buscou-se estabelecer o percentual que cada classe ou unidade apresenta de sua superfície ocupada pelos diferentes tipos de uso e ocupação (excetuando a classe de água represada). Os resultados encontram-se nas Tabelas 6.2, 6.3, 6.4, 6.5 e 6.6.

O exame dessas tabelas apontam:

- ❖ Quanto as áreas ocupadas por pasto:
 - Desenvolvem-se praticamente por todas as classes de declividades principalmente nas mais baixas que vão de 0 a 20 %.
 - Em relação às rochas do Maciço Alcalino de Poços de Caldas, predominam em mais da metade nos nefelina sienitos enquanto no Complexo Varginha nos migmatitos graníticos e nos estromatíticos.
 - São maioria nos materiais inconsolidados (mais de 50 %):
 - Retrabalhados pertencentes ao grupo textural I de origem aluvionar apresentando espessuras variáveis.
 - Residuais de fonólitos e tinguaitos pertencentes ao grupo textural IV apresentando espessuras superiores a 3,0 m.
 - Residuais de nefelina sienitos pertencentes ao grupo textural III com espessuras variando entre 0,5 e 1,5 m.
 - Residuais de migmatitos graníticos e estromatíticos pertencentes ao grupo textural II com espessuras variando entre 1,5 e 3,0 m.
 - Residuais de migmatitos graníticos e estromatíticos pertencentes ao grupo textural III com espessuras variando entre 1,5 e 3,0 m.
 - Residuais de migmatitos graníticos e estromatíticos pertencentes ao grupo textural III apresentando espessuras superiores a 3,0 m.
 - Residuais de migmatitos graníticos e estromatíticos pertencentes ao grupo textural VII com espessuras variando entre 1,5 e 3,0 m.
 - Residuais de migmatitos graníticos e estromatíticos pertencentes aos grupos textural IV, V e VI apresentando espessuras variáveis.
 - Predominam em mais da metade das classes de potencial agrícola favorável, moderada e restritiva.

TABELA 6.2 – Relação entre os setores destinados a pecuária bovina extensiva e as diversas classes/unidades presentes nas cartas de declividades e potencial agrícola e nos mapas de substrato rochoso e materiais inconsolidados.

	Número de Pixels	Número de Pixels Coincidentes com o Pasto	Percentual da Superfície de Pasto que as classes/unidades Ocorrem	Percentual de Pasto que as classes/unidades Apresentam
PASTO	261082	-	-	-
Declivi Men que 2 %	10373	5491	2,10	52,94
Declivi de 2 a 5 %	47541	26376	10,10	55,48
Declivi de 5 a 10 %	86075	45052	17,26	52,34
Declivi de 10 a 15 %	79272	40051	15,34	50,52
Declivi de 15 a 20 %	75510	37800	14,48	50,06
Declivi de 20 a 25 %	65662	32356	12,39	49,28
Declivi de 25 a 30 %	45954	21891	8,38	47,64
Declivi de 30 a 47 %	110906	43343	16,60	39,08
Declivi de Mai 47 %	15469	3913	1,50	25,30
Fonólitos e Tinguaitos	52643	14776	5,66	28,07
Nefelina Sienitos	57354	29377	11,25	51,22
Charnockitos	86416	37691	14,44	43,62
Granulitos Quart-feldsp	74057	36781	14,09	49,67
Migmatitos Graní e Estrom	260483	135054	51,73	51,85
Migmatitos Oftalmíticos	5808	2591	0,99	44,61
Materiais Inconsolidados 01	1240	1022	0,39	82,42
Materiais Inconsolidados 02	2581	409	0,16	15,85
Materiais Inconsolidados 03	45191	17644	6,76	39,04
Materiais Inconsolidados 04	3598	1070	0,41	29,74
Materiais Inconsolidados 05	3109	2084	0,80	67,03
Materiais Inconsolidados 06	17024	6923	2,65	40,67
Materiais Inconsolidados 07	28932	4732	1,81	16,36
Materiais Inconsolidados 08	49956	27313	10,46	54,67
Materiais Inconsolidados 09	39643	17437	6,68	43,99
Materiais Inconsolidados 10	42901	18642	7,14	43,45
Materiais Inconsolidados 11	3873	1622	0,62	41,88
Materiais Inconsolidados 12	402	100	0,04	24,88
Materiais Inconsolidados 13	63571	31222	11,96	49,11
Materiais Inconsolidados 14	2227	549	0,21	24,65
Materiais Inconsolidados 15	20470	10303	3,95	50,33
Materiais Inconsolidados 16	38528	21709	8,32	56,35
Materiais Inconsolidados 17	6122	3005	1,15	49,09
Materiais Inconsolidados 18	17631	8030	3,08	45,54
Materiais Inconsolidados 19	5972	3646	1,40	61,05
Materiais Inconsolidados 20	137974	76215	29,19	55,24
Materiais Inconsolidados 21	5810	2593	0,99	44,63
Pot Agrícola Favorável	95286	48960	18,75	51,38
Pot Agrícola Moderado	289646	142155	54,45	49,08
Pot Agrícola Seve ro	52747	16667	6,38	31,60
Pot Agrícola Restrito	2382	1534	0,59	64,40
Uso Agrícola Proibido	96701	46956	17,99	48,56

TABELA 6.3 – Relação entre os setores destinados a monocultura cafeeira e as diversas classes/unidades presentes nas cartas de declividades e potencial agrícola e nos mapas de substrato rochoso e materiais inconsolidados.

	Número de Pixels	Número de Pixels Coincidentes com o Café	Percentual da Superfície de Café que as classes/unidades Ocorrem	Percentual de Café que as classes/unidades Apresentam
CAFÉ	130348	-	-	-
Declivi Men que 2 %	10373	1392	1,07	13,42
Declivi de 2 a 5 %	47541	8555	6,56	17,99
Declivi de 5 a 10 %	86075	17583	13,49	20,43
Declivi de 10 a 15 %	79272	18375	14,10	23,18
Declivi de 15 a 20 %	75510	17500	13,43	23,18
Declivi de 20 a 25 %	65662	15508	11,90	23,62
Declivi de 25 a 30 %	45954	10857	8,33	23,63
Declivi de 30 a 47 %	110906	33091	25,39	29,84
Declivi de Mai 47 %	15469	6573	5,04	42,49
Fonólitos e Tinguaitos	52643	5408	4,15	10,27
Nefelina Sienitos	57354	4213	3,23	7,35
Charnockitos	86416	28727	22,04	33,24
Granulitos Quart-feldsp	74057	21920	16,82	29,60
Migmatitos Graní e Estrom	260483	67507	51,79	25,92
Migmatitos Oftalmíticos	5808	1660	1,27	28,58
Materiais Inconsolidados 01	1240	87	0,07	7,02
Materiais Inconsolidados 02	2581	0	0,00	0,00
Materiais Inconsolidados 03	45191	19103	14,66	42,27
Materiais Inconsolidados 04	3598	267	0,20	7,42
Materiais Inconsolidados 05	3109	20	0,02	0,64
Materiais Inconsolidados 06	17024	221	0,17	1,30
Materiais Inconsolidados 07	28932	4898	3,76	16,93
Materiais Inconsolidados 08	49956	2193	1,68	4,39
Materiais Inconsolidados 09	39643	12783	9,81	32,25
Materiais Inconsolidados 10	42901	14388	11,04	33,54
Materiais Inconsolidados 11	3873	1562	1,20	40,33
Materiais Inconsolidados 12	402	134	0,10	33,33
Materiais Inconsolidados 13	63571	19502	14,96	30,68
Materiais Inconsolidados 14	2227	1127	0,86	50,61
Materiais Inconsolidados 15	20470	5455	4,18	26,65
Materiais Inconsolidados 16	38528	8266	6,34	21,45
Materiais Inconsolidados 17	6122	961	0,74	15,70
Materiais Inconsolidados 18	17631	4657	3,57	26,41
Materiais Inconsolidados 19	5972	1064	0,82	17,82
Materiais Inconsolidados 20	137974	31082	23,85	22,53
Materiais Inconsolidados 21	5810	1660	1,27	28,57
Pot Agrícola Favorável	95286	20751	15,92	21,78
Pot Agrícola Moderado	289646	68293	52,39	23,58
Pot Agrícola Severo	52747	17399	13,35	32,99
Pot Agrícola Restrito	2382	307	0,24	12,89
Uso Agrícola Proibido	96701	22684	17,40	23,46

TABELA 6.4 – Relação entre os setores de floresta nativa e as diversas classes/unidades presentes nas cartas de declividades e potencial agrícola e nos mapas de substrato rochoso e materiais inconsolidados.

	Número de Pixels	Número de Pixels Coincidentes com a Mata Nativa	Percentual da Superfície de Mata Nativa que as classes/unidades Ocorrem	Percentual de Mata Nativa que as classes/unidades Apresentam
MATA NATIVA	103720	-	-	-
Declivi Men que 2 %	10373	1237	1,19	11,93
Declivi de 2 a 5 %	47541	6245	6,02	13,14
Declivi de 5 a 10 %	86075	12845	12,38	14,92
Declivi de 10 a 15 %	79272	12235	11,80	15,43
Declivi de 15 a 20 %	75510	13294	12,82	17,61
Declivi de 20 a 25 %	65662	12567	12,12	19,14
Declivi de 25 a 30 %	45954	10044	9,68	21,86
Declivi de 30 a 47 %	110906	28067	27,06	25,31
Declivi de Mai 47 %	15469	4504	4,34	29,12
Fonólitos e Tinguaitos	52643	20082	19,36	38,15
Nefelina Sienitos	57354	10491	10,11	18,29
Charnockitos	86416	15628	15,07	18,08
Granulitos Quart-feldsp	74057	11538	11,12	15,58
Migmatitos Graní e Estrom	260483	41898	40,40	16,08
Migmatitos Oftalmíticos	5808	1402	1,35	24,14
Materiais Inconsolidados 01	1240	119	0,11	9,60
Materiais Inconsolidados 02	2581	53	0,05	2,05
Materiais Inconsolidados 03	45191	6361	6,13	14,08
Materiais Inconsolidados 04	3598	2198	2,12	61,09
Materiais Inconsolidados 05	3109	654	0,63	21,04
Materiais Inconsolidados 06	17024	1414	1,36	8,31
Materiais Inconsolidados 07	28932	15805	15,24	54,63
Materiais Inconsolidados 08	49956	9531	9,19	19,08
Materiais Inconsolidados 09	39643	7238	6,98	18,26
Materiais Inconsolidados 10	42901	8013	7,73	18,68
Materiais Inconsolidados 11	3873	359	0,35	9,27
Materiais Inconsolidados 12	402	168	0,16	41,79
Materiais Inconsolidados 13	63571	9772	9,42	15,37
Materiais Inconsolidados 14	2227	362	0,35	16,26
Materiais Inconsolidados 15	20470	2470	2,38	12,07
Materiais Inconsolidados 16	38528	5806	5,60	15,07
Materiais Inconsolidados 17	6122	1562	1,51	25,51
Materiais Inconsolidados 18	17631	3594	3,47	20,38
Materiais Inconsolidados 19	5972	904	0,87	15,14
Materiais Inconsolidados 20	137974	23254	22,42	16,85
Materiais Inconsolidados 21	5810	1402	1,35	24,13
Pot Agrícola Favorável	95286	14018	13,52	14,71
Pot Agrícola Moderado	289646	55105	53,13	19,02
Pot Agrícola Severo	52747	15400	14,85	29,20
Pot Agrícola Restrito	2382	440	0,42	18,47
Uso Agrícola Proibido	96701	16076	15,50	16,62

TABELA 6.5 – Relação entre os setores sem cobertura vegetal e as diversas classes/unidades presentes nas cartas de declividades e potencial agrícola e nos mapas de substrato rochoso e materiais inconsolidados.

	Número de Pixels	Número de Pixels Coincidentes com o Solo Exposto	Percentual da Superfície de Solo Exposto que as classes/unidades Ocorrem	Percentual de Solo Exposto que as classes/unidades Apresentam
SOLO EXPOSTO	16267	-	-	-
Declivi Men que 2 %	10373	202	1,24	1,95
Declivi de 2 a 5 %	47541	1294	7,95	2,72
Declivi de 5 a 10 %	86075	2524	15,52	2,93
Declivi de 10 a 15 %	79272	2340	14,38	2,95
Declivi de 15 a 20 %	75510	2455	15,09	3,25
Declivi de 20 a 25 %	65662	2394	14,72	3,65
Declivi de 25 a 30 %	45954	1463	8,99	3,18
Declivi de 30 a 47 %	110906	3076	18,91	2,77
Declivi de Mai 47 %	15469	346	2,13	2,24
Fonólitos e Tinguaitos	52643	162	1,00	0,31
Nefelina Sienitos	57354	626	3,85	1,09
Charnockitos	86416	2906	17,86	3,36
Granulitos Quart-feldsp	74057	2382	14,64	3,22
Migmatitos Graní e Estrom	260483	9888	60,79	3,80
Migmatitos Oftalmíticos	5808	130	0,80	2,24
Materiais Inconsolidados 01	1240	12	0,07	0,97
Materiais Inconsolidados 02	2581	0	0,00	0,00
Materiais Inconsolidados 03	45191	1361	8,37	3,01
Materiais Inconsolidados 04	3598	0	0,00	0,00
Materiais Inconsolidados 05	3109	0	0,00	0,00
Materiais Inconsolidados 06	17024	10	0,06	0,06
Materiais Inconsolidados 07	28932	154	0,95	0,53
Materiais Inconsolidados 08	49956	554	3,41	1,11
Materiais Inconsolidados 09	39643	1240	7,62	3,13
Materiais Inconsolidados 10	42901	1471	9,04	3,43
Materiais Inconsolidados 11	3873	198	1,22	5,11
Materiais Inconsolidados 12	402	0	0,00	0,00
Materiais Inconsolidados 13	63571	2079	12,78	3,27
Materiais Inconsolidados 14	2227	67	0,41	3,01
Materiais Inconsolidados 15	20470	1839	11,31	8,98
Materiais Inconsolidados 16	38528	1821	11,19	4,73
Materiais Inconsolidados 17	6122	116	0,71	1,89
Materiais Inconsolidados 18	17631	671	4,12	3,81
Materiais Inconsolidados 19	5972	349	2,15	5,84
Materiais Inconsolidados 20	137974	4023	24,73	2,92
Materiais Inconsolidados 21	5810	130	0,80	2,24
Pot Agrícola Favorável	95286	2373	14,59	2,49
Pot Agrícola Moderado	289646	9302	57,18	3,21
Pot Agrícola Severo	52747	1158	7,12	2,20
Pot Agrícola Restrito	2382	73	0,45	3,06
Uso Agrícola Proibido	96701	3189	19,60	3,30

TABELA 6.6 – Relação entre os setores destinados as áreas urbanizadas e as diversas classes/unidades presentes nas cartas de declividades e potencial agrícola e nos mapas de substrato rochoso e materiais inconsolidados.

	Número de Pixels	Número de Pixels Coincidentes com a Zona Urbana	Percentual da Superfície de Zona Urbana que as classes/unidades Ocorrem	Percentual de Zona Urbana que as classes/unidades Apresentam
ZONA URBANA	24656	-	-	-
Declivi Men que 2 %	10373	1748	7,09	16,85
Declivi de 2 a 5 %	47541	3801	15,42	8,00
Declivi de 5 a 10 %	86075	5477	22,21	6,36
Declivi de 10 a 15 %	79272	4035	16,37	5,09
Declivi de 15 a 20 %	75510	3674	14,90	4,87
Declivi de 20 a 25 %	65662	2312	9,38	3,52
Declivi de 25 a 30 %	45954	1326	5,38	2,89
Declivi de 30 a 47 %	110906	2182	8,85	1,97
Declivi de Mai 47 %	15469	92	0,37	0,59
Fonólitos e Tinguaitos	52643	11837	48,01	22,49
Nefelina Sienitos	57354	11391	46,20	19,86
Charnockitos	86416	0	0,00	0,00
Granulitos Quart-feldsp	74057	0	0,00	0,00
Migmatitos Graní e Estrom	260483	1419	5,76	0,54
Migmatitos Oftalmíticos	5808	0	0,00	0,00
Materiais Inconsolidados 01	1240	0	0,00	0,00
Materiais Inconsolidados 02	2581	2119	8,59	82,10
Materiais Inconsolidados 03	45191	0	0,00	0,00
Materiais Inconsolidados 04	3598	0	0,00	0,00
Materiais Inconsolidados 05	3109	233	0,95	7,49
Materiais Inconsolidados 06	17024	8279	33,58	48,63
Materiais Inconsolidados 07	28932	3325	13,49	11,49
Materiais Inconsolidados 08	49956	9272	37,61	18,56
Materiais Inconsolidados 09	39643	0	0,00	0,00
Materiais Inconsolidados 10	42901	0	0,00	0,00
Materiais Inconsolidados 11	3873	0	0,00	0,00
Materiais Inconsolidados 12	402	0	0,00	0,00
Materiais Inconsolidados 13	63571	0	0,00	0,00
Materiais Inconsolidados 14	2227	0	0,00	0,00
Materiais Inconsolidados 15	20470	0	0,00	0,00
Materiais Inconsolidados 16	38528	0	0,00	0,00
Materiais Inconsolidados 17	6122	0	0,00	0,00
Materiais Inconsolidados 18	17631	0	0,00	0,00
Materiais Inconsolidados 19	5972	0	0,00	0,00
Materiais Inconsolidados 20	137974	1419	5,76	1,03
Materiais Inconsolidados 21	5810	0	0,00	0,00
Pot Agrícola Favorável	95286	7075	28,69	7,43
Pot Agrícola Moderado	289646	12633	51,24	4,36
Pot Agrícola Severo	52747	1883	7,64	3,57
Pot Agrícola Restrito	2382	0	0,00	0,00
Uso Agrícola Proibido	96701	3056	12,39	3,16

- Quase metade dos setores que apresentam proibição à prática agrícola (48,56 %), com base no código florestal brasileiro, são destinados à pecuária bovina extensiva.
 - Cerca de 51,73 % do percentual de áreas de pasto desenvolvem-se onde o substrato rochoso presente é composto por migmatitos graníticos e estromatíticos.
 - Mais da metade das áreas de pastagens (54,45 %) estão associadas a classe de potencial agrícola moderado.
- ❖ Quanto as áreas ocupadas por café:
- Predominam em mais de 50 % sobre materiais inconsolidados residuais de granulitos quartzo-feldspáticos pertencentes ao grupo textural VI apresentando espessuras superiores a 3,0 m.
 - Aproximadamente 23,46 % dos setores que apresentam proibição à prática agrícola (código florestal) são destinados a monocultura cafeeira.
 - Mais da metade das áreas onde o café é plantado o substrato rochoso presente é formado por migmatitos graníticos e estromatíticos.
 - Mais de 50 % dos setores onde o café é cultivado apresentam potencial agrícola moderado.
- ❖ Quanto as áreas ocupadas por mata nativa:
- São maioria nos materiais inconsolidados (mais de 50 %):
 - residuais de fñólitos e tinguaiños pertencentes ao grupo textural III com espessuras variando entre 0,5 e 1,5 m.
 - residuais de fñólitos e tinguaiños pertencentes ao grupo textural VIII apresentando espessuras superiores a 3,0 m.
 - Somente em 16,62 % dos setores destinados a preservação da vegetação nativa possuem floresta mesófila.
 - Mais da metade das áreas de mata nativa (53,13 %) estão associadas a classe de potencial agrícola moderado.
- ❖ Quanto as áreas ocupadas por solo exposto:
- Cerca de 3,30 % dos setores que apresentam proibição à prática agrícola não apresentam nenhuma cobertura vegetal.

- A maior parte das áreas sem cobertura vegetal (60,79 %) tem como substrato rochoso associado os migmatitos graníticos e estromatíticos.
 - Mais de 50 % das áreas que apresentam solo exposto estão associadas à classe de potencial agrícola moderada.
- ❖ Quanto as áreas ocupadas por zonas urbanas:
- Até 82,10 % da superfície da áreas estudada que contém materiais inconsolidados retrabalhados pertencentes ao grupo textural VI de origem aluvionar com espessuras inferiores a 0,5m estão urbanizados.
 - Somente 3,16 % da classe proibida de aptidão agrícola (baseada no código florestal) está presente a zona urbana
 - A maior parte dos centros urbanos (mais de 50 %) estende-se pela classe moderada de potencial agrícola.

A avaliação individual da distribuição das diferentes formas de uso e ocupação em cada unidade geoambiental encontra-se presente no ANEXO X. Este conta ainda, a exemplo do ANEXO IX, com outras informações levantadas sobre meio físico.

Por fim, tentou-se estabelecer correlações entre os diversos padrões de uso e ocupação da área sobre as unidades geoambientais. Desse modo, foram realizadas regressões lineares considerando a superfície ocupada por cada unidade do mapa de uso e ocupação (excetuando a classe de água represada) sobre as diferentes unidades geoambientais por meio do *STATISTICA*® 5.5.

Os resultados obtidos apontaram a presença de baixos coeficientes de correlação (Tabela 6.7). Entretanto, variáveis como percentuais de café e solo exposto parecem apresentar alguma relação, ainda que pouco consistente, para algumas das unidades geoambientais, conforme mostra a Figura 6.8.

Este tipo de análise embora não indique que exista uma relação de causa e efeito entre as variáveis, mesmo para coeficientes de correlações elevados, pode ser muito interessante para orientar estudos sobre aspectos de ocupação e eventualmente de degradação ambiental da área.

TABELA 6.7 – Matriz de correlação obtida por regressão linear entre o percentual de superfície que cada unidade de uso e ocupação possui para as diferentes unidades geambientais.

	Mata Nativa	Pastagem	Solo Exposto	Café	Zona Urbana
Mata Nativa	1,00	-0,34	-0,33	-0,18	-0,23
Pastagem	-0,34	1,00	0,17	-0,23	-0,43
Solo Exposto	-0,33	0,17	1,00	0,53	-0,46
Café	-0,18	-0,23	0,53	1,00	-0,54
Zona Urbana	-0,23	-0,43	-0,46	-0,54	1,00

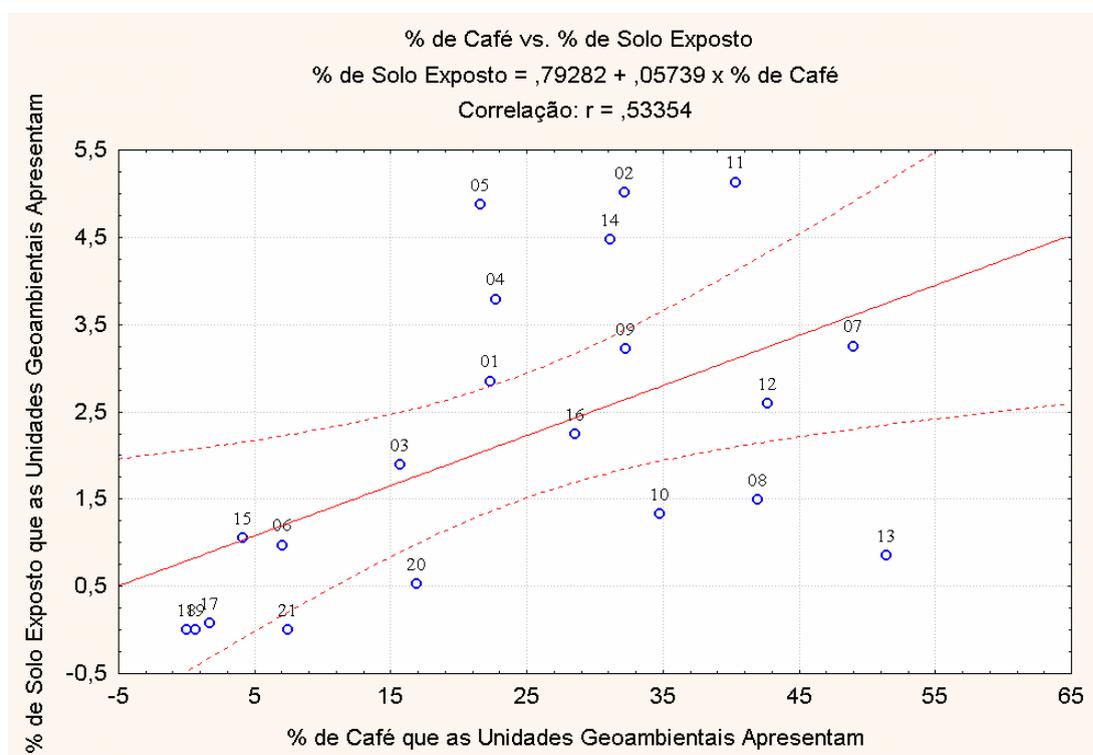


FIGURA 6.8 – Regressão linear entre o percentual de superfícies ocupadas por café e o percentual de superfícies que apresentam solo exposto nas 21 Unidades Geambientais analisadas.

CAPÍTULO 7 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

7.1. Conclusões

7.1.1. Quanto a Metodologia de Zoneamento Geoambiental

Os procedimentos e os produtos da cartografia geotécnica proposta por Zuquette (1987), Zuquette & Gandolfi (1990), Zuquette (1993) e Zuquette et al. (1997) mostraram-se bastante adequados nessa pesquisa para o estabelecimento do zoneamento geoambiental da área estudada.

O sucesso obtido na confecção da carta geoambiental ocorreu pois tal proposta metodológica permitiu a produção e análise de um conjunto de documentos cartográficos que objetivaram representar o meio físico por meio dos seus principais atributos. A partir desses documentos, o zoneamento geoambiental da área em estudo foi estabelecido em função do cruzamento dos dados contidos nos produtos cartográficos, desse modo, aproveitando a informação geotécnica gerada na pesquisa.

A análise de agrupamentos dos componentes do meio físico, técnica não prevista na metodologia, quando associada a análise espacial utilizando geoprocessamento, mostrou-se muito importante para a delimitação das unidades que compõem a carta geoambiental.

Tal técnica auxiliou a definição de setores que apresentaram, quando analisados individualmente, homogeneidade quanto aos aspectos do meio físico levantados, em termos geomorfológicos (carta de declividades e mapa de *landforms*), geológicos (mapa de substrato rochoso), de “solos” (mapa de materiais inconsolidados) e de suas aptidões (carta de potencial agrícola).

Por outro lado, a análise de agrupamentos permitiu que as unidades geoambientais delimitadas, quando avaliadas na sua totalidade, possuísem um comportamento heterogêneo de modo que cada um de seus setores exibissem características bem particulares relacionadas aos componentes do meio físico avaliados.

7.1.2. Quanto ao Geoprocessamento das Informações

O geoprocessamento das informações coletadas ao longo da pesquisa, prestou grande contribuição à realização deste trabalho, permitindo que vários atributos da área em estudo fossem medidos, calculados, analisados, comparados, combinados ou simplesmente visualizados.

No entanto, o geoprocessamento realizado envolveu o uso de diversos softwares (*AutoCad Map 2000*, *dxf2xyz 1.3*, *Microsoft Excel*, *Envi 3.2*, *Statistica 5.5* e *Surfer 7.0*) além dos sistemas de informações geográficas *Idrisi 32* e *ArcView GIS 3.1* o que resultou num acréscimo excessivo no tempo gasto para o desenvolvimento da pesquisa, uma vez que a aprendizagem e familiarização de tais softwares se desenvolveu em um longo período de tempo. Isto se tornou necessário, em função de se buscar neste trabalho utilizar os componentes de análise de cada software mais apropriados aos estudos realizados.

7.1.3. Quanto aos Resultados Obtidos no Zoneamento Geoambiental

A confecção da carta geoambiental foi realizada com sucesso atendendo aos critérios exigidos pela metodologia desenvolvida. Nela foram delimitadas 21 unidades geoambientais tomando como base o cruzamento e análise de agrupamentos dos diversos planos de informações produzidos.

Além disso, todos os produtos cartográficos gerados na pesquisa, encontram-se inseridos nos sistemas de informações geográficas *Idrisi 32* e *ArcView GIS 3.1*, onde este último associa aos mapas e cartas confeccionados um banco de dados geoambiental de modo a possibilitar que as informações possam ser acrescentadas, inseridas, recuperadas, atualizadas ou simplesmente removidas desde que se queira ou se faça necessário.

7.2. Recomendações

Para o zoneamento estabelecido nessa pesquisa foi levado somente em consideração aspectos do meio físico de natureza geomorfológica, geológica, de “solos” e aptidões ao uso e ocupação antrópica, contudo um estudo geoambiental completo, na visão deste trabalho, deve abranger também aspectos relacionados a susceptibilidade ao desenvolvimento de processos de dinâmica superficial (erosão, movimentos de massa, assoreamento, inundações, subsistência, colapsos, etc.), vulnerabilidades e riscos de acidentes geológico-geotécnicos.

Desse modo, é necessário nesse caso, analisar não somente o meio físico mas também o meio antrópico, de maneira a examinar como as formas diversificadas de uso e ocupação afetam o desenvolvimento das susceptibilidades, vulnerabilidades e riscos de acidentes geológico-geotécnicos.

Dessa forma, acredita-se que uma vez incluídos todos esses aspectos, seria possível avaliar a metodologia de zoneamento desenvolvida frente a uma caracterização completa do ponto de vista geoambiental.

Durante o processamento das informações o aprendizado e a familiarização com os softwares “específicos” utilizados resultaram num acréscimo excessivo no tempo gasto no desenvolvimento da pesquisa. Entretanto, sempre que se faça necessário eles devem ser utilizados, uma vez que para várias das tarefas de geoprocessamento (digitalização, geração do MDT, processamento digital de imagens, análise estatística, etc), apresentam opções de execução que são melhores e mais diversificadas em relação aos vários sistemas de informações geográficas presentes no mercado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUIAR, M.B.; KRELING, P.C.L. Elaboração gráfica de carta de declividade de vertentes. **Revista do Departamento de Geografia**. São Paulo, v.3, p. 109 – 116, 1984.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6508**. Grão que passam na # 4,8 mm, determinação de massa específica.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7181**. Solo – Análise granulométrica.
- ASWATHANARAYANA, U. **Geoenvironment an Introduction**. Holanda, Balkema, 1995.
- BITAR, O.Y.; ORTEGA, R.D. Gestão ambiental. In: OLIVEIRA, A.M. dos S.; BRITO, S.N.A. de. **Geologia de engenharia**. São Paulo, ABGE. 1998. Cap.32, p.499 – 508.
- BJÖRNBERG. Arenitos do bordo do Planalto de Poços de Caldas. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**. Rio de Janeiro. v.28, n4, p. 465 – 471, 1956.
- BJÖRNBERG. Rochas clásticas do Planalto de Poços de Caldas. **Boletim Geologia**. Faculdade de Filosofia, Ciência e Letras da USP, São Paulo, 237, n18, p. 65 – 122, 1959.
- BRASIL. Lei n. 4.471 de 15 de setembro de 1965. Institui o Código Florestal.

BRASIL. Lei nº 6.766 de 19 de dezembro de 1979. Dispõe sobre o Parcelamento do Solo Urbano.

CALIJURI, M.L. Sistema de Informações geográficas. In: CASTELLANO, E.G.; CHAUDHRY, F.H. **Desenvolvimento sustentado: Problemas e Estratégias**. São Carlos, EESC – USP. 2000. Cap. 16,p.275 – 283.

CAMARA, G.; DAVIS, C. Introdução. In: CÂMARA, G et al.. **Geoprocessamento: Teoria e Aplicações (livro on-line)**. 1999. <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/cap1-introducao.pdf>. Acesso agosto de 2000.

CAVALCANTE, J.C.; CUNHA, H.C. da S.; CHIEREGATI, L.A.; KAEFER, L.Q.; ROCHA, J.M. da; DAITX, E.C.; COUTINHO, M.G. da N.; YAMAMOTO, K.; DRUMOND, J.B.V.; ROSA, D.B.; RAMALHO, R.. **Projeto Sapucaí**. Brasília: MME/DNPM. Série Geologia nº 4. Seção Geologia Básica nº 2. 299p, 1979.

CENDRERO, A. & DÍAZ de TERÁN. The environmental map system of the University of Cantabria Spain. In: ARNDT, P. & LÜTTIG, G.; **Mineral Resources Extraction, Environmental Protection and Land–Use Planning in the Industrial Developing Countries**. Stuttgart, E. Schweizebart–Verlag. 1987. p. 149–181.

CENDRERO, A. Environmental geology of the Santander Bay Area, Northern Spain. **Engineering Geology**. v. 1, p. 97 – 114. 1975.

CENDRERO, A.; NIETO, M.; ROBLES F.; SÁNCHEZ J.; DÍAZ de TERÁN, J.R.; FRANCÉS, E.; GONZÁLES–LASTRA, J.R.; BOLUDA, R.; GARAY, P.; GUTIÉRREZ, G.; JIMÉNEZ, J.; MARTÍNEZ, J.; MOLINA, M.J.; OBARTÍ, J.; PEREZ, A.; PONS, V.; SANTONHOA A.; STÜBING, G. **Mapa Geocientífico de la Provincia de Valencia**. Diputación Provincial de Valencia. Valencia. 1986. 350 p.

- CENDRERO, A.; SÁNCHEZ, J.; ANTOLÍN, A.; ARNAL, S.; DÁZ de TERÁN, J.R.; FRANCÉS, E.; MARTÍNEZ, A.; MOÑINO, M.; NIETO, M.; NOGALES, I.; PÉREZ, E.; RIOS, C.; ROBLES, F.; ROMERO, A.; SUÁREZ, C. Geoscientific maps for planning in semi-arid regions: Valencia and Gran Canaria, Spain. **Engineering Geology**, v. 29, p. 291 – 319. 1990.
- CHAUDHRY, F.H. Aproveitamento de recursos hídricos. In: CASTELLANO, E.G.; CHAUDHRY, F.H. **Desenvolvimento Sustentado: Problemas e Estratégias**. São Carlos, EESC – USP. 2000. Cap. 3, p.27 – 37.
- CHRISTIAN, C.S. & STEWART, G.A. Methodology of integrated surveys. In: UNESCO, **Aerial Surveys and Integrated Studies**. Paris. 1968. p.233 – 280.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo. Edgard Blücher, 1974.
- COLLARES, Eduardo Goulart. **Avaliação de alterações em redes de drenagem de microbacias como subsídio ao zoneamento geoambiental de bacias hidrográficas: aplicação na bacia hidrográfica do Rio Capivari – SP**. 2000. 2v. Tese Doutorado – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.
- COOKE, R.U. & DOORNKAMP, J.C. Mapping Geomorphology. In _____. **Geomorphology in Environmental Management : a new introduction**. 2.ed. New York: Claredon Press, 1990. cap. 2, p. 19-63.
- CUNHA S.B. da; GUERRA, A.J.T. Degradação ambiental. In: GUERRA, A.J.T. CUNHA S.B. da; **Geomorfologia e Meio Ambiente**. Brasil: Bertrand Brasil, 1996. Cap. 7, p337 – 379.
- DAI, FC.; LEE, C.F.; ZHANG, X.H. GIS-based geo-environmental evaluation for urban land-use planning: a case study. **Engineering Geology**. Elsevier. 61. p. 257–271, 2001.
- DANTAS, M.E. **Diagnóstico geoambiental do Estado do Rio de Janeiro**. (CD–ROOM). Rio de Janeiro. 2000. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais.

- DAVIS, C.; CÂMARA, G. (1999). Arquitetura de sistemas de informação geográfica. In: CÂMARA, G. et al.. **Geoprocessamento: Teoria e Aplicações (livro on-line)**. 1999. <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/cap3-arquitetura.pdf>. Acesso agosto de 2000.
- DE BIASI, M. A carta clinográfica: os métodos de representação e sua confecção. **Revista do Departamento de Geografia**. São Paulo n.6, p. 45 – 53, 1992.
- DE BIASI, M. Cartas de declividade: confecção e utilização. **Geomorfologia**. São Paulo, v.21, p.8 – 13, 1970.
- DE VILOTA, I.; DE LUXÁN, M.; GOY, J.L.; BUSTAMANTE, I.; ZAZO, C.; Geoenvironmental mapping applied to urban settlements: La Vall de Gallinera, Alicante, Spain. In: BOBROWSKY, P.T. **Geoenvironmental Mapping**. Victoria, School of Earth and Ocean Sciences – University of Victoria. 2002. p.452 – 471.
- DIAS, R.W. Planos diretores de geoprocessamento: desenvolvimento e aplicações. In: CONFERÊNCIA LATINOAMERICANA SOBRE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA, 4 e SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOPROCESSAMENTO, 2, São Paulo, 1993. **Anais ...** p. 687 – 707.
- DINIZ, N.C.; CINTRA, J.P.; ALMEIDA, M.C.J. de; SALLES, E. R.; COSTA, M.O. Mapeamento geoambiental em base de dados georreferenciados como suporte de análise de riscos e avaliação ambiental regionais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOTECNIA AMBIENTAL, 4, 1999, São José dos Campos. **Anais ...** São José dos Campos: 1999. p. 49-62.
- EASTAMAN, J.R. **IDRISI for Windows users's guide version 2.0 introduction**. Worcester – MA. Clark University. 1997.
- GEOLOGICAL SOCIETY. The description and classification of wethered rocks for engineering purposes. Working Party Report, June 1994. **The Quarterly Journal Engineering Geology**. v.28, n.2. 38p. 1995.

- GOTHE, C.A. A gestão do meio ambiente no Brasil. In: ENCONTRO NACIONAL DE ESTUDOS AMBIENTAIS, 3, 1991, Londrina. **Anais ...**, v. 1, p.318 – 331.
- GRECCHI, R.C.; PEJON, O.J. Estudos Geoambientais da Região de Piracicaba (SP) com auxílio de imagem de satélite e sistema de informação geográfica. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA, 3, Florianópolis, 1998. **Anais ...** CD-ROOM. 26p.
- GUERRA, A.T. **Dicionário Geológico–geomorfológico**. 6. ed. Rio de Janeiro. IBGE, 1980.
- Guia do ENVI 3.5 em Português (2002). Disponível em: <http://www.envi.com.br/guiadoenvi>. Acesso em: 16 jan. 2003.
- HOWARD, A.D. Drainage analysis in geologic interpretation. **Bulletin American Association of Petroleum Geologists**. Tulsa, v.54, n11, p. 2246-59, 1967.
- IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (2000). **Censo**. Disponível em: www.ibge.gov.br. Acesso em: 13 fev. 2003.
- IG – INSTITUTO GEOLÓGICO. **Subsídios do Meio Físico-geológico ao Planejamento do Município de Campinas**. São Paulo: Relatório de integração. v.1, 1993.
- IPT – INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO S.A. **Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo**. São Paulo. Monografia 5. 2v. 1981.
- LANDIM, P.M.P. **Geologia Quantitativa. Introdução à Análise Estatística de Dados Geológicos Multivariados**. Rio Claro: Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, 2001, 93p.
- LANNA, A.E.L. **Gerenciamento de Bacias Hidrográficas: Aspectos Conceituais e Metodológicos**. Brasília. IBAMA, 1995.
- LIMA, D de A (1966). Atlas Nacional do Brasil. In: CONGRESSO NACIONAL DE GEOGRAFIA, Rio de Janeiro, 1966.

- LIPORACI, Silvana Ribeiro. **Procedimentos e metodologias de mapeamento geotécnico: aplicados na cidade e parte do Município de Poços de Calda (MG) – escala: 1:25000 – visando o planejamento do uso e ocupação do meio físico.** 1994. 214p. Dissertação Mestrado – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.
- LOLLO, José Augusto. **O uso da técnica de avaliação de terreno no processo no processo de elaboração de mapeamento geotécnico.** 1996. 2v. Tese Doutorado – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.
- LOPES, P.M.S.; PEJON, O.J. Estudos dos Atributos do Meio Físico como Base para o Zoneamento Geoambiental das Bacias dos Rios Passa Cinco e Rio da Cabeça – São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL, 10, Ouro Preto, 2002. **Anais ...** CD-ROOM. 15p.
- LOPES, Paulo Maurício Silva. **Estudo dos atributos do meio físico como base para o zoneamento geoambiental das bacias dos Rio Passa Cinco e Rio da Cabeça: Escala: 1:50.000.** 2000. 136p. Dissertação Mestrado – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.
- Manual do Surfer SURFER ® 7.00. **User's guide.** Contouring and 3D surface mapping for scientists and engineers. Golden Software, Inc, 1999.
- MEDEIROS, J.S. de; CÂMARA, G. GIS para estudos ambientais. In: CÂMARA, G. et al. **Introdução a Ciência da Geoinformação (livro on-line).** 2002. <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/cap10-aplicacoesambientais.pdf>. Acesso maio de 2002.
- NOVO. E.M.L.M. **Sensoriamento Remoto – Princípios e Aplicação.** São Paulo: Edgard Blüchu, 1989.

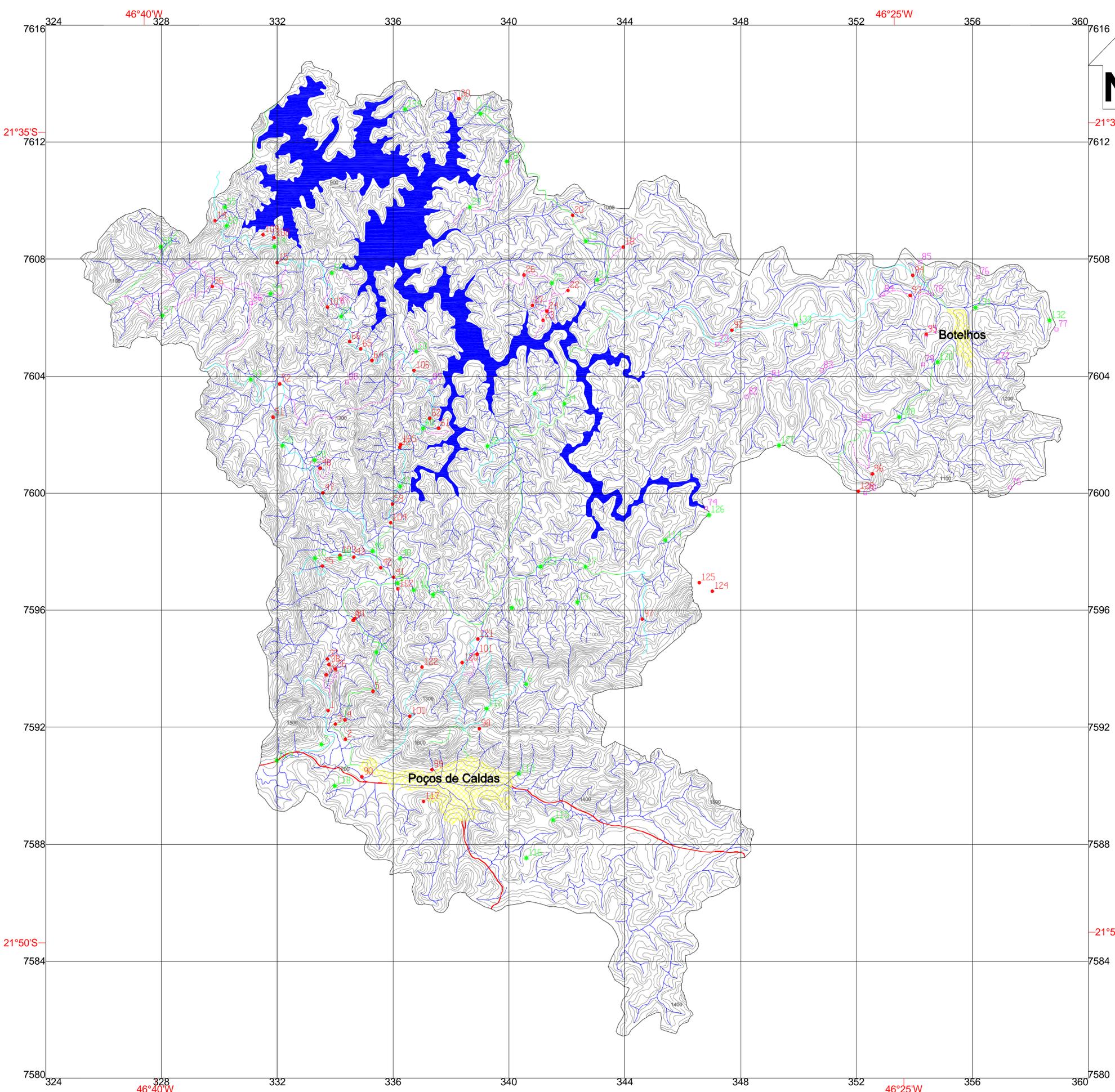
- OLIVEIRA, M.A.F.; FRANCESCONI, R.; CORDEIRO, C.M.; INGLEZ, A.G.; OLIVEIRA, E.G.; SENA, C.A.S. In: ATLAS DA 1ª JORNADA SOBRE A CARTA GEOLÓGICA DO ESTADO DE SÃO PAULO EM 1:50.000. **Anais...** São Paulo: 1983. p. 171 – 192.
- PEJON, Osni José. **Estudo dos fenômenos de expansão de rochas sedimentares de granulometria fina. Identificação, caracterização e mapeamento.** 2000. 197p. Tese Livre Docência – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.
- PEJON, Osni José. **Mapeamento geotécnico da folha de Piracicaba–SP (escala 1:100.000): estudo de aspectos metodológicos, de caracterização e de apresentação de atributos.** 1992. 2v. Tese Doutorado – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.
- PIRES NETO. Planejamento territorial a abordagem geológico-geotécnica e o conceito de terreno ou abordagem de paisagem. **Revista do Departamento de Geografia.** n.8, p.51 – 62, 1994.
- PIRES, J.S.R.; SANTOS, J.E. dos. Bacias hidrográficas integração entre meio ambiente e desenvolvimento. **Ciência Hoje**, v.19, n. 110, p.40 – 45, jun 1995.
- PROCHNOW, M.C.R. **Análise Ambiental da Sub-bacia do Rio Piracicaba: Subsídios ao Seu Planejamento e Manejo.** 1990. Tese Doutorado – Intitulo de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro.
- PROJETO RADAMBRASIL. **Levantamentos de recursos naturais.** Brasília, Ministério de Minas e Energia. Vol 32. 776p. 1983.
- ROSS, J.L.S. Geomorfologia aplicada aos EIA(s)-RIMA(s). In: GUERRA, A.J.T. CUNHA S.B. da; **Geomorfologia e Meio Ambiente.** Brasil: Bertrand Brasil, 1996. Cap. 6, p291 – 336.
- ROSS, J.L.S.; DEL PRETTE, M.E. Recursos hídricos e bacias hidrográficas: âncoras do planejamento e gestão ambiental. **Revista do Departamento de Geografia.** n.12, p.89 – 121, 1998.

- SALAZAR JUNIOR, O. (1998). O uso de sistemas de informação geográfica na cartografia geotécnica. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA, 3, Florianópolis: 1998. **Palestras**.
- SANCHEZ, M.C. A propósito das cartas de declividade. In: SIMPÓSIO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 5, 1993, São Paulo. **Anais...** São Paulo: 1993. p. 311 – 314.
- SILVA, Sandra Fernandes da. **Avaliação das alterações ambientais na sub-bacia hidrográfica do Ribeirão do Piçarrão, Campinas – SP. São Carlos**. 2000. 138p. Dissertação Mestrado – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- SIMÕES, S.J.C. Geo-indicadores Ambientais Conceitos e Aplicações. **Geociências**. Rio Claro, v.18, n. 1, p.41 – 52, 1999.
- STRAHLER, A N. Quantitative Analysis of Watershed Geomorfology. **Trans. Ame. Geophys.** New Haven, v38, p.913-20, 1957.
- TUNDISI, J.G. Bases ecológicas para o desenvolvimento sustentado. In: CASTELLANO, E.G.; CHAUDHRY, F.H. **Desenvolvimento sustentado: Problemas e Estratégias**. São Carlos, EESC – USP. 2000. Cap. 1, p.3 – 6.
- VEDOVELLO, R.; HOLL, M.C.; MAFFRA, C. de Q.T. Sistemas gerenciadores de informação geoambientais como produto da cartografia geotécnica. Exemplo voltado a disposição de resíduos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 9, São Pedro, 1999. **Anais ...** CD-ROOM. 13p.
- ZUQUETTE, L.V.; GANDOLFI, N. Mapeamento geotécnico: uma proposta metodológica. **Geociências**. Rio Claro, v.9, p.55 – 66, 1990.
- ZUQUETTE, L.V.; PEJON, O.J.; GANDOLFI, N.; RODRIGUES, J.E. Mapeamento geotécnico: parte 1 – atributos e procedimentos básicos para elaboração de mapas e cartas. **Geociências**. Rio Claro, v.16, n.2, p.491 – 524, 1997.

ZUQUETTE, Lázaro Valentim. **Análise crítica da cartografia geotécnica e proposta metodológica para condições brasileiras.** 1987. 2v. Tese Livre Docência – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

ZUQUETTE, Lázaro Valentim. **Importância do mapeamento geotécnico no uso e ocupação do meio físico: fundamentos e guia para elaboração.** 1993. 3v. Tese Doutorado – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

ANEXO I – MAPA DE DOCUMENTAÇÃO



Escala Gráfica

LEGENDA

Dados Existentes

Simbologia	Fonte Consultada
	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM)

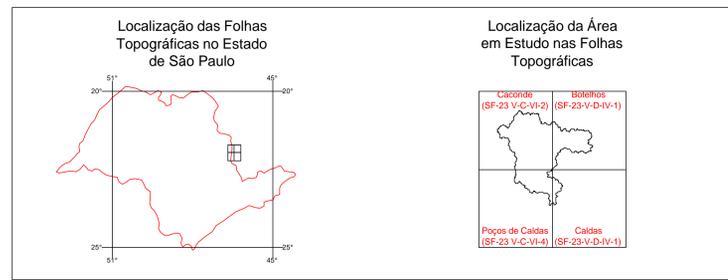
Dados Obtidos na Pesquisa

Simbologia	Natureza
	Ponto com descrição de campo
	Ponto com descrição de campo e análise laboratorial

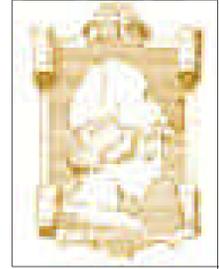
CONVEÇÕES CARTOGRÁFICAS

	Rodovia Estadual
	Rodovia Pavimentada
	Rodovia não Pavimentada
	Caminho
	Curva de Nível (Eqüidistância 20 m)
	Rede Hidrográfica
	Limite da Área em Estudo

	Área Urbana
	Reservatório da Hidroelétrica de Caconde - SP



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA
DE SÃO CARLOS



ANEXO I
Mapa de Documentação
(1:50.000)

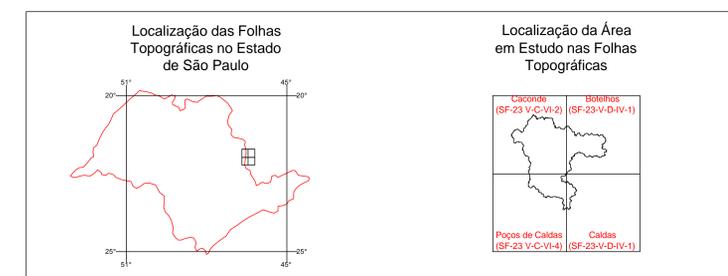
Autor: Holden Robson de Amorim
Orientador: Prof. Dr. Osni José Pejón

Zona: 23 do Hemisfério Sul Datum Horizontal: Córrego Alegre (MG)
Elipsóide de Referência: SAD-69 Datum Vertical: Marégrafo Imituba (SC)

ANEXO II – CARTA DE DECLIVIDADES

LEGENDA

Classe de Declividade	Recomendações de Uso e Restrições e/ou Problemas Esperados
<p>< 2%</p> <p>Terrenos planos ou quase planos, onde o escoamento superficial é muito lento ou lento.</p>	<p>- Favorável a implantação de aeroportos internacionais;</p> <p>- Favorável a atividade agrícola intensiva e ao uso de máquinas agrícolas;</p> <p>- Áreas impróprias às instalações de saneamento e canalizações subterrâneas de água;</p> <p>- Área sujeita a inundação.</p>
<p>2% - 5%</p> <p>Terrenos com declividades suaves nos quais o escoamento superficial é lento ou médio e os problemas de erosão requerem práticas simples de conservação.</p>	<p>- Favorável ao uso agrícola mecanizado;</p> <p>- Favorável a implantação de aeroportos locais, rodovias e ferrovias principais.</p>
<p>5% - 10%</p> <p>Terrenos inclinados, geralmente com relevo ondulado, nos quais o escoamento superficial é médio e rápido, porém com poucos problemas de erosão superficial.</p>	<p>- Exige práticas simples de conservação, exeto no caso de utilização agrícola intensiva, onde medidas mais complexas devem ser adotadas;</p> <p>- Corresponde ao limite máximo para implantação de saneamento, ferrovias e indústrias;</p> <p>- Favorável ao uso de máquinas agrícolas.</p>
<p>10% - 15%</p> <p>Terrenos muito inclinados colinosos, onde o escoamento superficial é rápido. Apresentam problemas de erosão superficial, exeto quando ocorrem solos permeáveis e pouco arenosos.</p>	<p>- Propício para o uso de máquinas agrícolas, ainda que com dificuldade;</p> <p>- Áreas recomendadas para culturas perenes, pastagem ou reflorestamento;</p> <p>- Limite de vias principais e loteamentos perpendiculares às curvas de nível.</p>
<p>15% - 20%</p> <p>Terrenos fortemente inclinados onde o escoamento superficial é muito rápido, com problemas de erosão superficial.</p>	<p>- Propício para a implantação do sistema viário local;</p> <p>- Propício a implantação de lotes paralelos às curvas de nível;</p> <p>- Classes limite para a implantação de residências individuais e estradas.</p>
<p>20% - 25%</p> <p>Terrenos fortemente inclinados com escoamento superficial muito rápido, e com problemas de erosão superficial.</p>	<p>- Classe limite para estruturas de engenharia.</p>
<p>25% - 30%</p> <p>Terrenos fortemente inclinados com escoamento superficial muito rápido, suscetível a processos erosivos.</p>	<p>- Classe limite máximo por lei para ocupação de encostas sem projetos especiais.</p>
<p>30% - 47%</p> <p>Terrenos íngremes com escoamento superficial muito rápido, sujeito a movimentos de massa e de quedas de blocos.</p>	<p>- Classe limite para operação de veículos tracionados, uso como áreas de recreação ou qualquer tipo de ocupação;</p> <p>- Limite máximo para corte de madeira, sem projeto de exploração sustentada.</p>
<p>> 47%</p> <p>Terrenos muito íngremes ou escarpados, com desenvolvimento de solos muito rasos e extremamente suscetíveis a erosão.</p>	



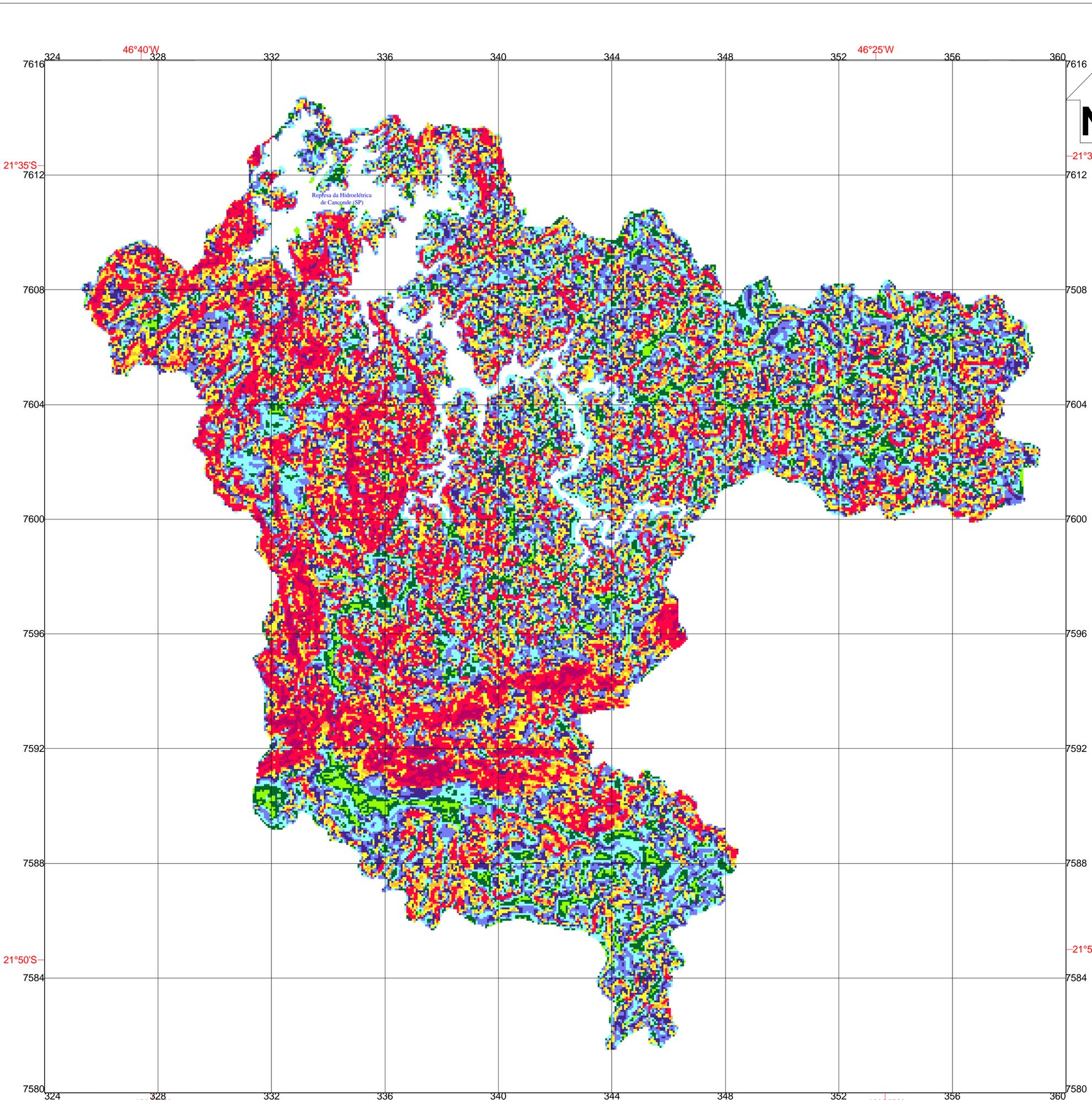
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA
DE SÃO CARLOS



ANEXO II
Carta de Declividades
(1:50.000)

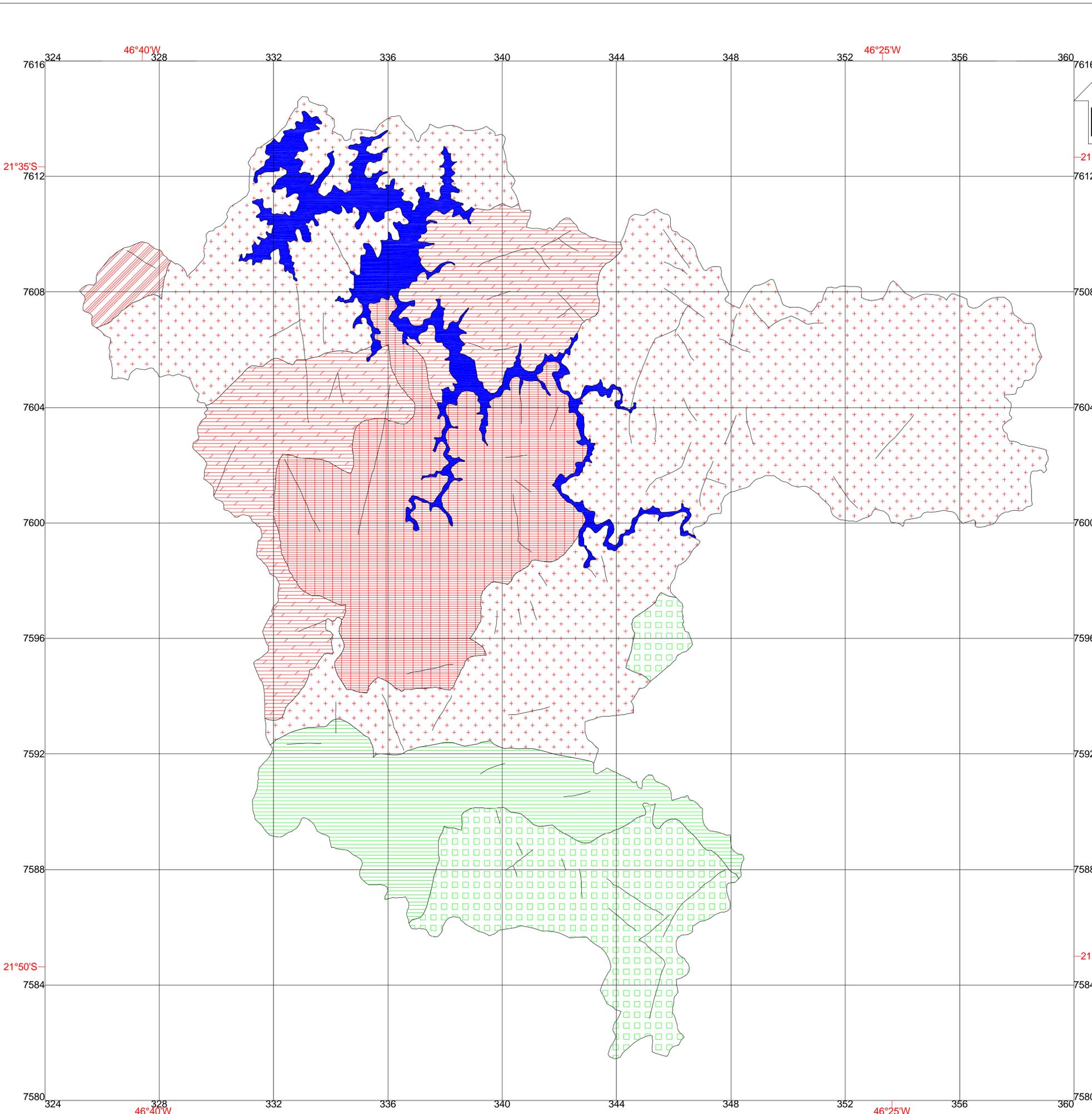
Autor: Holden Robson de Amorim
Orientador: Prof. Dr. Osni José Pejón

Zona: 23 do Hemisfério Sul Datum Horizontal: Córrego Alegre (MG)
 Elipsóide de Referência: SAD-69 Datum Vertical: Marégrafo Ibituba (SC)



Escala Gráfica

ANEXO III – MAPA DE SUBSTRATO ROCOSO



LEGENDA

FRATURAS

MESOZÓICO

Maciço Alcalino de Poços de Caldas

FONÓLITOS e TINGUAÍTOS - Rochas com coloração variando entre cinza esverdeado e preto. Exibem texturas que vão desde afanítica a fanerítica fina ou mediantemente fina.

NEFELINA SIENITOS - Rochas de cor cinza com tonalidades esverdeadas e estrutura maciça. São leucocráticas e exibem grandes cristais, em geral idiomorfos, quase que exclusivamente formados por feldspato potássico e nefelina.

PROTEROZÓICO

Complexo Varginha

CHARNOCKITOS - Rochas de coloração predominantemente verde escura, estruturas gnáissicas e granulação que varia de fina a média podendo chegar a grossa.

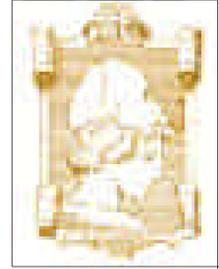
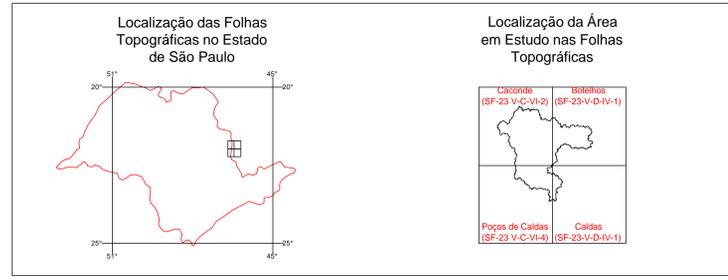
GRANULITOS QUARTZO-FELDSPÁTICOS - Rochas leucocráticas e hololeucocráticas que apresentam altitudes com direções preferenciais NW e mergulho SW. Exibem granulação média podendo às vezes apresentar grãos mais grossos.

MIGMATITOS GRANÍTICOS E ESTROMATÍTICOS - Rochas gnáissicas onde os tipos graníticos são leucocráticos a mesocráticos e os estromatíticos melanocráticos. Apresentam texturas preferencialmente dobradas e bandadas.

MIGMATITOS OFTALMÍTICOS - Rochas gnáissicas ricas em pórfiros de k-feldspato, apresentam granulação grossa, estrutura maciça ou em bandas onde existe predominância de neossoma.

CONVEÇÕES CARTOGRÁFICAS

Reservatório da Hidroelétrica de Caconde - SP



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA
DE SÃO CARLOS

ANEXO III
Mapa de Substrato Rochoso
(1:50.000)

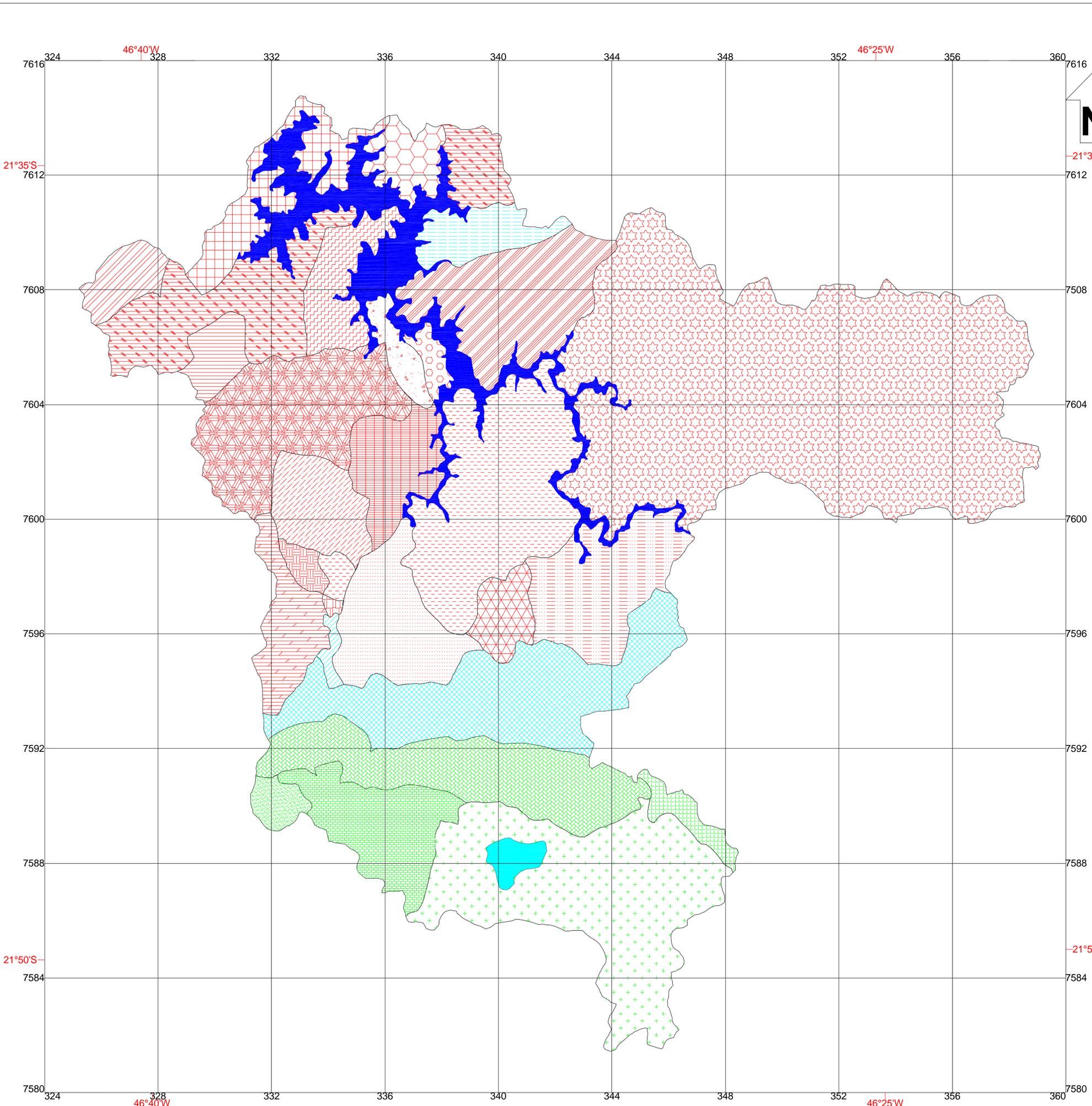
Autor: Holden Robson de Amorim
Orientador: Prof. Dr. Osni José Pejón



Escala Gráfica

Zona: 23 do Hemisfério Sul Datum Horizontal: Córrego Alegre (MG)
 Elipsóide de Referência: SAD-69 Datum Vertical: Marégrafo Ibituba (SC)

ANEXO IV – MAPA DE MATERIAIS INCONSOLIDADOS



LEGENDA

MATERIAIS RETRABALHADOS

	Unidade U1 - Materiais retrabalhados pertencentes ao grupo textural I de origem aluvionar apresentando espessuras variáveis.		Unidade U2 - Materiais retrabalhados pertencentes ao grupo textural VI de origem aluvionar com espessuras inferiores a 0,5m.
	Sub-unidade U3a - Materiais retrabalhados pertencentes ao grupo textural I de origem coluvionar com espessuras inferiores a 0,5 m.		Sub-unidade U3b - Materiais retrabalhados pertencentes ao grupo textural VI de origem coluvionar apresentando espessuras variáveis.

MATERIAIS RESIDUAIS DO MACIÇO ALCALINO

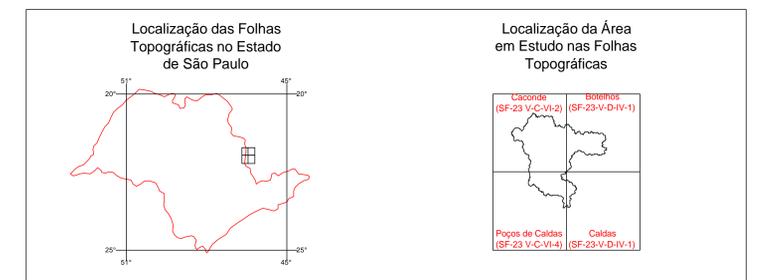
	Unidade U4 - Materiais residuais de fonólitos e tinguaítos pertencentes ao grupo textural III com espessuras variando entre 0,5 e 1,5 m.		Unidade U5 - Materiais residuais de fonólitos e tinguaítos pertencentes ao grupo textural IV apresentando espessuras superiores a 3,0 m.
	Unidade U6 - Materiais residuais de fonólitos e tinguaítos pertencentes ao grupo textural VII com espessuras variando entre 0,5 e 1,5 m.		Unidade U7 - Materiais residuais de fonólitos e tinguaítos pertencentes ao grupo textural VIII apresentando espessuras superiores a 3,0 m.
	Unidade U8 - Materiais residuais de trerilma sienitos pertencentes ao grupo textural III com espessuras variando entre 0,5 e 1,5 m.		

MATERIAIS RESIDUAIS DO COMPLEXO VARGINHA

	Unidade U9 - Materiais residuais de chanockitos pertencentes ao grupo textural III com espessuras variando entre 1,5 e 3,0 m.		Sub-unidade U10a - Materiais residuais de chanockitos pertencentes ao grupo textural V apresentando espessuras inferiores a 0,5 m.
	Sub-unidade U10b - Materiais residuais de chanockitos pertencentes ao grupo textural V com espessuras variando entre 0,5 e 1,5 m.		Sub-unidade U10c - Materiais residuais de chanockitos pertencentes ao grupo textural V com espessuras variando entre 1,5 e 3,0 m.
	Unidade U11 - Materiais residuais de chanockitos pertencentes ao grupo textural VI apresentando espessuras superiores a 3,0 m.		Sub-unidade U13a - Materiais residuais de granulitos quartzo-feldspáticos pertencentes ao grupo textural V apresentando espessuras inferiores a 0,5 m.
	Unidade U12 - Materiais residuais de granulitos quartzo-feldspáticos pertencentes ao grupo textural III com espessuras variando entre 1,5 e 3,0 m.		Sub-unidade U13b - Materiais residuais de granulitos quartzo-feldspáticos pertencentes ao grupo textural V com espessuras variando entre 1,5 e 3,0 m.
	Sub-unidade U13c - Materiais residuais de granulitos quartzo-feldspáticos pertencentes ao grupo textural V com espessuras variando entre 0,5 e 1,5 m.		Unidade U14 - Materiais residuais de migmatitos graníticos e estromatíticos pertencentes ao grupo textural II com espessuras variando entre 1,5 e 3,0 m.
	Unidade U15 - Materiais residuais de migmatitos graníticos e estromatíticos pertencentes ao grupo textural III apresentando espessuras superiores a 3,0 m.		Sub-unidade U16a - Materiais residuais de migmatitos graníticos e estromatíticos pertencentes ao grupo textural III com espessuras variando entre 1,5 e 3,0 m.
	Sub-unidade U16b - Materiais residuais de migmatitos graníticos e estromatíticos pertencentes ao grupo textural IV apresentando espessuras superiores a 3,0 m.		Unidade U17 - Materiais residuais de migmatitos graníticos e estromatíticos pertencentes ao grupo textural V com espessuras variando entre 1,5 e 3,0 m.
	Sub-unidade U18a - Materiais residuais de migmatitos graníticos e estromatíticos pertencentes ao grupo textural V com espessuras variando entre 1,5 e 3,0 m.		Unidade U19 - Materiais residuais de migmatitos graníticos e estromatíticos pertencentes ao grupo textural VII com espessuras variando entre 1,5 e 3,0 m.
	Sub-unidade U18b - Materiais residuais de migmatitos graníticos e estromatíticos pertencentes ao grupo textural IV, V e VI apresentando espessuras variáveis.		Unidade U21 - Materiais residuais de migmatitos ofitálmicos pertencentes ao grupo textural III com espessuras variando entre 1,5 e 3,0 m.

CONVEÇÕES CARTOGRÁFICAS

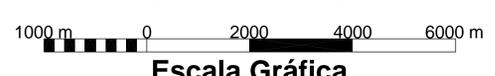
	Reservatório da Hidroelétrica de Caconde - SP
--	---



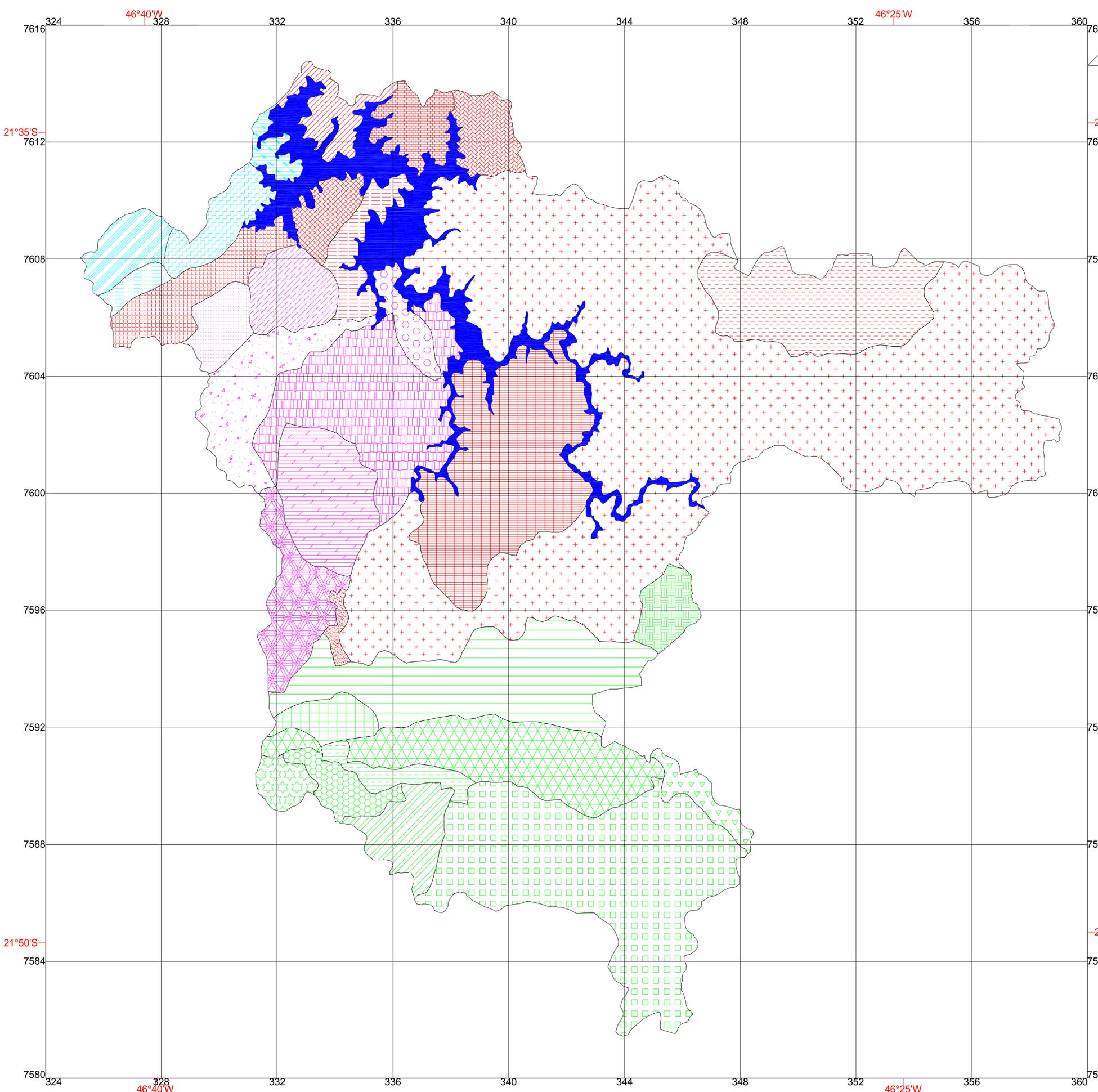
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA
DE SÃO CARLOS

ANEXO IV
Mapa de Materiais Inconsolidados
 (1:50.000)

Autor: Holden Robson de Amorim
 Orientador: Prof. Dr. Osni José Pejón



ANEXO V – MAPA DE *LANDFORMS*



LEGENDA

Sistema de Terreno A

	Unidade A01 - Colinas com topos arredondados, encostas côncavas, declividades médias (10 a 20 %) e amplitudes de relevo baixas (< 100 m).		Unidade A02 - Morros com topos angulosos, encostas retlineas, declividades altas (> 20 %), amplitudes de relevo médias (100 a 300 m) e padrões de drenagem paralelo com altas densidades.
	Unidade A03 - Colinas com topos arredondados, encostas retlineas, altas declividades, amplitudes de relevo baixas, padrões de drenagem paralelos com baixas densidades.		Unidade A04 - Escarpas com topos retlineo, encostas retlineas, declividades altas, amplitudes de relevo médias e padrões de drenagem paralelo com médias densidades de canais.
	Unidade A05 - Vales abertos, encostas côncavas, declividades baixas (< 5 %), baixas amplitudes de relevo e densidade de canais (menos que 3 canais por quilômetro quadrado).		Unidade A06 - Morros com topos angulosos, encostas retlineas, declividades altas, amplitudes de relevo médias e padrões de drenagem paralelo com altas densidades de canais.
	Unidade A07 - Escarpas com topos retlineos, encostas retlineas, médias declividades, aptitudes de relevo médias e com padrões de drenagem dendrítico com altas densidades.		Unidades A08 - Colinas com topos arredondados, encostas retlineas, declividades médias, amplitudes de relevo médias e padrões de drenagem dendríticos com altas densidades.
	Unidade A09 - Colinas com topos arredondados, encostas convexas, declividades médias, amplitudes de relevo médias com padrões de drenagem paralelo e baixa densidade de canais.		Unidade A10 - Morros com topos angulosos, encostas retlineas, altas declividades, baixas amplitudes de relevo, padrões de drenagem dendríticos com média densidade de canais.

Sistema de Terreno B

	Unidade B01 - Escarpa com topo retlineo, encosta côncava, declividades altas, amplitudes de relevo altas, padrões de drenagem dendríticos com média densidade de canais.		Unidade B02 - Colinas com topos arredondados, encostas retlineas, altas declividades, baixas amplitudes de relevo, padrão de drenagem dendrítico com baixa densidade de canais.
	Unidade B03 - Escarpas com topos retlineos, encostas retlineas, declividades médias, amplitudes de relevo médias, padrões de drenagem dendríticos com altas densidades.		Unidade B04 - Morros com topos angulosos, encostas retlineas, declividades médias, altas amplitudes de relevo, padrões de drenagem dendríticos com altas densidades.
	Unidade B05 - Vales abertos, encostas retlineas, declividades altas, altas amplitudes de relevo, padrões de drenagem dendríticos com baixa densidade de canais.		Unidade B06 - Escarpas com topos angulosos, encostas retlineas, altas declividades, amplitudes de relevo baixas, padrões de drenagem dendríticos com baixa densidade de canais.
	Unidade B07 - Morros com topos angulosos, encostas retlineas, declividades altas, médias amplitudes de relevo, padrões de drenagem paralelo e baixa densidade de canais.		

Sistema de Terreno C

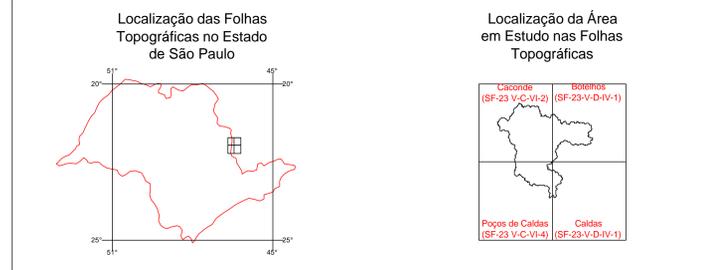
	Unidade C01 - Escarpas com topos retlineos, encostas retlineas, altas declividades, pequenas amplitudes de relevo, padrões de drenagem dendríticos com baixa densidade de canais.		Unidade C02 - Colinas com topos arredondados, altas declividades, encostas retlineas, pequenas amplitudes de relevo, padrões de drenagem paralelos e baixa densidade de canais.
	Unidade C03 - Colinas de topos arredondados, encostas retlineas, altas declividades, pequenas amplitudes de relevo, padrões de drenagem paralelos com baixa densidade de canais.		Unidade C04 - Escarpas com topos retlineos, encostas retlineas, altas declividades, pequenas amplitudes de relevo, padrões de drenagem paralelo com média densidade de canais.

Sistema de Terreno D

	Unidade D01 - Escarpas com topos retlineos, encostas côncavas, declividades médias, amplitudes de relevo baixas, padrões de drenagem dendríticos e densidade de canais média.		Unidades D02 - Escarpas com topos retlineos, encostas convexas, altas declividades, altas amplitudes de relevo padrões de drenagem paralelos e média densidade de canais.
	Unidade D03 - Escarpas com topos retlineos, encostas côncavas, altas declividades, amplitudes de relevo altas, padrões de drenagem paralelo e densidade de canais baixa.		Unidade D04 - Escarpas de topo retlineo, encostas retlineas, declividades altas, amplitudes de relevo altas, padrões de drenagem paralelos com alta densidade de canais.
	Unidade D05 - Colinas com topos angulosos, encostas convexas, declividades médias, amplitudes de relevo médias, padrões de drenagem paralelos com média densidade de canais.		Unidade D06 - Vales abertos, encostas côncavas, baixas declividades e amplitudes de relevo.
	Unidade D07 - Morros com topos angulosos, encostas retlineas, declividades altas, médias amplitudes de relevo, padrões de drenagem dendrítico com baixa densidade de canais.		Unidade D08 - Vales abertos, encostas convexas, baixas declividades e amplitudes de relevo.
	Unidade D09 - Escarpas com topos retlineos, encostas convexas, declividades médias, pequenas amplitudes de relevo, padrão de drenagem dendrítico e com baixa densidade de canais.		Unidade D10 - Morros com topos angulosos, encostas retlineas, altas declividades, amplitudes de relevo altas (> 300 m), padrões de drenagem paralelos com baixa densidade de canais.

CONVEÇÕES CARTOGRÁFICAS

Reservatório da Hidroelétrica de Caconde - SP



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA
DE SÃO CARLOS

ANEXO V
Mapa de Landforms
 (1:50.000)

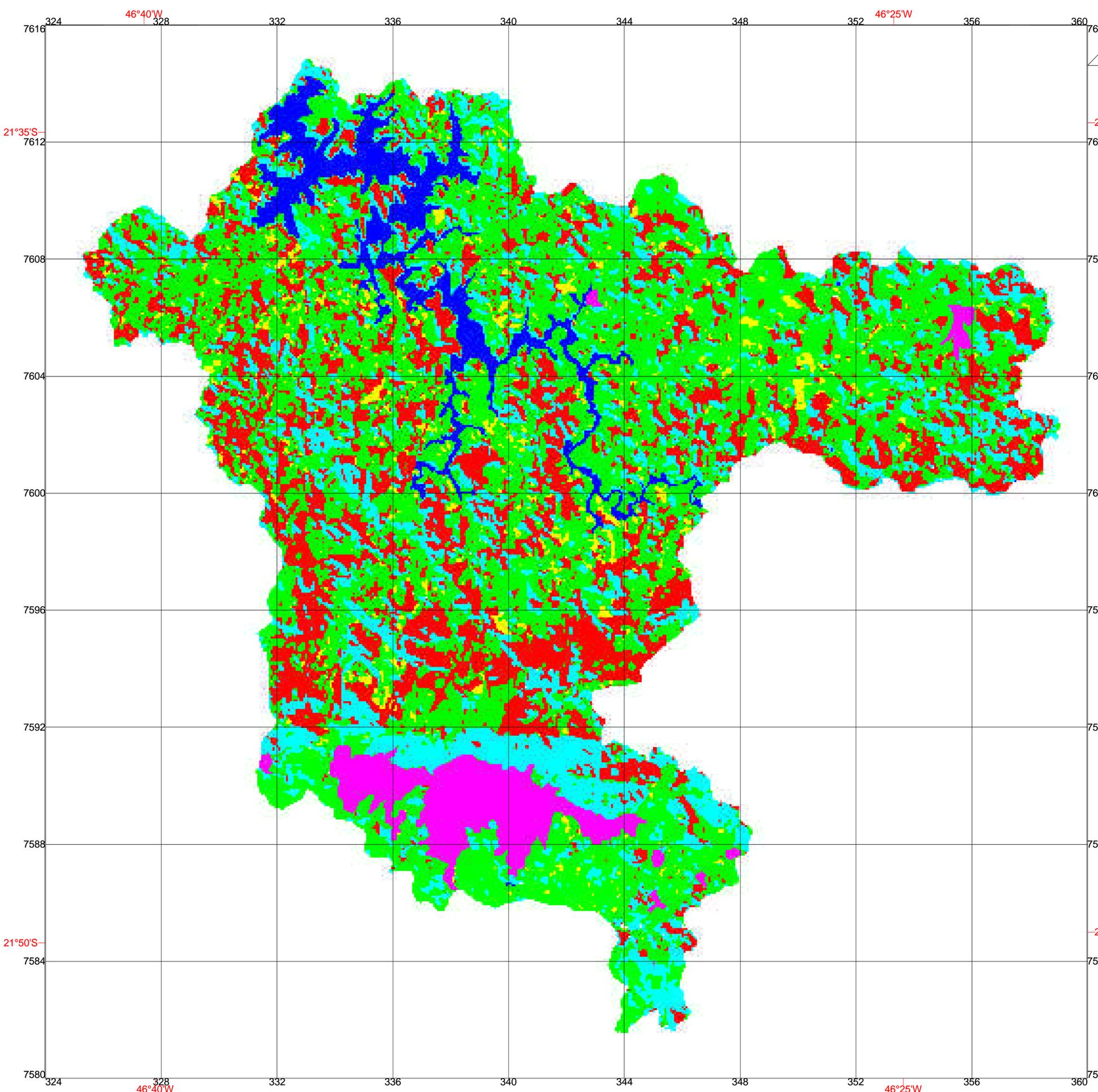
Autor: Holden Robson de Amorim
 Orientador: Prof. Dr. Osni José Pejón

Zona: 23 do Hemisfério Sul Datum Horizontal: Córrego Alegre (MG)
 Elipsóide de Referência: SAD-69 Datum Vertical: Marégrafo Ibituba (SC)



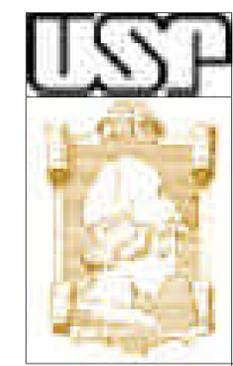
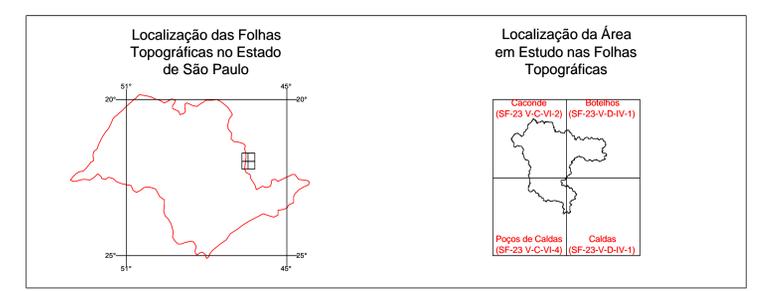
Escala Gráfica

ANEXO VI – MAPA DE USO E OCUPAÇÃO



LEGENDA

	Água Represada
	Áreas Destinadas a Pecuária Bovina Extensiva
	Monocultura Cafeeira
	Floresta Nativa
	Áreas sem Cobertura Vegetal
	Áreas Urbanizadas
	Setores não Classificados



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA
DE SÃO CARLOS

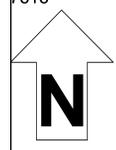
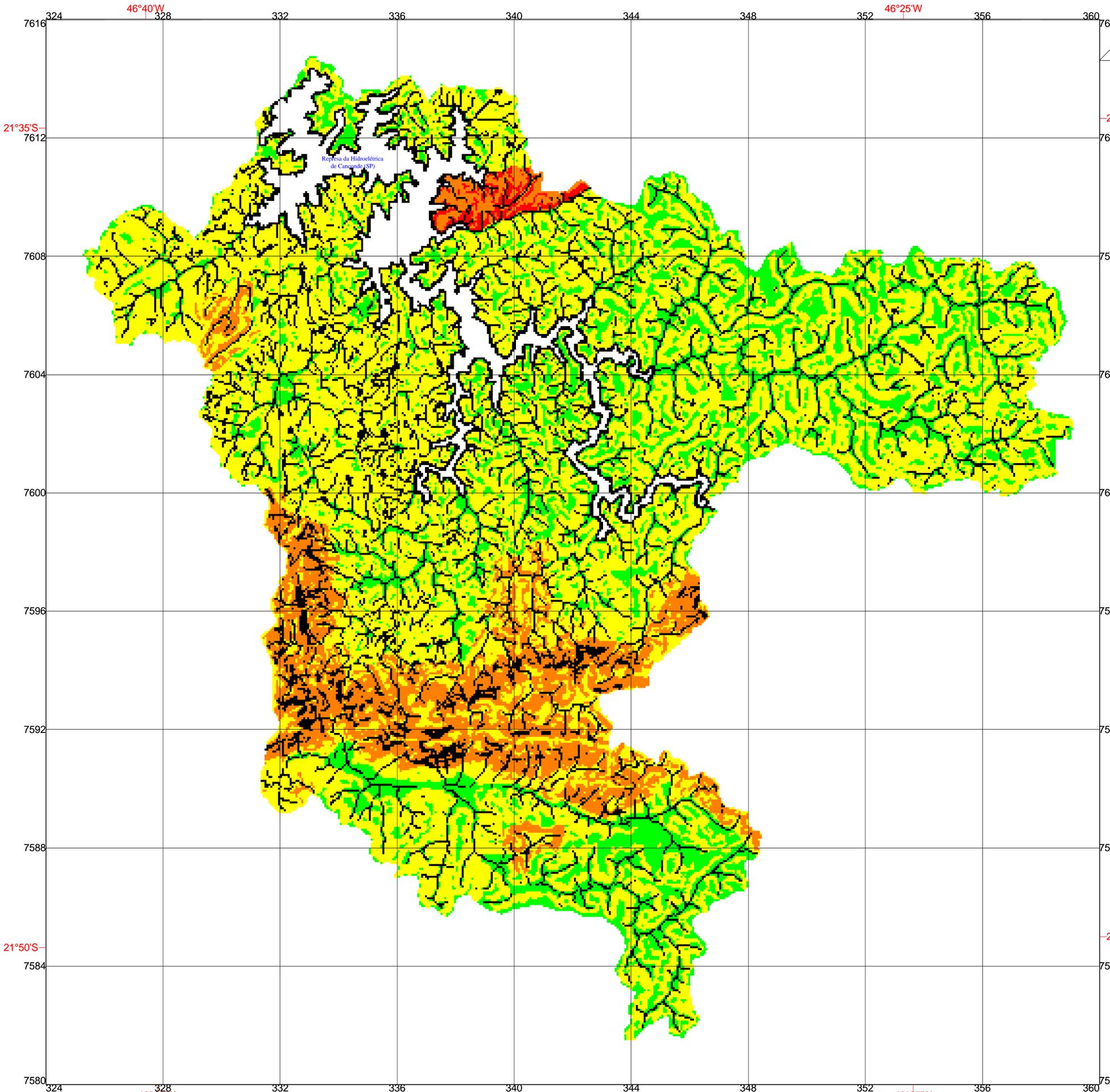
ANEXO VI
Mapa de Uso e Ocupação
(1:50.000)

Autor: Holden Robson de Amorim
Orientador: Prof. Dr. Osni José Pejón



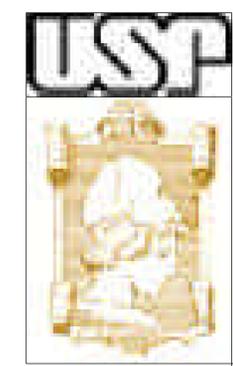
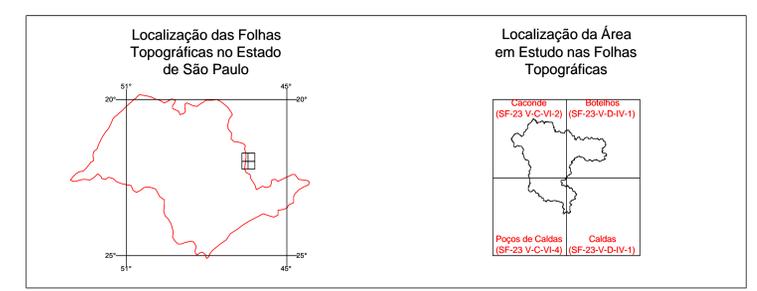
Escala Gráfica

ANEXO VII – CARTA DE POTENCIAL AGRÍCOLA



LEGENDA

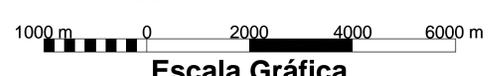
	Favorável
	Moderado
	Severo
	Restritivo
	<p>Áreas com Restrições Legais Quanto ao Uso (Baseado no Código Florestal - Art.2º e Art10º)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Considera-se de preservação permanente a faixa marginal ao longo dos rios e qualquer curso de água igual 30 m. - Considera-se de preservação permanente a faixa marginal ao redor de lagos, lagoas e reservatórios igual de 100 m. - Não é permitida a derrubada de florestas situadas em área de inclinação entre 25 e 45 graus. - Considera-se de preservação permanente a faixa marginal nas encostas ou partes destas com declividades superiores a 45°.



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA
DE SÃO CARLOS

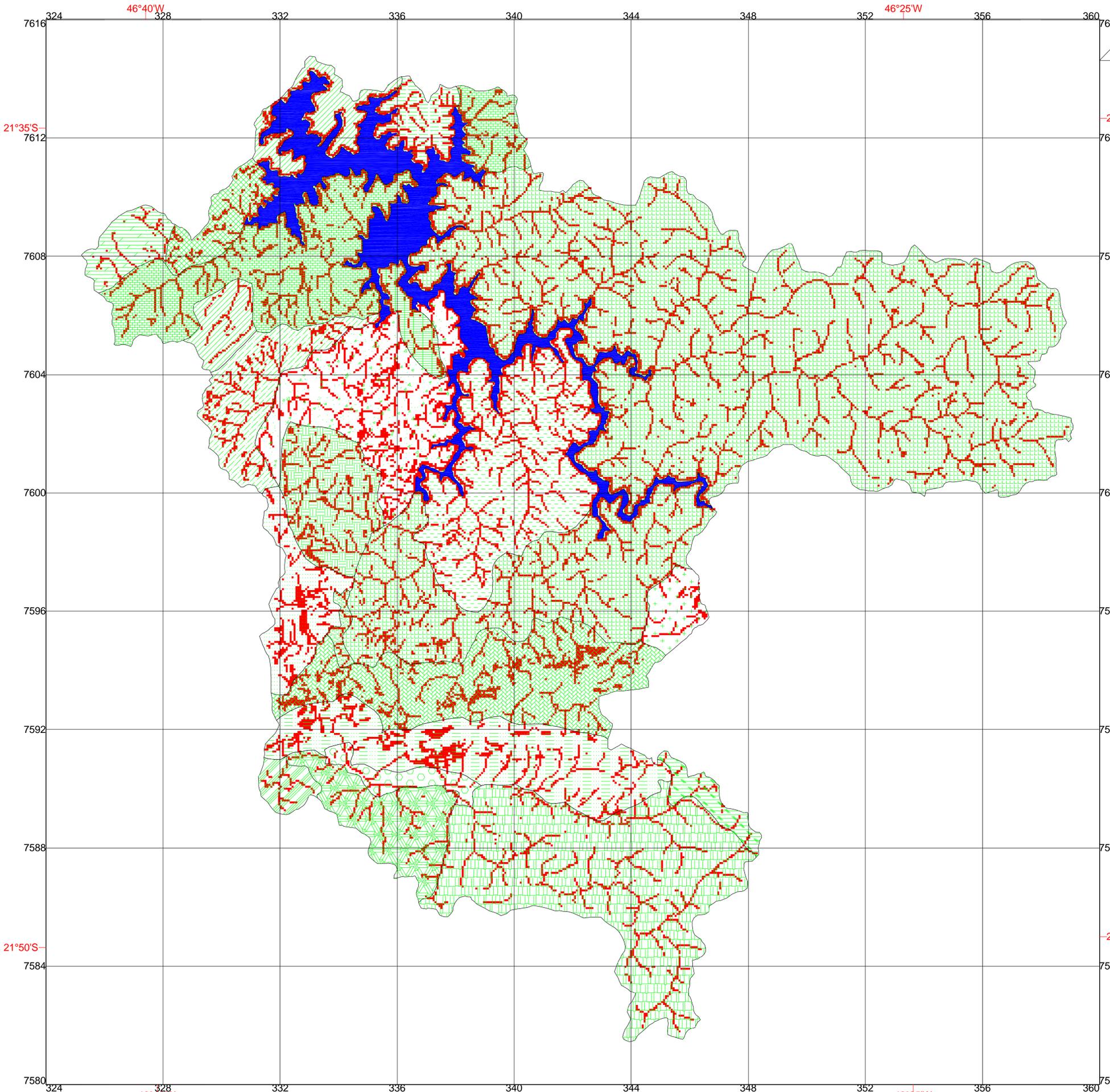
ANEXO VII
Carta de Potencial Agrícola
(1:50.000)

Autor: Holden Robson de Amorim
Orientador: Prof. Dr. Osni José Pejón



Escala Gráfica

ANEXO VIII – CARTA DE ZONEAMIENTO GEOAMBIENTAL



LEGENDA

Unidades Geoambientais

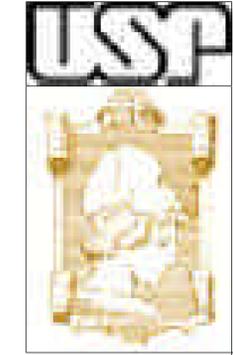
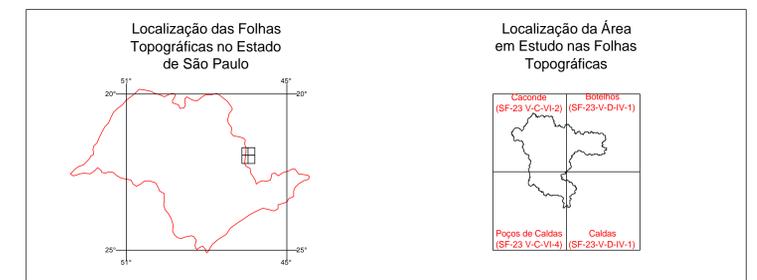
	Unidade Geoambiental 01		Unidade Geoambiental 02
	Unidade Geoambiental 03		Unidade Geoambiental 04
	Unidade Geoambiental 05		Unidade Geoambiental 06
	Unidade Geoambiental 07		Unidade Geoambiental 08
	Unidade Geoambiental 09		Unidade Geoambiental 10
	Unidade Geoambiental 11		Unidade Geoambiental 12
	Unidade Geoambiental 13		Unidade Geoambiental 14
	Unidade Geoambiental 15		Unidade Geoambiental 16
	Unidade Geoambiental 17		Unidade Geoambiental 18
	Unidade Geoambiental 19		Unidade Geoambiental 20
	Unidade Geoambiental 21		

Áreas com Restrições Legais Quanto ao Uso
(Baseado no Código Florestal - Art.2º e Art10º)

- Considera-se de preservação permanente a faixa marginal ao longo dos rios e qualquer curso de água igual 30 m.
- Considera-se de preservação permanente a faixa marginal ao redor de lagos, lagoas e reservatórios igual de 100 m.
- Não é permitida a derrubada de florestas situadas em área de inclinação entre 25 e 45 graus.
- Considera-se de preservação permanente a faixa marginal nas encostas ou partes destas com declividades superiores a 45°.

CONVEÇÕES CARTOGRÁFICAS

Reservatório da Hidroelétrica de Caconde - SP



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA
DE SÃO CARLOS

ANEXO VIII
Carta de Zoneamento Geoambiental
(1:50.000)

Autor: Holden Robson de Amorim
 Orientador: Prof. Dr. Osni José Pejón



Zona: 23 do Hemisfério Sul Datum Horizontal: Córrego Alegre (MG)
 Elipsóide de Referência: SAD-69 Datum Vertical: Marégrafo Imbituba (SC)

**ANEXO IX – RELAÇÃO ENTRE AS UNIDADES DE TERRENO
E OS DIVERSOS ATRIBUTOS DO MEIO FÍSICO
LEVANTADOS**

RELAÇÃO ENTRE AS UNIDADES DE TERRENO E OS DIVERSOS ATRIBUTOS DO MEIO FÍSICO LEVANTADOS (ANEXO IX)

Unidade de Terreno	Mapa de Landforms							Carta de Declividades (Percentual de Cada Classe)							Mapa de Substrato Rochoso (Percentual de Cada Unidade)							
	Feição de Relevo	Forma do Topo ou Vale	Tipo de Encosta	Declividade	Padrão de Drenagem	Densidade de Drenagem	Amplitude de Relevo	<2%	2 a 5%	5 a 10%	10 a 15%	15 a 20%	20 a 25%	25 a 30%	30 a 47%	> 47 %	Fonolitos e Tinguaitos	Nefelina Sienitos	Charnockitos	Granulitos Quartzo-feldspáticos	Migmatitos Graníticos e Estromatíticos	Migmatitos Oftalmíticos
A01	Colinas	Anguloso	Côncava	Média	Indeterminado	Baixa	Baixa	2,28	13,57	25,57	23,24	14,77	10,44	4,92	5,10	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00
A02	Morros	Anguloso	Retilínea	Alta	Paralelo	Alta	Média	2,34	3,30	10,49	12,06	9,78	8,54	9,70	39,43	4,36	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00
A03	Colinas	Anguloso	Retilínea	Alta	Paralelo	Baixa	Baixa	0,83	7,79	19,05	16,84	12,76	12,73	10,78	19,15	0,05	0,00	0,00	0,00	0,14	99,86	0,00
A04	Escarpas	Ausente	Retilínea	Alta	Paralelo	Média	Média	1,19	5,27	9,13	12,85	14,95	17,81	13,28	23,64	1,88	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00
A05	Vales	Vale em U	Côncava	Baixa	Indeterminado	Baixa	Baixa	17,97	38,60	22,97	9,19	2,74	5,16	0,81	2,42	0,16	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00
A06	Morros	Anguloso	Retilínea	Alta	Paralelo	Alta	Média	1,19	9,49	21,01	16,29	14,10	13,82	9,07	14,49	0,49	0,00	0,00	0,00	0,00	99,98	0,00
A07	Escarpas	Ausente	Retilínea	Média	Paralelo	Baixa	Média	0,63	5,09	16,89	14,15	13,40	13,16	9,07	24,91	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	99,93	0,00
A08	Colinas	Anguloso	Retilínea	Média	Dendrítico	Alta	Média	1,89	10,81	18,12	16,51	15,30	12,73	8,38	15,54	0,73	0,00	0,00	9,32	17,13	73,55	0,00
A09	Colinas	Anguloso	Convexa	Média	Paralelo	Baixa	Média	2,42	13,08	22,32	18,31	15,39	11,59	7,64	9,03	0,22	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00
A10	Morros	Anguloso	Retilínea	Alta	Dendrítico	Média	Baixa	1,51	9,31	17,89	15,04	13,53	12,21	9,11	20,36	1,03	0,00	0,00	99,89	0,00	0,11	0,00
B01	Escarpas	Ausente	Côncava	Alta	Dendrítico	Média	Alta	0,47	3,58	10,02	9,62	12,52	11,99	10,91	34,62	6,26	0,00	0,00	0,00	0,15	99,85	0,00
B02	Colinas	Anguloso	Retilínea	Alta	Dendrítico	Baixa	Baixa	0,85	4,87	15,63	17,94	17,98	16,04	9,41	16,65	0,62	0,00	0,00	0,00	0,17	99,83	0,00
B03	Escarpas	Ausente	Retilínea	Média	Dendrítico	Alta	Média	0,54	4,58	14,54	11,39	11,10	9,79	7,89	34,75	5,42	0,00	0,00	0,00	0,00	99,72	0,00
B04	Morrotos	Anguloso	Retilínea	Média	Dendrítico	Alta	Alta	0,79	4,12	12,88	12,03	11,46	11,09	8,07	34,21	5,35	0,00	0,00	41,58	58,42	0,00	0,00
B05	Vales	Vale em U	Retilínea	Alta	Dendrítico	Baixa	Alta	0,86	4,62	12,31	9,78	10,79	10,72	8,67	35,47	6,77	0,00	0,00	99,73	0,27	0,00	0,00
B06	Escarpas	Ausente	Retilínea	Alta	Dendrítico	Baixa	Baixa	0,20	2,21	5,51	6,36	10,00	10,00	7,29	42,11	12,44	0,00	0,00	0,33	99,51	0,16	0,00
B07	Morros	Anguloso	Retilínea	Alta	Paralelo	Baixa	Média	0,26	5,98	16,93	14,76	12,79	8,49	6,81	28,95	5,00	0,00	0,00	99,56	0,44	0,00	0,00
C01	Escarpas	Ausente	Retilínea	Alta	Dendrítico	Baixa	Média	0,57	2,01	6,25	9,02	16,18	14,36	12,98	36,78	1,84	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00
C02	Colinas	Anguloso	Retilínea	Alta	Paralelo	Média	Baixa	1,59	5,62	10,33	15,43	17,64	16,10	11,53	20,90	0,86	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00
C03	Colinas	Anguloso	Retilínea	Alta	Paralelo	Baixa	Baixa	1,45	6,49	18,91	18,69	8,71	8,92	8,07	23,52	5,25	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00
C04	Escarpas	Ausente	Retilínea	Alta	Paralelo	Média	Média	0,38	2,52	5,82	8,06	9,54	12,01	12,17	42,44	7,07	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00
D01	Escarpas	Ausente	Côncava	Média	Dendrítico	Média	Baixa	5,66	14,29	28,05	18,09	15,34	10,08	3,59	4,88	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
D02	Escarpas	Ausente	Convexa	Alta	Paralelo	Média	Alta	0,41	2,83	7,99	11,38	13,09	12,77	10,24	31,94	9,35	0,17	0,00	0,11	0,04	99,69	0,00
D03	Escarpas	Ausente	Côncava	Alta	Paralelo	Baixa	Alta	0,71	2,56	5,86	5,76	10,18	12,40	10,57	37,74	14,22	99,66	0,00	0,00	0,00	0,34	0,00
D04	Escarpas	Ausente	Retilínea	Alta	Paralelo	Alta	Alta	0,23	2,38	7,41	9,56	11,50	12,88	10,18	34,76	11,10	99,75	0,00	0,00	0,00	0,25	0,00
D05	Colinas	Anguloso	Convexa	Média	Paralelo	Média	Média	4,05	14,17	21,81	18,89	15,41	11,30	6,16	7,97	0,24	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
D06	Vales	Vale em U	Côncava	Baixa	Indeterminado	Baixa	Baixa	11,62	29,55	26,78	16,09	7,63	5,92	1,09	1,32	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
D07	Morros	Anguloso	Retilínea	Alta	Dendrítico	Baixa	Média	1,15	8,08	17,64	17,43	19,54	13,84	9,74	12,34	0,23	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
D08	Vales	Vale em U	Convexa	Baixa	Indeterminado	Baixa	Baixa	27,34	31,27	14,16	9,25	11,99	2,90	0,86	1,94	0,30	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
D09	Escarpas	Ausente	Convexa	Média	Dendrítico	Baixa	Baixa	0,47	6,06	10,64	12,95	18,82	18,18	10,64	20,48	1,75	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
D10	Morrotos	Anguloso	Retilínea	Alta	Paralelo	Baixa	Alta	0,81	3,42	7,55	10,62	17,39	14,11	12,18	26,98	6,93	0,04	99,96	0,00	0,00	0,00	0,00

Unidade de Terreno	Mapa de Materiais Inconsolidados (Percentual de Cada Unidade)																				
	Unidade 01	Unidade 02	Unidade 03	Unidade 04	Unidade 05	Unidade 06	Unidade 07	Unidade 08	Unidade 09	Unidade 10	Unidade 11	Unidade 12	Unidade 13	Unidade 14	Unidade 15	Unidade 16	Unidade 17	Unidade 18	Unidade 19	Unidade 20	Unidade 21
A01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
A02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
A03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	99,97	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
A04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
A05	99,92	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
A06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
A07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
A08	0,00	0,00	4,14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	9,33	0,00	0,00	12,99	0,00	10,76	0,00	0,00	0,00	3,14	59,65	0,00
A09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00
A10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
B01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	99,99	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
B02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,17	0,00	0,00	0,00	0,00	99,83	0,00	0,00	0,00
B03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	99,86	0,00	0,00	0,00	0,00	0,14	0,00	0,00	0,01
B04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	41,37	0,06	0,00	50,84	7,73	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
B05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10,79	89,10	0,00	0,03	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
B06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06	0,21	0,00	3,66	96,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
B07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	99,82	0,00	0,00	0,18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
C01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
C02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
C03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00
C04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	23,58	0,00	76,42	0,00	0,00	0,00
D01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
D02	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
D03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
D04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
D05	0,00	4,91	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	95,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
D06	0,00	0,00	0,0																		

**ANEXO X – RELAÇÃO ENTRE AS UNIDADES
GEOAMBIENTAIS E OS DIVERSOS
ATRIBUTOS DO MEIO FÍSICO
LEVANTADOS**

RELAÇÃO ENTRE AS UNIDADES GEOAMBIENTAIS E OS DIVERSOS ATRIBUTOS DO MEIO FÍSICO LEVANTADOS (ANEXO X)

Unidades Geambientais	Feições de Relevô	Carta de Declividades (Percentual de Cada Classe)										Mapa de Substrato Rochoso (Percentual de Cada Unidade)
		< 2%	2 a 5%	5 a 10%	10 a 15%	15 a 20%	20 a 25%	25 a 30%	30 a 47%	> 47 %		
Geo01	Colinas	1,54	8,67	20,24	20,22	14,97	12,46	7,36	13,28	1,27	Predomínio de Migmatitos Graníticos e Estromatíficos (99,93 %).	
Geo02	Escarpas	0,38	2,52	5,82	8,06	9,54	12,01	12,17	42,44	7,07	Migmatitos Graníticos e Estromatíficos (100,00 %).	
Geo03	Morros	1,19	9,49	21,01	16,29	14,10	13,82	9,07	14,49	0,49	Predomínio de Migmatitos Graníticos e Estromatíficos (99,98 %).	
Geo04	Colinas	1,95	11,06	18,60	16,72	15,31	12,60	8,29	14,80	0,67	Charnockitos (8,26 %), Granulitos Quartzo-feldspáticos (15,18 %) e Migmatitos Graníticos e Estromatíficos (76,56 %).	
Geo05	Morros, Escarpas e Colinas	1,05	5,05	12,42	13,04	13,32	13,70	11,13	27,37	2,93	Predomínio de Migmatitos Graníticos e Estromatíficos (99,94 %).	
Geo06	Vales	17,98	38,63	22,98	9,19	2,74	5,16	0,81	2,34	0,16	Migmatitos Graníticos e Estromatíficos (100,00 %).	
Geo07	Escarpas	0,41	2,83	7,99	11,38	13,09	12,77	10,24	31,94	9,35	Predomínio de Migmatitos Graníticos e Estromatíficos (99,69 %).	
Geo08	Morrotos	0,81	3,38	7,56	10,63	17,40	14,12	12,19	26,99	6,93	Nefelina Sienitos (100,00 %).	
Geo09	Morros	1,51	9,31	17,89	15,04	13,53	12,21	9,11	20,36	1,03	Predomínio de Charnockitos (99,89 %).	
Geo10	Vales	0,86	4,62	12,31	9,78	10,79	10,72	8,67	35,47	6,77	Predomínio de Charnockitos (99,73 %).	
Geo11	Morros	0,26	5,98	16,93	14,76	12,79	8,49	6,81	28,95	5,00	Predomínio de Charnockitos (99,56 %).	
Geo12	Escarpas	0,54	4,58	14,54	11,39	11,10	9,79	7,89	34,75	5,42	Predomínio de Granulitos Quartzo-feldspáticos (99,72 %).	
Geo13	Escarpas	0,20	2,21	5,51	6,36	10,00	11,78	9,39	42,11	12,44	Predomínio de Granulitos Quartzo-feldspáticos (99,51 %).	
Geo14	Morrotos	0,79	4,12	12,88	12,03	11,46	11,09	8,07	34,21	5,35	Charnockitos (41,58 %) e Granulitos Quartzo-feldspáticos (58,42 %).	
Geo15	Colinas	4,05	14,17	21,81	18,89	15,41	11,30	6,16	7,97	0,24	Nefelina Sienitos (100,00 %).	
Geo16	Escarpas	0,57	2,01	6,25	9,02	16,18	14,36	12,98	36,78	1,84	Migmatitos Oftalmíticos (100,00 %).	
Geo17	Escarpas e Morros	2,80	10,36	21,46	17,68	18,00	12,46	7,48	9,60	0,15	Fonolitos e Tinguaitos (100,00 %).	
Geo18	Vales	27,34	31,27	14,16	9,25	11,99	2,90	0,86	1,94	0,30	Fonolitos e Tinguaitos (100,00 %).	
Geo19	Vales	11,62	29,55	26,78	16,09	7,63	5,92	1,09	1,32	0,00	Fonolitos e Tinguaitos (100,00 %).	
Geo20	Escarpas	0,31	2,41	7,16	8,95	11,29	12,80	10,24	35,24	11,60	Predomínio de Fonolitos e Tinguaitos (99,73 %).	
Geo21	Escarpas	0,47	6,11	10,64	12,94	18,81	18,17	10,64	20,47	1,75	Fonolitos e Tinguaitos (100,00 %).	

Unidades Geambientais	Mapa de Materiais Inconsolidados (Percentual de Cada Unidade)
Geo01	Predomínio da Unidade 18 - Materiais residuais de migmatitos graníticos e estromatíficos pertencentes ao grupo textural V (99,93 %).
Geo02	Unidade 16 - Materiais residuais de migmatitos graníticos e estromatíficos pertencentes ao grupo textural III (23,58 %); Unidade 18 - Materiais residuais de migmatitos graníticos e estromatíficos pertencentes ao grupo textural V (76,42 %).
Geo03	Unidade 17 - Materiais residuais de migmatitos graníticos e estromatíficos pertencentes ao grupo textural IV (100,00 %).
Geo04	Unidade 03 - Materiais retrabalhados pertencentes ao grupo textural I de origem coluvionar (3,67 %); Unidade 10 - Materiais residuais de chanockitos pertencentes ao grupo textural V (8,27 %); Unidade 13 - Materiais residuais de granulitos quartzo-feldspáticos pertencentes ao grupo textural V (11,51 %); Unidade 15 - Materiais residuais de migmatitos graníticos e estromatíficos pertencentes ao grupo textural II (9,53 %); Unidade 19 - Materiais residuais de migmatitos graníticos e estromatíficos pertencentes ao grupo textural VII (2,78 %); Unidade 20 - Materiais residuais de migmatitos graníticos e estromatíficos pertencentes aos grupos textural IV, V e VI (64,24 %).
Geo05	Predomínio da Unidade 16 - Materiais residuais de migmatitos graníticos e estromatíficos pertencentes ao grupo textural III (99,99 %).
Geo06	Unidade 01 - Materiais retrabalhados pertencentes ao grupo textural I de origem aluvionar (100,00 %).
Geo07	Unidade 03 - Materiais retrabalhados pertencentes ao grupo textural I de origem coluvionar (100,00 %).
Geo08	Unidade 03 - Materiais retrabalhados pertencentes ao grupo textural I de origem coluvionar (100,00 %).
Geo09	Unidade 09 - Materiais residuais de chanockitos pertencentes ao grupo textural III (100,00 %).
Geo10	Unidade 09 - Materiais residuais de chanockitos pertencentes ao grupo textural III (10,79 %); Unidade 10 - Materiais residuais de chanockitos pertencentes ao grupo textural V (89,10 %).
Geo11	Predomínio da Unidade 11 - Materiais residuais de chanockitos pertencentes ao grupo textural VI (99,82 %).
Geo12	Predomínio da Unidade 13 - Materiais residuais de granulitos quartzo-feldspáticos pertencentes ao grupo textural V (99,86 %).
Geo13	Unidade 12 - Materiais residuais de granulitos quartzo-feldspáticos pertencentes ao grupo textural III (3,66 %); Unidade 13 - Materiais residuais de granulitos quartzo-feldspáticos pertencentes ao grupo textural V (96,06 %).
Geo14	Unidade 10 - Materiais residuais de chanockitos pertencentes ao grupo textural V (41,37 %); Unidade 13 - Materiais residuais de granulitos quartzo-feldspáticos pertencentes ao grupo textural V (50,84 %); Unidade 14 - Materiais residuais de granulitos quartzo-feldspáticos pertencentes ao grupo textural VI (7,73 %).
Geo15	Unidade 02 - Materiais retrabalhados pertencentes ao grupo textural VI de origem aluvionar (4,91 %); Unidade 08 - Materiais residuais de nefelina sienitos pertencentes ao grupo textural III (95,09 %).
Geo16	Unidade 21 - Materiais residuais de migmatitos oftalmíticos pertencentes ao grupo textural III (100,00 %).
Geo17	Predomínio da Unidade 06 - Materiais residuais de fonolitos e tinguaitos pertencentes ao grupo textural VII (99,98 %).
Geo18	Unidade 06 - Materiais residuais de fonolitos e tinguaitos pertencentes ao grupo textural VII (100,00 %).
Geo19	Unidade 05 - Materiais residuais de fonolitos e tinguaitos pertencentes ao grupo textural IV (100,00 %).
Geo20	Unidade 07 - Materiais residuais de fonolitos e tinguaitos pertencentes ao grupo textural VIII (100,00 %).
Geo21	Predomínio da Unidade 04 - Materiais residuais de fonolitos e tinguaitos pertencentes ao grupo textural III (99,94 %).

Unidades Geambientais	Mapa de Uso e Ocupação (Percentual de Cada Unidade)					Carta de Potencial Agrícola (Percentual de Cada Classe)						Altimetria (m)			Canais de Drenagem		
	Mata Nativa	Pastagem	Solo Exposto	Café	Zona Urbana	Favorável	Moderada	Severa	Restritiva	Proibida	Cota Mínima	Cota Máxima	Amplitude	Número de Canais	Área da Unidade Geoambiental (km2)	Densidade de Drenagem (canais/km2)	
Geo01	22,18	48,09	2,85	22,34	0,00	15,77	41,26	16,07	0,00	26,90	849	1398	549	9	11,33	0,79	
Geo02	20,76	40,33	5,01	32,22	0,00	4,76	70,43	0,00	0,00	24,81	874	1425	551	18	5,89	3,06	
Geo03	25,51	49,09	1,89	15,70	0,00	13,64	51,05	0,00	0,00	35,32	873	1042	169	22	5,50	4,00	
Geo04	16,57	54,58	3,79	22,75	0,66	23,35	57,40	2,79	1,11	15,35	871	1292	421	512	192,98	2,65	
Geo05	14,17	56,86	4,87	21,60	0,00	9,96	66,69	0,01	0,00	23,34	873	1326	453	97	33,23	2,92	
Geo06	9,60	82,42	0,97	7,02	0,00	0,00	49,35	24,19	0,00	26,45	929	979	50	5	1,11	4,49	
Geo07	12,93	34,07	3,25	49,02	0,00	0,00	29,34	49,99	0,00	20,67	919	1551	632	55	29,20	1,88	
Geo08	18,83	34,36	1,49	41,93	0,00	0,00	34,90	50,34	0,00	14,76	918	1406	488	9	4,33	2,08	
Geo09	17,59	44,43	3,22	32,27	0,00	22,13	55,22	0,00	0,00	22,65	873	1054	181	140	34,17	4,10	
Geo10	26,67	37,16	1,33	34,74	0,00	8,93	63,71	7,08	0,00	20,27	930	1367	437	41	13,35	3,07	
Geo11	9,30	41,84	5,13	40,32	0,00	10,77	61,19	0,00	0,00	28,04	877	1083	206	13	3,47	3,75	
Geo12	17,05	36,87	2,59	42,70	0,00	10,49	71,32	0,12	0,00	18,07	879	1427	548	42	12,43	3,38	
Geo13	12,52	34,75	0,85	51,44	0,00	0,58	20,74	54,39	0,00	24,29	933	1485	552	27	9,74	2,77	
Geo14	12,09	50,58	4,47	31,10	0,00	7,33	66,66	0,00	0,00	26,02	874	1425	551	74	25,81	2,87	
Geo15	18,24	52,77	1,05	4,17	21,68	36,81	49,84	2,43	0,00	10,92	1191	1504	313	83	47,21	1,76	
Geo16	24,14	44,61	2,24	28,58	0,00	9,13	79,58	0,00	0,00	11,29	977	1372	395	12	5,22	2,30	
Geo17	8,83	50,78	0,08	1,68	37,27	19,09	69,67	0,00	0,00	11,23	1191	1434	243	23	11,73	1,96	
Geo18	6,58	7,38	0,00	0,05	85,99	54,95	28,85	0,00	0,00	16,20	1118	1307	189	7	3,57	1,96	
Geo19	21,05	67,01	0,00	0,64	7,50	0,00	78,95	7,76	0,00	13,29	1238	1332	94	6	2,79	2,15	
Geo20	54,63	16,36	0,53	16,93	11,49	0,00	26,70	53,91	0,00	19,39	992	1636	644	35	26,00	1,35	
Geo21	61,06	29,78	0,00	7,42	0,00	0,00	44,53	46,53	0,00	8,94	918	1406	488	9	3,23	2,78	