**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA**

**ELABORAÇÃO DE CARTA DE SUSCEPTIBILIDADE À EROSÃO DAS
BACIAS DOS RIOS ARARAQUARA E CUBATÃO-SP, ESCALA 1:50.000**

VOLUME 01

Geól. LEONARDO LUIZ LYRIO DA SILVEIRA

Dissertação apresentada à Escola de Engenharia
de São Carlos da Universidade de São Paulo,
como parte dos requisitos para a obtenção do
título de Mestre em Geotecnia.

ORIENTADOR: Prof. Dr. Osni José Pejon

São Carlos – SP

2002

*Dedico este trabalho ao meu pai Luiz Goulart da Silveira
à minha mãe Zenyra Lyrio da Silveira, à minha irmã Leila (in
memorian) e a minha esposa Juliana.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus que sempre esteve do meu lado em toda esta etapa de aprendizado.

Ao professor Osni José Pejon pela valiosa orientação, paciência e rigor nas correções que foram necessárias.

Ao professor Lázaro Valentin Zuquette pelo auxílio na execução deste trabalho.

À CAPES pela bolsa de estudos concedida.

Aos técnicos do Departamento de Geotecnia, em especial ao Oscar e Zé Luis. Muito obrigado

Ao Sr. Herivelto Moreira de Souza pela atenção, companheirismo e amizade.

Aos colegas da pós-graduação em especial ao Igor, Rogério, Holden, Gilvana, Sandra, Adilson, Paulo Lopes, Miguel e Silvana. Valeu...

A Dona Rosa pela amizade, incentivo e pelo cafezinho que muito ajudou nas horas de cansaço.

Aos funcionários da secretaria da Pós graduação Álvaro, Neiva, Maristela, Toninho pela boa vontade, disposição em ajudar e companheirismo ao longo destes anos.

Ao meu grande amigo e irmão Marcello da Silveira Vaz pela sincera amizade e auxílio na execução deste trabalho.

Aos meus sogros (e amigos) José e Conceição que muito fizeram para que este trabalho fosse terminado. Muito obrigado.

A minha esposa e grande amiga Juliana pelo amor e dedicação nesta importante etapa da minha vida.

A todos que, de algumas forma, me ajudaram em terminar este trabalho.

SUMÁRIO

VOLUME 1

LISTA DE FIGURAS	i
LISTA DE TABELAS	vii
RESUMO	ix
ABSTRACT	x
1. INTRODUÇÃO	01
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	03
2.1. INTEMPERISMO E PERFIL DE ALTERAÇÃO	03
2.2. CLASSIFICAÇÃO DE PERFIS DE ALTERAÇÃO	04
2.2.1. CLASSIFICAÇÃO DE PERFIS DE ALTERAÇÃO DE USO GERAL	05
2.2.2. CLASSIFICAÇÃO DE PERFIS DE ALTERAÇÃO EM REGIÕES TROPICAIS	07
2.3. EROSÃO	13
2.3.1. CONCEITOS GERAIS	13
2.3.2. FATORES INTERVENIENTES NO PROCESSO EROSIVO	15
2.3.3. ENSAIOS REL. À DETERM. DA ERODIBILIDADE EM LABORATÓRIO	26
2.3.4. EROSÃO HÍDRICA: LAMINAR E LINEAR	32
2.4. <i>LANDFORMS</i>	38
2.4.1. CONCEITUAÇÃO DE <i>LANDFORMS</i>	38
2.4.2. LINHAS DE ESTUDO DAS FORMAS DE RELEVO	40
2.4.3. AVALIAÇÃO DO TERRENO	41
2.4.4. APLICAÇÕES DA TÉCNICA	42
2.4.5. USO DA AVALIAÇÃO DO TERRENO PARA FINS GEOTÉCNICOS	43
2.4.6. EVOLUÇÃO DAS FORMAS DO RELEVO EM CLIMA TROPICAL	44
2.4.7. APLICAÇÃO DA AVAL. DO TERRENO PARA FINS GEOTÉCNICOS NO BRASIL	45
2.4.8. RECONHECIMENTO DE <i>LANDFORMS</i>	45

2.5. MAPEAMENTO GEOTÉCNICO	48
2.5.1. CONCEITOS	48
2.5.2. PRINCÍPIOS QUE REGEM O MAPEAMENTO GEOTÉCNICO	49
2.5.3. PRINCIPAIS METODOLOGIAS DE MAPEAMENTO	50
2.5.4. ELABORAÇÃO DE CARTAS DE SUSCEPTIBILIDADE À EROSÃO	51
2.6. SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS (SIG)	53
2.6.1. CONCEITOS BÁSICOS	53
2.6.2. FONTES DE DADOS E ESTRUTURAS DE REPRESENTAÇÃO	56
2.6.3. INTEGRAÇÃO SENSORIAMENTO REMOTO E SIG	60
2.6.4. EXEMPLOS DE UTILIZAÇÃO DE SIG EM ESTUDOS DE EROSÃO E USO DA TERRA	62
2.6.5. PRINCIPAIS SIGs E SUAS CARACTERÍSTICAS	64
3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA	65
3.1. LOCALIZAÇÃO	65
3.2. CLIMA	66
3.3. VEGETAÇÃO	67
3.4. GEOLOGIA REGIONAL	67
3.5. GEOMORFOLOGIA	67
4. ASPECTOS METODOLÓGICOS E PROCEDIMENTOS DE ANÁLISE	69
4.1. METODOLOGIA	69
4.2. PROCEDIMENTOS	70
4.2.1. REVISÃO BIBL. E LEVANTAMENTO DE DADOS EXISTENTES	70
4.2.2. ETAPAS DE CAMPO	70
4.2.3. ENSAIOS DE LABORATÓRIO	73
4.2.4. ANÁLISE, AVALIAÇÃO E CRUZAMENTO DOS DADOS	74
5. DOCUMENTOS CARTOGRÁFICOS GERADOS	76
5.1. MAPA DE DOCUMENTAÇÃO (ANEXO 1)	76
5.2. CARTA DE DECLIVIDADE (ANEXO 2)	77
5.3. MAPA DE USO E OCUPAÇÃO (ANEXO 3)	79
5.4. MAPA DE MATERIAIS INCONSOLIDADOS (ANEXO 4)	82
5.5. MAPA DE SUBSTRATO ROCHOSO (ANEXO 5)	84

5.6. MAPA DE UNIDADES DE RELEVO (ANEXO 6)	86
---	----

6. ANÁLISE INTEGRADA DOS ATRIBUTOS DO MEIO FÍSICO EM FUNÇÃO

DE SUAS UNIDADES DE RELEVO	87
6.1. UNIDADE 01	88
6.2. UNIDADE 02	91
6.3. UNIDADE 03	93
6.4. UNIDADE 04	96
6.5. UNIDADE 05	98
6.6. UNIDADE 06	101
6.7. UNIDADE 07	104
6.8. UNIDADE 08	107
6.9. UNIDADE 09	110
6.10. UNIDADE 10	114
6.11. UNIDADE 11	117
6.12. UNIDADE 12	120
6.13. UNIDADE 13	124
6.14. UNIDADE 14	127
6.15. UNIDADE 15	131
6.16. UNIDADE 16	134
6.17. UNIDADE 17	136
6.18. UNIDADE 18	139
6.19. UNIDADE 19	142
6.20. UNIDADE 20	144
6.21. UNIDADE 21	147

7. DETERMINAÇÃO DA ERODIBILIDADE DOS MATERIAIS INCONSOLIDADOS

7.1. FATORES QUE MAIS INFLENCIAM NA ERODIBILIDADE DOS SOLOS	152
7.2. ANÁLISE DAS RELAÇÕES ENTRE O ÍNDICE DE ERODIBILIDADE (E) E OUTROS ATRIBUTOS	154
7.3. ANÁLISE DAS FEIÇÕES EROSIVAS EM FUNÇÃO DOS RESULTADOS DOS ENSAIOS DE LABORATÓRIO	159

8. ELABORAÇÃO DA CARTA DE SUSCEPTIBILIDADE À EROSÃO	162
8.1 INSERÇÃO DA IMAGEM VETORIAL NO <i>IDRISI</i> E TRATAMENTOS PRELIMINARES	162
8.2 PROCESSAMENTO E ANÁLISE DOS DADOS	164
8.3 ANÁLISE PONDERADA DOS ATRIBUTOS	166
8.4 ANÁLISE MULTICRITERIAL	168
8.4 IDENTIFICAÇÃO DAS CLASSES DE SUSCEPTIBILIDADE À EROSÃO EM FUNÇÃO DOS TIPOS DE USO E OCUPAÇÃO DA REGIÃO	171
9. CONSIDERAÇÕES FINAIS	173
10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	176

VOLUME 2

ANEXO 1 - MAPA DE DOCUMENTAÇÃO;

ANEXO 2 - CARTA DE DECLIVIDADE;

ANEXO 3 - MAPA DE USO E OCUPAÇÃO;

ANEXO 4 - MAPA DE MATERIAIS INCONSOLIDADOS;

ANEXO 5 - MAPA DE SUBSTRATO ROCHOSO;

ANEXO 6 - MAPA DE UNIDADES DE RELEVO;

ANEXO 7 – CARTA DE SUSCEPTIBILIDADE À EROSÃO.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 2.1 – Forma de ocorrência dos principais tipos de solos transportados (VAZ, 1996)	09
FIGURA 2.2 – Declividades em encostas convexa e côncava (RODRIGUES, 1982)	17
FIGURA 2.3 - Classificação de formas de encostas segundo TROEH (1965)	18
FIGURA 2.4 – Nomógrafo de erodibilidade do solo (WISCHMEIER, 1973)	20
FIGURA 2.5 – Componentes esquemáticos do balanço hidrológico próximo à superfície (Modificado de CARSON & KIRKBY, 1975)	22
FIGURA 2.6 – Esquema do ensaio de absorção de água (NOGAMI & VILLIBOR, 1981)	28
FIGURA 2.7 - Foto aérea evidenciando feições de erosão hídrica linear (CORBIS-2000)	32
FIGURA 2.8 – Talude às margens de uma rodovia com erosão em sulcos (CORBIS-2000)	33
FIGURA 2.9 – Tipologia de boçorocas (segundo OLIVEIRA & MEIS, 1985)	36
FIGURA 2.10 – Esquema dos procedimentos empregados para caracterização de uma área para fins de uso e ocupação por meio da utilização da técnica de Avaliação de Terreno (LOLLO, 1996)	40
FIGURA 2.11 – Base de dados espaciais (TEIXEIRA <i>et al</i> , 1992)	53
FIGURA 2.12 – Conceito lógico de SIG (TEIXEIRA <i>et al</i> , 1992)	53
FIGURA 2.13– Forma de representação dos dados (GARCIA, 1982)	56
FIGURA 2.14 – Rasterização dos diferentes temas de estudo (TEIXEIRA <i>et al</i> , 1992)	57
FIGURA 2.15 – Exemplo de modelo digital de terreno (CORBIS-2000)	57
FIGURA 2.16 – Estrutura vetorial em rede (TEIXEIRA <i>et al</i> , 1992)	58
FIGURA 3.1 – Localização da área estudada	65
FIGURA 3.2 - Articulação dos mapas topográficos (1:50.000) que compõem a Bacia do Rio Pardo no Estado de São Paulo.	66
FIGURA 3.3 – Localização dos principais sistemas geomorfológicos existentes na área de estudo (modificado de IPT/CBH-PARDO, 2000)	68
FIGURA 4.1 – Procedimento metodológico empregado na pesquisa (modificado de ZUQUETTE, 1993)	69
FIGURA 4.2 – Modelo de ficha de campo utilizado na pesquisa	71
FIGURA 4.3 – Modelo de ficha de sondagem a trado utilizado na pesquisa	72
FIGURA 4.4 - Execução de sondagem a trado	73
FIGURA 4.5 – Coleta de amostra indeformada em anel	73
FIGURA 5.1 - Mapa de documentação da área de estudo (escala original 1:50.000)	76

FIGURA 5.2 – Mapa de sombra criado no SURFER 7.0 com a localização das unidades de relevo. Notar que, na maioria dos casos, os contrastes de textura confirmam a separação dos mesmos	78
FIGURA 5.3 – Mapa de declividade da área de estudo (escala original 1:50.000)	79
FIGURA 5.4 - Aparência das classes de uso e ocupação nas imagens de satélite a partir das bandas 4,5 e 3	81
FIGURA 5.5 – Mapa de uso e ocupação da área de estudo (escala original 1:50.000)	82
FIGURA 5.6 – Mapa de materiais inconsolidados da área de estudo (escala original 1:50.000)	84
FIGURA 5.7 - Mapa de substrato rochoso da área de estudo (escala original 1:50.000)	86
FIGURA 5.8 - Mapa de unidades de relevo da área de estudo (escala original 1:50.000)	87
FIGURA 6.1 – Localização das Unidades de Relevo e dos perfis topográficos	88
FIGURA 6.2 – Ocorrência da unidade 1 na área estudada	89
FIGURA 6.3 - Par estereoscópico contendo a unidade 1	90
FIGURA 6.4 – Encosta típica da unidade 1	90
FIGURA 6.5 - Perfil E-F com a ocorrência da unidade 1	90
FIGURA 6.6 – Curvas granulométricas referentes à Unidade 1	91
FIGURA 6.7 – Corte de estrada mostrando o tipo de solo que ocorre na Unidade 1	92
FIGURA 6.8 – Ocorrência da unidade 2 na área estudada	92
FIGURA 6.9 – Par estereoscópico referente à unidade 2	93
FIGURA 6.10 – Delimitação da unidade 2	93
FIGURA 6.11 - Perfil S-T com a ocorrência da unidade 2	93
FIGURA 6.12 – Arenito Botucatu aflorante	94
FIGURA 6.13 – Disposição da Unidade 3 na área estudada	94
FIGURA 6.14 – Par estereoscópico mostrando o relevo da unidade 3	95
FIGURA 6.15 – Ocorrência da unidade 3. Notar unidade 2 como limite superior	95
FIGURA 6.16 – Perfil E-F mostrando a ocorrência da unidade 3	95
FIGURA 6.17 – Curvas granulométricas obtidas na unidade 3	96
FIGURA 6.18– Perfil de alteração da unidade 3. Notar coloração típica de latossolo sobre o arenito Botucatu	97
FIGURA 6.19 – Localização da unidade 4	97
FIGURA 6.20 – Par estereoscópico contendo a unidade 4	98
FIGURA 6.21 – Área com baixa declividade, associado à planície de inundação	98

FIGURA 6.22 – Perfil U-V mostrando a ocorrência da unidade 4	98
FIGURA 6.23 – Localização da unidade 5	99
FIGURA 6.24 – Par estereoscópico contendo a unidade 5	100
FIGURA 6.25 – Encostas convexas. Forma de relevo típica da unidade 5	100
FIGURA 6.26 – Perfil M-N mostrando as características da Unidade 5	100
FIGURA 6.27 – Curvas granulométricas das amostras coletadas na unidade 5	101
FIGURA 6.28 – Ravinamentos no material inconsolidado residual jovem da unidade 5	102
FIGURA 6.29 – Arenito Pirambóia pouco alterado, comum na unidade 5	102
FIGURA 6.30 - Localização da unidade 6	103
FIGURA 6.31 – Estereopares contendo a unidade 6	103
FIGURA 6.32 – Forma de relevo encontrada na unidade 6	103
FIGURA 6.33 – Perfil I-J mostrando a simetria entre as formas de relevo da unidade 6	104
FIGURA 6.34 – Curva granulométrica da amostra coletada na unidade 6	104
FIGURA 6.35 – Localização da unidade 7 na área estudada	105
FIGURA 6.36 – Estereopares contendo a unidade 7	106
FIGURA 6.37 – Encosta típica da unidade 7	106
FIGURA 6.38 - Perfil Y-Z caracterizando a unidade 7	106
FIGURA 6.39- Curvas granulométricas das amostras referentes à unidade 7	108
FIGURA 6.40 – Blocos de diabásio com decomposição esferoidal, comum na unidade 7	108
FIGURA 6.41 – Localização da unidade 8	109
FIGURA 6.42 – Estereopares contendo a unidade 8	109
FIGURA 6.43 – Perfil K-L mostrando ocorrência da unidade 8	109
FIGURA 6.44 – Curvas granulométricas das amostras coletadas na unidade 8	110
FIGURA 6.45 – Localização da unidade 9	111
FIGURA 6.46 – Estereopares contendo a unidade 9	112
FIGURA 6.47 - Forma de relevo típica da unidade 9	112
FIGURA 6.48 – Caracterização, em perfil, da unidade 9	112
FIGURA 6.49 – Curvas granulométricas dos materiais encontrados na unidade 9	113
FIGURA 6.50 - Erosão desenvolvida no material transportado da unidade 9	114
FIGURA 6.51 – Nível conglomerático de ocorrência comum no material transportado presente na unidade 9	114
FIGURA 6.52 - Boçoroca desenvolvida no material residual pertencente à unidade 9	114
FIGURA 6.53 – Localização da unidade 10 na área de estudo	115
FIGURA 6.54 – Estereopares mostrando a unidade 10	116

FIGURA 6.55 – Delimitação da unidade 10	116
FIGURA 6.56 - Perfil I-J apresentando ocorrência da unidade 10	116
FIGURA 6.57 – Curvas granulométricas referentes a amostras coletadas na unidade 10	117
FIGURA 6.58 – Solo residual da unidade 10	118
FIGURA 6.59 – Ocorrência da unidade 11	118
FIGURA 6.60 – Par estereoscópico mostrando a unidade 11	119
FIGURA 6.61 – Formas de encosta típica da unidade 11	119
FIGURA 6.62 – Perfil S-T mostrando ocorrência da unidade 11	119
FIGURA 6.63 – Curvas granulométricas caracterizando os dois principais tipos de material inconsolidado que ocorrem na unidade 11	120
FIGURA 6.64 – Drenagem instalada em <i>sill</i> de diabásio	121
FIGURA 6.65 – Ocorrência da unidade 12 na área estudada	122
FIGURA 6.66 – Par estereoscópico contendo a unidade 12	122
FIGURA 6.67 – Forma de relevo típico da unidade 12	122
FIGURA 6.68 – Perfil G-H caracterizando a unidade 12	123
FIGURA 6.69 – Curvas granulométricas referentes a amostras da unidade 12	124
FIGURA 6.70 – Material superficial presente na unidade 12	124
FIGURA 6.71 – Arenito da Formação Pirambóia muito alterado	124
FIGURA 6.72 – Ocorrência da unidade 13	125
FIGURA 6.73 – Par estereoscópico contendo a unidade 13	125
FIGURA 6.74 – Feição de relevo comum na unidade 13	126
FIGURA 6.75 – Perfil A-B, mostrando a unidade 13	126
FIGURA 6.76 – Curvas granulométricas das amostras da unidade 13	127
FIGURA 6.77 – Solo transportado pertencente a unidade 13	127
FIGURA 6.78 - Ocorrência de ravinamento no solo residual da unidade 13	127
FIGURA 6.79 – Ocorrência da unidade 14	128
FIGURA 6.80 – Par estereoscópico contendo a unidade 14	129
FIGURA 6.81 – Forma de encosta comum na unidade 14	129
FIGURA 6.82 – Perfil Q-R contendo a unidade 14	129
FIGURA 6.83 – Curvas granulométricas com as amostras da unidade 14	130
FIGURA 6.84 – Perfil de alteração típico da unidade 14	131
FIGURA 6.85 – Boçoroca verificada na unidade 14	131
FIGURA 6.86 – Retrabalhamento do material erodido e transportado	

boçoroca da unidade 14 indicando franca atividade	132
FIGURA 6.87 – Ocorrência da unidade 15	132
FIGURA 6.88 – Par estereoscópico contendo a unidade 15	133
FIGURA 6.89 – Encosta típica da unidade 15	133
FIGURA 6.90 – Perfil C-D mostrando a ocorrência da unidade 15	133
FIGURA 6.91 – Curvas granulométricas das amostras da unidade 15	134
FIGURA 6.92 – Ocorrência da unidade 16	135
FIGURA 6.93 – Par estereoscópico contendo a unidade 16	135
FIGURA 6.94 – Forma de relevo comum na unidade 16	136
FIGURA 6.95 – Perfil Q-R contendo a unidade 16	136
FIGURA 6.96 – Curvas granulométricas das amostras coletadas na unidade 16	137
FIGURA 6.97 – Ocorrência da unidade 17	137
FIGURA 6.98 – Par estereoscópico contendo a unidade 17	138
FIGURA 6.99 – Relevo típico da unidade 17	138
FIGURA 6.100 – Perfil Q-R mostrando a ocorrência da unidade 17	138
FIGURA 6.101 – Curvas granulométricas das amostras coletadas na unidade 17	139
FIGURA 6.102 – Perfil de alteração da unidade 17	139
FIGURA 6.103 - Localização da unidade 18	140
FIGURA 6.104 - Par estereoscópico referente à unidade 18	141
FIGURA 6.105 – Encosta padrão da unidade 18	141
FIGURA 6.106– Perfil M-N contendo a unidade 18	141
FIGURA 6.107 – Curvas granulométricas das amostras coletadas da unidade 18	142
FIGURA 6.108 – Ocorrência da unidade 19	143
FIGURA 6.109 – Par estereoscópico contendo a unidade 19	143
FIGURA 6.110 – Perfil G-H contendo a unidade 19	144
FIGURA 6.111 – Curvas granulométricas das amostras pertencentes à unidade 19	145
FIGURA 6.112 – Localização da unidade 20	145
FIGURA 6.113 – Par estereoscópico com a ocorrência da unidade 20	146
FIGURA 6.114 – Forma de encosta típica da unidade 20	146
FIGURA 6.115 – Perfil Y-Z que caracteriza a unidade 20	147
FIGURA 6.116 – Curvas granulométricas das amostras pertencentes à unidade 20	147
FIGURA 6.117 – Ocorrência da unidade 21	148
FIGURA 6.118 – Par estereoscópico contendo a unidade 21	149
FIGURA 6.119 – Encosta típica da unidade 21	149

FIGURA 6.120 – Perfil O-P contendo a unidade 21	149
FIGURA 6.121 – Curvas granulométricas das amostras coletadas na unidade 21	150
FIGURA 6.122 – Processo erosivo causado por trilhas de gado no material transportado da unidade 21 (Fazenda Santa Inês)	151
FIGURA 6.123 - Arenito Pirambóia pouco alterado, comum na unidade 21	151
FIGURA 7.1 – Gráfico de Absorção (S) X Perda (P)	154
FIGURA 7.2 - Diferença de comportamento frente à erosão entre os dois materiais Inconsolidados	154
FIGURA 7.3 - Relação entre absorção, perda de massa por imersão e M. E. dos sólidos	156
FIGURA 7.4 - Gráfico de superfície das variáveis absorção, perda de massa por imersão e massa específica dos sólidos	156
FIGURA 7.5 - Relação entre massa específica dos sólidos, porcentagem de finos e CTC	157
FIGURA 7.6 - Relação entre porcentagem de areia, perda de massa por imersão e massa específica dos sólidos	158
FIGURA 7.7 - Relação entre porosidade, perda de massa por imersão e massa específica dos sólidos	159
FIGURA 7.8 – Relação índice de massa específica seca de campo e índice de vazios	159
FIGURA 7.9 – Gráfico de superfície, em função de massa específica dos sólidos, porcentagem de areia e perda de massa por imersão, plotado os valores de erodibilidade	160
FIGURA 8.1 – Comando utilizado na etapa de importação do arquivo .DXF para o <i>IDRISI</i>	164
FIGURA 8.2 – Comando utilizado para a rasterização dos polígonos (vetores)	164
FIGURA 8.3 – Comando utilizado para a inserção de atributos	165
FIGURA 8.4 – Etapa de sobreposição (<i>overlay</i>) dos atributos	165
FIGURA 8.5 – Comando utilizado para a determinação do grau de importância de cada atributo em relação ao processo erosivo	166
FIGURA 8.6 – Comando utilizado na padronização das informações contidas em cada mapa	166
FIGURA 8.7 – Caixa de diálogo para execução do comando <i>Stretch</i>	166
FIGURA 8.8 - Comando utilizado para atribuição prévia dos pesos (<i>weight</i>)	170
FIGURA 8.9 – Definição da matriz de correlação	170
FIGURA 8.10 – Carta de Susceptibilidade à Erosão da área estudada	171

LISTA DE TABELAS

TABELA 2.1a – Comparação entre as principais classificações de perfis de intemperismo	10
TABELA 2.1b – Classificação entre as principais classificações de perfis de intemperismo (continuação)	11
TABELA 2.2 – Agentes causadores de erosão (LAL 1990) <i>apud</i> ALCÂNTARA, (1996)	13
TABELA 2.3 – Fator LS da equação de previsão de perdas de solos para várias combinações de grau de declividade e comprimento de rampa (BERTONI & LOMBARDI NETO, 1985)	16
TABELA 2.4 – Classif. hidrológica do processo de escoamento superficial (HOGG, 1982)	22
TABELA 2.5 – Velocidade terminal de gotas de chuva de vários diâmetros (LAWS, 1941)	24
TABELA 2.6 – Termos utilizados para descrição de unidade de terreno e seus critérios de descrição (LOLLO, 1996)	45
TABELA 2.7 – Critérios de reconhecimento de algumas formas de relevo (LOLLO,1996)	46
TABELA 2.8 –Relação da forma de perfil da encosta e processos associados (LOLLO,1996)	47
TABELA 3.1 – Valores de pluviosidade que ocorrem na área de estudo	66
TABELA 5.1 – Classes de declividade definidas para a área de pesquisa	78
TABELA 5.2 - Determinação das classes de uso o ocupação referentes a área de estudo	81
TABELA 5.3 – Classificação de perfis de alteração adotada para a área de estudo	85
TABELA 6.1. Relação das informações coletadas no campo referente a unidade 1	91
TABELA 6.2. Relação de informações coletadas na unidade 3	96
TABELA 6.3 - Relação das informações coletadas na unidade 5	101
TABELA 6.4 – Informações coletadas na unidade 6	104
TABELA 6.5 – Informações coletadas em campo referentes à unidade 7	107
TABELA 6.6 – Relação de informações coletadas na unidade 8	110
TABELA 6.7 – Relação das informações coletadas na unidade 9	112
TABELA 6.8 – Relação das informações coletadas na unidade 10	116
TABELA 6.9 – Relação das informações coletadas na unidade 11	120
TABELA 6.10 – Relação das informações coletadas na unidade 12	123
TABELA 6.11 – Relação das informações coletadas na unidade 13	126
TABELA 6.12 – Relação das informações coletadas na unidade 14	129
TABELA 6.13 – Informações coletadas na unidade 15	134
TABELA 6.14 – Informações coletadas na unidade 16	136
TABELA 6.15 – Informações coletadas na unidade 17	139

TABELA 6.16 – Informações coletadas na unidade 18	141
TABELA 6.17 – Informações coletadas na unidade 19	144
TABELA 6.18 – Informações coletadas na unidade 20	147
TABELA 6.19 – Relação das informações coletadas na unidade 21	150
TABELA 7.1 – Resultados dos ensaios realizados com amostras indeformadas e deformadas para a determinação da erodibilidade	153
TABELA 7.2 – Caracterização das amostras submetidas ao ensaios de erodibilidade em relação a declividade	161
TABELA 8.1 – Atributos e pesos adotados na reclassificação da Carta de Declividade em vista à geração da Carta de Susceptibilidade à Erosão	167
TABELA 8.2 - Atributos e pesos adotados na reclassificação do Mapa de Materiais Inconsolidados em vista à geração da Carta de Susceptibilidade à Erosão	168
TABELA 8.3 - Atributos e pesos adotados na reclassificação do Mapa de Substrato Rochoso em vista à geração da Carta de Susceptibilidade à Erosão	168
TABELA 8.4 - Atributos e pesos adotados na reclassificação do Mapa de Unidades de Relevo em vista à geração da Carta de Susceptibilidade à Erosão	169
TABELA 8.5 – Pesos obtidos e valor de razão de consistência obtidos a partir do cruzamento dos documentos cartográficos individuais	170

RESUMO

O presente trabalho consistiu na identificação de uma série de atributos do meio físico com o objetivo de gerar uma Carta de Susceptibilidade à Erosão das bacias hidrográficas dos rios Cubatão e Araraquara em escala 1:50.000, ambas pertencentes à bacia do Rio Pardo. Os atributos do meio físico analisados foram o substrato rochoso, os materiais inconsolidados, declividade e uso e ocupação da área. A carta de Susceptibilidade à Erosão visa identificar áreas com diferentes graus de vulnerabilidade frente ao processo erosivo, de forma a facilitar o planejamento do uso e ocupação daquela região. Este estudo foi realizado seguindo as bases conceituais e metodológicas da cartografia geotécnica tradicional.

Nesta pesquisa, foram utilizados Sistemas de Informação Geográfica, tanto para análise de imagens de satélite para um fim específico, quanto para o tratamento dos dados do meio físico obtidos ao longo das etapas do trabalho.

Procurou-se também compreender melhor a propriedade chamada de erodibilidade e identificar quais atributos relacionados com os materiais inconsolidados que mais contribuem para a predisposição do mesmo em ser erodido.

Palavras-chave – Erosão, susceptibilidade, mapeamento geotécnico, erodibilidade, Rio Cubatão, Rio Araraquara, Sistemas de Informação Geográfica, SIG.

ABSTRACT

In this present work many environmental attributes were identified, in order to create a Soil Erosion Susceptibility Chart (1:50.000 scale) for the Cubatão and Araraquara hydrographic basin, which in turn, are part of the greater Pardo River Basin. These attributes were bedrock classification, unconsolidated materials, slope and land use. The Soil Erosion Susceptibility Chart was meant to help the land use management of that particular region by identifying areas with different soil erosion vulnerability. This study was leaded following conceptual and methodological bases from the traditional engineering geological mapping approach.

Geographical Information System (GIS) were applied to analyze satellite images for a specific utilization, as well as for dealing with the environmental data, obtained along all the work stages.

It was intended also to provide a better understanding of the property called “erodibility” and to identify which of the unconsolidated material attributes really contributes to its erosion.

Keywords: Soil erosion, susceptibility, engineering geological mapping, erodibility, Cubatão river, Araraquara river, Geographical Information System (GIS).

1. INTRODUÇÃO

1.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A erosão, produto natural ou associada à ação antrópica (principalmente), é um grave problema ambiental, que causa vários tipos de danos à sociedade. Devido ao seu alto poder destrutivo, promove situações de risco à população, causando prejuízos em diversas áreas das relações humanas. Os efeitos da erosão do solo sobre o Meio Ambiente variam de acordo com os diferentes pontos de vista ou campo específico. A principal preocupação para a ciência do solo é a degradação do solo em termos físicos e químicos, para a agronomia é a redução da fertilidade do solo devido à erosão, e para a qualidade da água e ecologia é a contaminação da água devido aos sedimentos suspensos, pesticidas, fertilizantes, etc. Os sedimentos produzidos pela erosão podem provocar também assoreamentos dos reservatórios e cursos d'água com conseqüente perda da capacidade de armazenamento, causando inundações nos períodos de chuvas intensas. Além desses efeitos, a erosão pode ainda causar deslizamentos de encostas, redução das áreas disponíveis para agricultura ou urbanização, etc.

A ocupação, muitas vezes desordenada, de terras em décadas passadas e a exploração indevida dos recursos naturais sem planejamento e conhecimento de suas reais potencialidades, geraram o desmatamento quase que total da vegetação natural, aumentando a susceptibilidade das vertentes ao processo erosivo.

Tais problemas associados à erosão, antes vistos como locais e de responsabilidade de particulares, passam a ter uma importância regional, principalmente quando os recursos hídricos mostram sinais de deterioração, áreas urbanas começam a sofrer com o avanço de grandes boçorocas e rodovias passam a apresentar limitações construtivas e de conservação associadas a tal processo. A necessidade de assegurar o correto uso da terra, e/ou planejamento urbano/regional, tem levado muitos países a elaborar programas para estudar o meio físico característico de seus territórios.

Embora já se tenha avançado muito no estudo das erosões, principalmente devido a contribuição das inovações tecnológicas verificadas nas últimas décadas, estamos ainda longe da compreensão total das condições de contorno que influem no processo.

Além de uma melhor compreensão dos fatores que influem na erosão, um esforço no sentido de georreferenciar os dados é também de fundamental importância a trabalhos aplicados e multidisciplinares – como geralmente são aqueles que lidam com planejamento e gerenciamento – permitindo cruzar e integrar informações e criar panoramas de situações reais ou previstas.

Os Sistemas de Informação Geográfica (SIG), vêm sendo amplamente utilizados em trabalhos que demandam a articulação de uma grande gama de informações georreferenciadas, sendo capazes de trabalhar de maneira integrada os componentes do meio físico.

1.2. OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é gerar documentos cartográficos que representem características do meio físico consideradas como influentes no processo erosivo e que possam servir de subsídio para a confecção de uma Carta de Susceptibilidade à Erosão visando sua aplicação no planejamento da ocupação e manejo do solo. Visa também caracterizar quais atributos são mais relevantes relacionados com a propriedade dos solos chamada erodibilidade.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O processo erosivo pode ser deflagrado por uma predisponência natural do terreno, devido a um atributo específico ou por um conjunto de variáveis que se interagem resultando no desenvolvimento de ravinas, podendo chegar até estágios mais evoluídos deste processo. Os procedimentos de análise necessários para prever a possibilidade de ocorrência de um processo erosivo envolvem várias áreas do conhecimento. Esta revisão bibliográfica tentará mostrar as principais ferramentas que são utilizadas para o mapeamento geotécnico voltadas a determinação de áreas com diferentes graus de susceptibilidade à erosão.

2.1. INTEMPERISMO E PERFIL DE ALTERAÇÃO

O perfil de alteração pode ser compreendido como sendo o produto da interação do substrato rochoso com a atmosfera, biosfera e hidrosfera, tendo como vetor principal de transformação os agentes intempéricos. Algumas definições de intemperismo são apresentadas a seguir:

“Intemperismo é o conjunto de processos mecânicos, químicos e biológicos que ocasionam a desintegração e decomposição das rochas” (GUERRA, 1997).

“Intemperismo é a resposta dos materiais que estavam em equilíbrio no interior da litosfera às solicitações da atmosfera, hidrosfera e talvez ainda da biosfera” (REICHE, 1945).

“Intemperismo são os processos de alteração e desagregação de materiais de solo e rocha próximos a superfície da Terra por processos físicos, químicos e biológicos” (SELBY, 1993),

“O Intemperismo que age na interface entre a atmosfera e a litosfera inclui os processos que levam à desagregação das rochas expostas na superfície da Terra, produzindo partículas minerais discretas” (SUGUIO, 1980).

“Intemperismo é o processo de alteração e quebra da rocha e materiais do solo na superfície terrestre por decomposição química e desintegração física” (GEOLOGICAL SOCIETY ENGINEERING GROUP, 1995).

“O intemperismo constitui o conjunto de processos operantes na superfície terrestre que ocasionam a decomposição dos minerais das rochas, graças à ação dos agentes atmosféricos” (LEINZ, 1963).

A intensidade do intemperismo é altamente dependente de numerosos fatores, os quais incluem:

- Tamanho das partículas da rocha;
- Permeabilidade do maciço;
- Posição do nível hidrostático;
- Relevo;
- Clima;
- Oxigênio e outros gases presentes no sistema, macro e micro fauna e flora.

2.2. CLASSIFICAÇÃO DE PERFIS DE ALTERAÇÃO

A descrição e classificação de rochas alteradas para fins geotécnicos têm sido alvo de debates desde que os primeiros geólogos de engenharia produziram os primeiros trabalhos. A utilidade das classificações de perfis de alteração geralmente esbarra num fator comum a todas: o fato de que apenas uma classificação inviabiliza tal trabalho, principalmente pelos seguintes fatores:

- Diferentes litologias se alteram de diferentes maneiras num mesmo regime climático;
- Heterogeneidades litológicas ou juntas principais de caráter penetrativo e falhas podem gerar um complexo perfil ou frente de alteração;
- Rochas alteradas são de difícil caracterização sem a visualização da rocha original, particularmente em rochas brandas;
- As classificações ora usadas apresentam enfoques diferentes porém, muitas vezes com terminologias similares;

- Rochas alteradas são geralmente classificadas usando certos termos, mas sem a definição da fonte utilizada;
- A classificação mais amplamente utilizada se baseou em simples critérios de observação;
- Não são utilizados os recursos petrográficos nem índices geoquímicos.

Logo, fica caracterizado que a adoção de uma única classificação que se adapte a diferentes tipos de rochas e de perfis de alteração existentes é uma tarefa praticamente impossível. Por isso, o procedimento mais indicado para trabalhos de classificação de perfis de alteração é optar por uma classificação que mais se adapte a cada situação.

O primeiro passo para se escolher uma classificação útil pode ser determinar os parâmetros relevantes ou característicos. Nomes de classes são então estipulados de acordo com algum agrupamento predeterminado desses atributos.

2.2.1. CLASSIFICAÇÃO DE PERFIS DE ALTERAÇÃO DE USO GERAL

A primeira tentativa para a classificação de solos tropicais brasileiros foi a elaborada por VARGAS (1953), onde o mesmo dividiu o perfil de alteração em três unidades:

- Solo residual maduro, argiloso e poroso;
- Solo residual jovem, siltico-arenoso, com estruturas reliquiares da rocha original;
- Rocha alterada, cuja remoção se dava por explosivos.

O mesmo autor (1974), reformula sua classificação baseando-se em perfis de intemperismo, dividindo em cinco horizontes, três de solo e dois de rocha:

- Horizonte I – solo residual maduro;
- Horizonte II – solo com vestígios de estruturas reliquiares;
- Horizonte III – solos com estruturas de matações (saprolito);
- Horizontes IV – rocha alterada com zonas decompostas;
- Horizonte V – rocha sã.

DE MELLO (1972), caracteriza o perfil de alteração dividindo-o em três partes:

- Solo maduro, coluvial ou residual (objeto de estudo da mecânica dos solos);
- Solo saprolítico (estruturas originais da rocha);
- Horizontes de rochas decompostas (objeto de estudo da mecânica das rochas).

WOLLE *et al.* (1985), caracterizaram seis horizontes de intemperismo, três de solo, um de transição e dois de rocha:

- Horizonte I – solo superficial (residual, coluvionar ou sedimentar);
- Horizonte II – solo residual maduro;
- Horizonte III - solo residual jovem ou saprolítico;
- Horizonte IV - saprolito (transição solo/rocha);
- Horizonte V – rocha alterada;
- Horizonte VI – rocha sã.

A GEOLOGICAL SOCIETY (1995) apresenta alguns padrões e descrição de perfis de alteração que podem ser adotados como aproximações para perfis de materiais uniformes e heterogêneos, a saber:

- MATERIAIS UNIFORMES (Homogêneos)

Para materiais uniformes, MOYE (1995), apresentou uma classificação onde separa em 6 graus de evolução do intemperismo que traduzem desde condições de rocha sã até solo residuais. Esta forma de classificação tem encontrado aplicação em rochas ígneas, metamórficas e algumas sedimentares. Em alguns tipos de rocha não é possível visualizar todos os graus, nestes casos é interessante combinar os graus II - III e IV e V. Logo, pode-se, neste caso, caracterizar apenas quatro graus.

- MATERIAIS HETEROGÊNEOS

MARTIM & HENCHER (1986) apresentaram uma classificação aplicada a maciços com alteração gradacional e que, em certos estágios do perfil, desenvolve uma assembléia de materiais heterogêneos. A zona de alteração pode aparecer com o nome da formação geológica que a caracteriza. Nesta classificação, uma descrição completa pode requerer uma estimativa das percentagens dos diferentes materiais de alteração, juntamente com tamanho, forma e distribuição dos vários componentes. Os princípios utilizados para separar as zonas de alteração podem ser úteis para a diferenciação das zonas de interesse de engenharia de outras massas heterogêneas que deve parte de sua variabilidade para as diferenças litológicas originais e onde seria praticamente impossível descrever cada tipo

litológico individualmente. Um exemplo pode ser a ocorrência de rochas sedimentares alteradas interdigitadas ou uma seqüência vulcânica apresentando em ambos os casos intercalação de rochas competentes e incompetentes.

Para misturas de materiais, existem as classificações baseadas nos trabalhos de CHANDLER (1972); SPINK & NORBURY (1993) e pode serem utilizadas para misturas de materiais com variações granulométricas, típicas para rochas sedimentares e solos bem consolidados. No caso de uma rocha apresentar estado de alteração que não se encaixe em nenhum dos padrões acima descritos deve-se empregar um procedimento de descrição efetiva, onde é realizada uma descrição geral das feições de intemperismo encontrada na rocha. As características mais importantes que devem ser examinadas no campo são:

- cor e descoloração;
- grau e estado de fraturamento;
- esforço;
- natureza e extensão dos produtos do intemperismo.

2.2.2. CLASSIFICAÇÃO DE PERFIS DE ALTERAÇÃO EM REGIÕES TROPICAIS

Nos trabalhos de reconhecimento e classificação de perfis de alteração em regiões tropicais um ponto de fundamental importância é a distinção entre solos residuais e transportados. VAZ (1996) apresenta as seguintes definições:

- Solos *in situ* ou residuais - São solos produzidos através do processo de intemperismo, por meio de desagregação e decomposição “*in situ*” da rocha subjacente.
- Solos transportados - São formados pela erosão, transporte e deposição de materiais existentes na superfície, frequentemente os solos residuais.

VAZ (1996) cita as dificuldades de utilização dos critérios de classificação como: predominância de processos pedogênicos ou intempéricos, nos horizontes de solo; graus de alteração mineralógicas nos horizontes de solo e porcentagens relativas de solo e rocha, para definir horizontes de transição que levam ao aparecimento de subdivisões e dificultam a reprodução dos dados obtidos na descrição. Com o objetivo de sanar essas dificuldades o mesmo autor, propõe a adoção de um perfil de intemperismo padrão, no qual os principais

horizontes são definidos em função de processo de escavação e perfuração. Esta classificação é mostrada a seguir:

2.2.2.1. HORIZONTES DE SOLO RESIDUAL

Classe S1 - Solo Eluvial (SE) - São sempre homogêneos em relação a cor, granulometria e composição mineralógica. São considerados para construção civil como solo de composição homogênea, devido a ausência total de textura e estrutura da rocha matriz. A mineralogia deste tipo de solo é constituída essencialmente por argilominerais e minerais de rocha quimicamente inertes, como o quartzo.

Classe S2 - Solo de Alteração (AS) - Camada na qual os processos intempéricos são muito incipientes ou limitados, ou seja, se encontra ainda em processo intempérie. Eles se caracterizam por serem sempre heterogêneos em relação a cor, textura e composição mineralógica. No solo de alteração a preservação de estruturas da rocha original é frequente. Possui na mineralogia argilominerais neoformados e minerais da rocha original em processo de alteração química para argilominerais. Ocorre também muito quartzo.

2.2.2.2. HORIZONTES DE ROCHA

A separação entre os horizontes de solo e rocha é feita pelo critério tradicional do processo de escavação, sendo o solo caracterizado por ser facilmente escavável pelo trado, enxada, faca ou canivete. A passagem entre os dois horizontes de solo e destes para a rocha é gradual, podendo ocorrer matacões e fragmentos de minerais e rocha.

Classe R3 - Rocha alterada mole (RAM) - Esta classe é caracterizada por ser escavada manualmente, com picareta, bico de martelo de geólogo ou com escarificador. É caracterizada por apresentar minerais completamente alterados e descoloridos, sendo incipiente o processo de transformação para minerais de solo. A espessura deste horizonte em perfis evoluídos pode ser superior a 10 metros, entretanto, não raramente, este horizonte pode estar ausente, sendo este fato mais comum em regiões de clima seco ou frio, onde o efeito do intemperismo químico é menor, ou em locais onde ocorre uma rápida denudação. Neste caso o horizonte de rocha alterada mole pode ser substituído por uma zona de contato muito irregular, constituída por matacões e blocos “*in situ*”.

Classe R2 - Rocha alterada dura (RAD) - Caracteriza-se por apresentar minerais levemente descoloridos, principalmente ao longo de fraturas com passagem de água. O limite de separação entre os horizontes de RAM e RAD é estabelecido pela escavação com picareta ou escarificador, exigindo algumas vezes a utilização de explosivos.

Classe R1 - Rocha sã (RS) - Constituído por minerais inalterados ou praticamente inalterados, apresentando cores e resistências originais ou pouco modificadas. A separação de RAD e RS se dá através da observação de alteração mineralógica, já que o processo de escavação com a utilização de explosivos e perfuração com sondas são aplicados para ambos horizontes.

2.2.2.3 SOLOS TRANSPORTADOS

As principais classes de solos transportados são:

Aluviões (AL) - Constituídos por materiais erodidos, retrabalhados e transportados por cursos d'água e depositados em leitos e margens. Ocorrem também em lagos e lagoas.

Terraços aluviais (TR) - Constituídos por aluviões antigos, encontrando-se sempre em cotas superiores em relação ao aluvião, visto que este foi depositado quando o nível de base do curso d'água se encontrava numa posição mais elevada que a atual.

Colúvios (CO) – Material transportado por efeito da gravidade. Tal material só aparece no sopé de vertentes ou em lugares pouco afastados de declives que lhe estão acima.

Depósitos de tálus (TT) - São formados pelos mesmos processos de transporte que produzem os colúvios, diferenciando-se pela presença de blocos de rocha.

Sedimentos marinhos (SM) - São produzidos em ambiente de praia constituído essencialmente por areias quartzosas limpas, finas a média e em ambiente de mangue pela deposição de finos associado com matéria orgânica.

Solos eólicos (SO) - São solos transportados e depositados pela ação dos ventos . São caracterizados por areias essencialmente quartzosas bem arredondadas encontradas em campos de dunas apresentando típica estratificação cruzada.

FIGURA 2.1 - Forma de ocorrência dos principais tipos de solos transportados (VAZ, 1996).

A BRITISH STANDARDS FOR SITE INVESTIGATION (BS 5930:1981) *apud* PRICE (1993) propõe uma classificação de perfil de alteração que pode ser visto na Tabela 2.1.

TABELA 2.1 – Classificação de perfil de alteração Segundo BSSI (1981) *apud* PRICE (1993).

DOMÍNIO	CARACTERÍSTICAS	GRAU
SOLO RESIDUAL	Todo a rocha existente foi decomposta em solo. As texturas e estruturas foram destruídas. Nenhum transporte significativo de solo visível	VI
ROCHA COMPLETAMENTE ALTERADA	Todo o material rochoso está decomposto para solo, porém, estrutura e textura se encontram grande parte preservadas	V
ROCHA INTENSAMENTE ALTERADA	Mais da metade do material rochoso se encontra decomposto em solo. Fragmentos de rocha sã ou parcialmente alterada podem ser encontrados, com uma estrutura contínua	IV
ROCHA MODERADAMENTE ALTERADA	Pouco menos da metade do material rochoso se encontra decomposto em solo. Fragmentos de rocha sã ou parcialmente alterada podem estar presentes, com uma estrutura contínua	III
ROCHA LEVEMENTE ALTERADA	Intemperismo penetrado ao longo das discontinuidades e somente uma leve alteração no material rochoso	II
ROCHA SÃ	Não são visíveis os sinais de alteração no material rochoso, intemperismo notado apenas nas superfícies das maiores discontinuidades	I

Nas Tabelas 2.2a e 2.2b são apresentadas outras classificações de perfis de alteração, também utilizadas.

TABELA 2.2a – Comparação entre as principais classificações de perfis de intemperismo.

VARGAS (1953)	MOYE (1955)	RUXTON & BERRY (1957)	SOWERS (1953 / 1963)	VARGAS, SILVA TUBIC (1965)	SOWERS (1967)	VARGAS (1969)	BARATA (1969)	DEERE & PATTON (1971)
Solo residual maduro	Solo granítico	Solo horizonte A	Zona superior	Zona superior	Horizonte A	I Rocha porosa ou camada arenosa	II A – Solo residual maduro	I A – Horizon.A
		Solo horizonte B			Horizonte B	II Argila rija ou areia argilosa		I B – Horizon.B
Solo residual jovem	Granito complet. alterado	I Detritos residuais	Zona intermediária	Zona intermediária	Saprolito	III Solo residual Jovem	II B – Solo residual jovem	I C – Horizo. C (saprolit)
		II Detritos residuais c/ alteração						
Camada de rocha decomposta	Granito muito alterado	II B – Residual com matacões	Zona parcialmente alterada	Zona inferior	Zona de transição	IV Rocha alterada	III – Rocha muito alterada	II A – Horizon. de transição
	Granito alterado							
	Granito pouco alterado	III – Matacões com detritos alterados		Rocha parcialmente alterada a fissurada			IV – Rocha fissurada ou fraturada	II B – Rocha parcial. alterada
Rocha sã	Granito são	IV - Parcialm. alterados	Rocha não alterada		Rocha	Horizonte V de sã ou fissurada	Rocha mãe	III – Rocha não alterada
		Substrato rochoso						
Observação: Gnaise Basalto Arenito	Observação: Rochas graníticas (original)	Observação: Rochas graníticas	Observação: Rochas Ígneas e Metamórficas	Observação: Granito, gnaise, xisto, basalto e arenito	Observação: Rochas Ígneas, metamórfica e outras	Observação: Gnaise, xisto, arenito e argilito	Observação: Gnaisses	

TABELA 2.2b – Comparação entre as principais classificações de perfis de intemperismo (continuação).

DE MELLO (1972)	CUNHA (1984)	WOLLE (1985)	PASTORE (1992)	COLLARES & LORANDI (1994)	COSTA & GANDOLFI (1996)
Solo maduro	Solo superficial	Solo superficial Rija ou argilosa	Solo resid. Trans. Horizonte orgânico (1) Horizonte laterítico (2)	Retrabalhado laterítico Nível de solo laterítico Residual laterítico	Nível de solo laterítico Solo retrabalhado Solo residual maduro
Solo residual ou saprolito	Solo de alteração de rocha (saprolito)	Solo residual Solo saprolítico	Residual (solo saprolítico)	Nível de solo saprolítico	Nível de solo residual jovem
Rocha alterada	Transição solo-rocha Rocha parcialmente alterada	Saprolito Rocha alterada	Horizonte de saprolito (4) Horizonte de rocha muito alterada (5) Horizonte de rocha alterada (6)	Nível de saprolito Nível de rocha alterada	Nível de saprolito Nível de rocha alterada
Rocha sã	Rocha sã	Rocha Sã	Horizonte de rocha sã	Nível de rocha sã	Nível de rocha sã
Observação: Basaltos	Observação:	Observação:	Observação:	Observação:	Observação:

2.3. EROSÃO

2.3.1. CONCEITOS GERAIS

O termo erosão foi utilizado pela primeira vez na geologia para descrever a formação de cavidades pela água, a desagregação de material sólido pela ação das águas de rio (PENCK 1894 *apud* ZACHAR 1982).

ELLISON (1947) define erosão como sendo um processo de desagregação e transporte de materiais do solo por agentes erosivos. Caracteriza dois eventos principais:

- Primeiramente, as partículas do solo tornam-se soltas (desagregação) de sua estrutura, logo, disponíveis para o transporte;
- Posteriormente, os materiais desagregados do solo são transportados.

LEINZ (1963) conceitua erosão como sendo o efeito combinado de todos os processos degradacionais terrestres, incluindo intemperismo, transporte, ação mecânica e química da água corrente, vento, gelo, etc.

GUERRA & GUERRA (1997) definem erosão como a destruição das saliências ou reentrâncias do relevo, tendendo a um nivelamento ou colmatagem, no caso de litorais, enseadas, baías e depressões. A uma fase de erosão (gliptogênese) corresponde de modo simultâneo, uma fase de sedimentação (litogênese).

Para o IPT (1980) a erosão é um processo de desagregação e remoção das partículas do solo pela ação combinada da gravidade com a água, gelo, vento e/ou organismos, e abrange dois eventos principais:

- o impacto das gotas de chuva na superfície do solo;
- o escoamento superficial das águas (*runoff*).

VILAR (1987), define erosão do solo como sendo um conjunto de processos pelos quais os materiais da crosta terrestre são desagregados, dissolvidos ou desgastados e transportados de um ponto a outro pelos agentes erosivos (geleiras, rios, mares, ventos ou chuva).

Erosão é o processo de desprendimento e arraste acelerado das partículas do solo causado pela água e pelo vento (BERTONI & LOMBARDI NETO, 1985)

KEHEW (1995) define erosão como sendo o destacamento e transporte de partículas da superfície sob a ação de uma ou mais forças ou agentes intempérico (gravidade,

água, vento, gelo e ondas). Diz ainda que os materiais susceptíveis a erosão incluem não somente material residual alterado, desenvolvido a partir de rochas, como também qualquer depósito superficial inconsolidado na superfície da Terra. O mesmo autor comenta que as erosões causadas pela água e vento são as duas principais formas quando a superfície é alterada do seu estado natural. A USSCSA – United States Soil Conservation Society of America (1976) (*apud* NISHIYAMA 1995) classifica erosão como sendo um desgaste da superfície do terreno pela ação de água corrente, vento, gelo, ou outros agentes geológicos incluindo movimentos de massa.

SALOMÃO & IWASA (1995) definem duas formas de abordagem para os processos erosivos:

Natural ou geológica – processo lento, que se desenvolve em condições de equilíbrio com a formação do solo.

Acelerada ou antrópica – processo rápido, cuja intensidade, superior à formação do solo, não permite sua recuperação naturalmente.

Erosão acelerada ou boçoroca é o fenômeno erosivo caracterizado por uma velocidade de remoção de material tão rápida que não permite o desenvolvimento de vegetação. Caracteriza um processo acelerado de formação de um vale, com escoamento concentrado, onde o mesmo era difuso ou em lençol (FIORI & SOARES, 1976).

Segundo LAL (1990) *apud* ALCÂNTARA (1996) os diferentes tipos de erosão podem ser gerados pelos diversos agentes caracterizados na Tabela 2.3.

TABELA 2.3 – Agentes causadores de erosão (LAL 1990) *apud* ALCÂNTARA (1996).

VENTO	EROSÃO EÓLICA			
FLUIDOS	ÁGUA	CHUVA	EROSÃO POR IMPACTO DAS GOTAS	
		ÁGUA DE ESCOAMENTO	ESCOAMENTO SUPERFICIAL	EROSÃO EM SULCOS
				EROSÃO EM RAVINAS E BOÇOROCAS
			EROSÃO EM CANAIS FLUVIAIS	
		ESCOAMENTO SUBSUPERFICIAL	EROSÃO EM CONDUTOS SUBTERRÂNEOS	
	OCEANO	EROSÃO COSTEIRA		
	GELO	EROSÃO GLACIAL		
GRAVIDADE	MOV. DE MASSA	AVALANCHE; ESCORREGAMENTO; SOLIFLUXÃO e RASTEJO		

2.3.2. FATORES INTERVENIENTES NO PROCESSO EROSIVO

SUAREZ & CASTRO (1956) citam a erosão como sendo causada por forças ativas, como as características da chuva, a declividade e o comprimento do declive do terreno e a capacidade que tem o solo de absorver água, e por forças passivas, como a resistência que exerce o solo à ação erosiva da água e a densidade da cobertura vegetal.

PEJON (1992) enfatiza que os processos erosivos dependem de uma série de fatores naturais, tais como: clima, geomorfologia, natureza do terreno (substrato rochoso e tipo de solo) e cobertura vegetal. Estes fatores podem ser modificados pelo Homem, gerando uma mudança nos processos erosivos de uma determinada região, geralmente intensificando-os.

No que se refere ao processo evolutivo da erosão, TRICART (1996) mostra que existem descontinuidades temporais e espaciais dos processos de formação do relevo, razão porque um mesmo local pode estar, por um certo tempo, sob maior ação dos processos erosivos, alternados por períodos de predominância de processos de acumulação.

BURACZYNSKI (1983) *apud* LOMBARDO & MACHADO (1995) afirma que as atividades econômicas e a propriedade de resistência do solo são fatores fundamentais sobre a erosão, como também a estruturação geológica, precipitação e cobertura vegetal diferenciam as características de dimensão das formas ou cicatrizes erosivas.

Para AB'SABER (1968) *apud* NISHIYAMA (1995) a friabilidade e as condições de alteração superficial e subsuperficial dos arenitos paleozóicos ou mesozóicos são fatores de fragilidade, sendo as boçorocas neles desenvolvidas mais agressivas, isto é, de rápida evolução.

A origem do processo de erosão acelerada está relacionada à um desequilíbrio entre a quantidade de água que escoar na superfície da encosta, o tipo de escoamento, a forma da encosta e a erodibilidade do material (FIORI & SOARES, 1976).

IBGE/SEPLAN-MS (1989), propõe uma subdivisão nos fatores que interferem no processo erosivo:

- Fatores imutáveis à curto espaço de tempo – relevo, solo e clima;
- Fatores mutáveis à curto espaço de tempo – cobertura vegetal, uso do solo, manejo e práticas conservacionistas e estrutura fundiária.

A perda de resistência ou estabilidade e o desarranjo da estrutura do solo são causados pela força de percolação da água em seu interior (ruptura hidráulica). Tal processo promove a retroerosão, que tem início num ponto de emergência de água e progride para

montante, formando espaços vazios interligados, denominados de tubos de erosão ou *piping* (VARGAS, 1953).

BERTONI & LOMBARDI NETO (1985) ressaltam que os processos erosivos são decorrentes dos seguintes fatores: declividade, pluviosidade, comprimento da encosta, capacidade de absorção da água pelo solo, resistência do solo à erosão e densidade da cobertura vegetal, sendo a água o mais importante agente erosivo e o escoamento concentrado ocasiona entalhes profundos, bem como o movimento de grandes massas de solo.

Para COCH (1995) a erosão de uma superfície é uma função das características do solo, quantidade de chuva, tipo de vegetação, forma da encosta, ventos e uso da terra. Estes fatores não agem isoladamente mas sim combinados para criar um tipo específico de erosão do solo em uma determinada localidade.

Especificamente no que se refere à erosão ocasionada pela ação das águas ELLISON (1947) destaca dois principais agentes erosivos: a gota de chuva e o escoamento superficial. Nas gotas de chuva, sua energia de queda é aplicada na vertical descendente, com velocidades que giram em torno de 9 metros por segundo, enquanto que no escoamento superficial a força é aplicada horizontalmente com velocidades de poucos centímetros por segundo. Sendo assim, a principal função das gotas de chuva é de destacar as partículas do solo e o escoamento superficial se encarrega de transportar o material destacado.

2.3.2.1. RELEVO

É sabido que o processo erosivo hídrico é grandemente influenciado pelo declive e o comprimento da encosta. Evidentemente, quanto maior o declive e o comprimento da encosta, maior a velocidade de escoamento e o volume de água a escoar, o que resulta numa maior quantidade de material a ser erodido.

ZINGG (1940) *apud* BERTONI & LOMBARDI NETO (1985) publicou a equação relacionando a intensidade de perda de solo com o comprimento e o grau de declividade do terreno. Nesta equação, tais fatores passaram a ser considerados conjuntamente, definindo o fator topográfico (LS).

$$LS = \frac{L}{100} (1,36 + 0,97S + 0,1385S^2)$$

onde: L – comprimento do declive em metros; S – grau do declive em percentagem.

Tal equação não leva em consideração o tipo de perfil da encosta (se é côncavo ou convexo). Ela pressupõe um declive uniforme, o que pode subestimar as perdas de solos em perfis convexos e superestimar as perdas em perfis côncavos (IBGE/SEPLAN-MS, 1989).

No Brasil, BERTONI & LOMBARDI NETO (1985), estudando a erosão no Estado de São Paulo, determinaram a equação para calcular o fator topográfico, cujos valores foram posteriormente adaptados às condições-padrão, resultando na seguinte equação:

$$LS = 0,00984.C^{0,63}D^{1,18}$$

onde:

LS – fator topográfico;

C – comprimento da rampa em metros;

D – grau do declive em percentagem.

Para operacionalizar o uso dessa fórmula, BERTONI & LOMBARDI NETO (1985), construíram uma tabela para leitura direta do LS. A Tabela 2.4 traz as percentagens de declive a esquerda e é encimada pelo comprimento da rampa.

TABELA 2.4 – Fator LS da equação de previsão de perdas de solos para várias combinações de grau de declividade e comprimento de rampa (BERTONI & LOMBARDI NETO, 1985).

DECLIVIDADE.(%)	COMPRIMENTO DE RAMPA (metros)													
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	80	100
1	.03	.04	.05	.06	.07	.08	.09	.10	.11	.12	.12	.13	.16	.18
2	.06	.09	.12	.15	.17	.19	.21	.23	.25	.26	.28	.29	.35	.41
4	.14	.22	.28	.33	.38	.43	.47	.51	.55	.59	.63	.67	.80	.92
6	.23	.35	.45	.54	.62	.69	.77	.83	.90	.96	.02	.07	.29	.48
8	.32	.49	.63	.76	.87	.98	.08	.17	.26	.34	.43	.51	.81	.08
10	.41	.64	.82	.98	.13	.27	.40	.52	.64	.75	.86	.96	.36	.71
12	.51	.79	.02	.22	.40	.57	.73	.89	.03	.17	.30	.43	.92	.36
14	.61	.95	.22	.46	.68	.89	.08	.26	.43	.60	.76	.92	.51	.03
16	.71	.11	.43	.71	.97	.21	.44	.65	.85	.05	.23	.42	.10	.72
18	.82	.27	.64	.97	.27	.54	.80	.04	.27	.50	.72	.93	.71	.43
20	.93	.44	.86	.23	.57	.88	.17	.44	.71	.96	.21	.45	.34	.14

Pode-se observar que qualquer que seja a equação adotada o elemento relevo é sempre representado pelo fator topográfico (comprimento da encosta e grau de declividade). Neste fator, a encosta é teoricamente uniforme e não se considera o seu tipo de perfil.

O aumento no comprimento de uma encosta, acarreta um aumento no volume de escoamento superficial, consequentemente, produz um aumento na intensidade de erosão, principalmente sob a forma de sulcos (NISHIYAMA, 1995).

Para RODRIGUES (1982) a análise da declividade de uma encosta pode ser expressa simplificadamente por um único valor em graus. Para isso, deve-se tomar a diferença de nível entre dois pontos com as cotas mais elevadas e mais baixas da encosta relacionar com a distância horizontal entre elas.

Segundo o mesmo autor, encostas que apresentam perfis longitudinais convexas apresentam em sua parte inferior uma declividade maior (sendo nesta região que se inicia o processo erosivo), nas porções medianas e de topo a declividade diminui progressivamente. Em encostas com perfis longitudinais côncavas se verifica o inverso (Figura 2.2).

FIGURA 2.2 – Declividades em encostas convexa e côncava (RODRIGUES, 1982).

RODRIGUES (*op cit*) ainda caracteriza a forma da encosta como sendo, juntamente com a declividade e o comprimento da encosta, o terceiro principal componente do relevo em relação a erosão do solo, ressaltando, porém, que a declividade é o fator mais importante no desenvolvimento dos processos erosivos acelerados.

TROEH (1965) propõe uma maneira de se entender as formas topográficas das encostas, através da associação entre a curvatura, apresentada pelo perfil longitudinal e pelas curvas de nível, resultando em quatro tipos possíveis (Figura 2.3).

FIGURA 2.3 – Classificação de formas de encostas segundo TROEH (1965).

FIORI & SOARES (1976) verificaram que, dentre as diversas condições que favorecem o desenvolvimento de boçorocas, a grande maioria (95%) está associada à encostas convexas coletoras.

2.3.2.2 - SOLO

Sabe-se que a susceptibilidade à erosão de uma área qualquer, depende de vários fatores (relevo, solo, chuva, cobertura vegetal, uso e manejo do solo, etc.). Entretanto, alguns solos são mais erodíveis do que outros, fato este que é produto da existência de características intrínsecas do material solo. Essas características determinam seu grau de vulnerabilidade frente ao processo erosivo (erodibilidade).

A erodibilidade do solo representa a sua predisposição à erosão. Alguns solos são erodidos mais que outros, mesmo que a chuva, a declividade, a cobertura vegetal e as práticas de manejo sejam as mesmas (SILVA *et al.*, 1997).

Para BERTONI & LOMBARDI NETO (1990) as propriedades do solo que mais influenciam na erodibilidade pela água são:

- as que afetam a velocidade de infiltração da água do solo, a permeabilidade e a capacidade de absorção da água;
- Aquelas que resistem à dispersão, ao salpicamento, à abrasão e às forças de transporte das chuvas e enxurradas.

Sabe-se que a erodibilidade pode ser estimada pelo uso de métodos diretos (uso de chuvas natural ou simulada) que são geralmente demorados e onerosos, ou por métodos indiretos (empíricos), onde essa característica é definida pela avaliação de parâmetros físicos do solo através do uso de fórmulas ou equações desenvolvidas para este fim. Em termos mundiais, um dos métodos empíricos mais conhecidos é o de WISCHMEIER. Tal método baseia-se na utilização dos teores de silte + areia muito fina, areia, matéria orgânica, estrutura e permeabilidade do solo, sobre um nomograma. Esses parâmetros, segundo COGO (1978) *apud* IBGE/SEPLAN-MS (1989), influenciam na erodibilidade do solo isoladamente ou em conjunto.

O método nomográfico de WISCHMEIER *et al.* (1973) é expresso pela fórmula:

$$100 K = 2,1M^{1,14}(10^{-4})(12 - a) + (b - 2) + 2,5(c - 3)$$

onde:

K – erodibilidade do solo;

M - % de silte + % de areia muito fina (100 - % de argila);

a - % de matéria orgânica;

b - código de estrutura;

c - código da classe de permeabilidade.

O procedimento de utilização do nomógrafo se inicia através de um processo simples de entrada múltipla, com a aplicação do parâmetro percentagem de silte+areia muito fina, em uma escala à esquerda. A seguir, os parâmetros de areia de 0.1mm – 2.0mm, a percentagem de matéria orgânica, a estrutura e a permeabilidade são aplicadas às suas respectivas curvas, conforme observado no exemplo da Figura 2.4.

Os valores obtidos para o K com o auxílio do nomógrafo, se apresentam em unidades inglesas. Para serem convertidos para o sistema métrico decimal, se multiplica pelo valor 1,292 ou por 0,1317 para a conversão ao sistema métrico internacional (FOSTER *et al.*, 1981) *apud* IBGE/SEPLAN-MS (1989).

DANGTER & EL-SWAIFY (1976) *apud* IBGE/SEPLAN-MS (1989) também observaram discrepâncias nos dados de perdas de solo no Havaí com o uso do mesmo método e concluíram que sua validade é questionável para as regiões tropicais, devido ao elevados teores de óxidos e argilas encontrados no solo.

FIGURA 2.4 – Nomógrafo de erodibilidade do solo (WISCHMEIER, 1973).

Para LOMBARDI NETO & BERTONI (1975) o fator K é definido pela “relação de erosão” que é dada pela razão entre a relação de dispersão e a relação argila dispersa/umidade equivalente:

$$C = \frac{a}{b}$$

onde:

c – relação de erosão;

a – relação de dispersão (teor de argila total/ teor de argila dispersa em água expressa em porcentagem);

b – relação de argila dispersa em água/umidade equivalente.

NOGAMI & VILLIBOR (1981) na classificação Miniatura Compactada Tropical (MCT), propuseram um teste para a verificação da erodibilidade do solo. Através de um processo de imersão em água, por um período de 24 horas, onde a quantidade de material desagregado, é relacionada com a erodibilidade de material.

2.3.2.3 - CLIMA

Dentre os elementos que compõem o clima, a chuva é um dos principais fatores a se considerar na análise do processo erosivo. WISCHMEIER (1973) descreve a erosão do solo como sendo um processo mecânico que requer energia, a maior parte da qual, atribuem à ação das chuvas. Na Equação Universal de Perdas do Solo (USLE), o fator clima é

representado pela erosividade da chuva (R), dado de difícil obtenção porque requer a investigação de uma série de variáveis relacionadas às características físicas das chuvas (IBGE/SEPLAN-MS, 1989).

BERTONI & LOMBARDI NETO (1985) enfatizam também que a chuva é um dos fatores climáticos mais importantes na erosão dos solos. O volume e a velocidade da enxurrada dependem da intensidade, duração e frequência da chuva, sendo a intensidade o fator pluviométrico mais importante na erosão. Dados de chuva em totais ou médias mensais e anuais pouco significam em relação à erosão. Em duas regiões pode cair num ano a mesma quantidade de chuva, não significando isso que a situação seja semelhante, pois num local pode ter caído grande número de chuvas leves e, no outro, duas ou três chuvas pesadas que contribuíram com 60% a 80% do total. É provável que neste último, se as demais condições são semelhantes, possa se esperar uma erosão mais severa.

Para o mesmo autor cabe ressaltar a importância de outros dois fatores, além do volume, a duração e a frequência das chuvas. A duração é o complemento da intensidade e a combinação dos dois determina a chuva total. A frequência das chuvas também é um fator que influi nas perdas de solo. Se os intervalos entre elas forem curtos o teor de umidade do solo é alto e assim, as enxurradas são de maior porte, mesmo com chuva de menor intensidade.

Para CARSON & KIRKBY (1975) água da chuva, ao alcançar a superfície do terreno se subdivide em vários componentes. A porção da chuva que é interceptada pela vegetação, parte dela permanece sobre a superfície foliar e se evapora posteriormente, enquanto que o restante chega à superfície do solo por gotejamento após sofrer um retardamento. A água da chuva que atinge a superfície do terreno, direta ou indiretamente, parte dela preenche irregularidades da superfície, produzindo um armazenamento superficial; outra parte percola no solo; e uma terceira parcela acaba por constituir o escoamento superficial. A água que percola através da superfície do solo pode ser incorporada neste sob a forma de umidade ou então continuar percolando até atingir o lençol freático. No entanto, existem situações em que os horizontes do solo menos permeáveis ou quando substrato rochoso está presente, a água de percolação movimenta-se lateralmente formando um fluxo subsuperficial. A Figura 2.5 ilustra melhor a distribuição da água no balanço hidrológico.

FIGURA 2.5 – Componentes esquemáticos do balanço hidrológico próximo à superfície (Modificado de CARSON & KIRKBY, 1975).

HOGG (1982) sistematizou os diferentes tipos de escoamento, estabelecendo também uma hierarquização (Tabela 2.5).

TABELA 2.5 – Classificação hidrológica do processo de escoamento superficial (HOGG, 1982).

ESCOAMENTO (<i>runoff</i>)	ESCOAMENTO SUBSUPERFICIAL (<i>SUBSURFACE FLOW</i>)			
	ESCOAMENTO SUPERFICIAL	Fluvial (<i>stream flow</i>)	Escoamento turbulento (principalmente)	
		Confinado em canais (<i>Rill flow</i>)	Escoamento turbulento (principalmente)	
		Não confinado (<i>Overland flow</i>)	Laminar de Alta magnitude (<i>Sheet flow</i>)	Fluxo turbulento
			Laminar (<i>Sheet flow</i>)	Fluxo laminar
				Fluxo turbulento

Fora estes fatores anteriormente citados, cabe também analisar algumas peculiaridades da chuva, como por exemplo, as gotas de chuva.

LAL (1990) *apud* NISHIYAMA (1995) cita que a ação do impacto das gotas de chuva ocorre em dois estágios: ocorre o destacamento das partículas de solo com posterior transporte. As partículas são transportadas pelo deslocamento causado pelo impacto físico e pelo carreamento das partículas, realizado pelo escoamento superficial (*runoff*).

Durante uma chuva muito forte, as gotas de chuva golpeiam o terreno, desprendendo as partículas do solo. Muitas dessas partículas podem ser atiradas a mais de 60 cm de altura e mais de 1,5 m de distância (ELLISON, 1947).

Segundo o mesmo autor, as gotas de chuva contribuem para o processo erosivo pelo menos de três formas:

- a) desprendem partículas do solo no local de impacto;
- b) transportam, por salpicamento, as partículas desprendidas;
- c) imprimem energia, em forma de turbulência, à água superficial.

Para CARSON & KIRKBY (1975) uma gota de chuva quando atinge um solo exposto, gera duas situações:

- a) forma uma pequena cratera de impacto com uma borda circundante elevada, semelhante a de um projétil;
- b) lança partículas deste solo em todas as direções, sendo transportadas, por este processo, a uma distância considerável.

Analisando a bibliografia existente sobre o assunto, percebe-se que, embora os pesquisadores concordem com a importância das características físicas das chuvas para se definir a erosividade das mesmas, eles divergem quanto ao cálculo da energia cinética, quanto ao valor da intensidade e quanto à forma de uso e frequência da duração.

Entende-se por energia cinética a energia que uma gota de chuva adquire em sua queda ao se desprender de uma nuvem e se precipitar em direção ao solo. Tal energia é função da massa e da velocidade da gota (IBGE/SEPLAN-MS, 1989).

Ao se desprender da nuvem e se precipitar em forma de chuva, depois de um certo tempo a gota atinge uma velocidade máxima (velocidade terminal), a partir da qual ela se mantém constante. Isto ocorre quando a resistência oposta à queda é igual ao peso da gota menos o empuxo. Como o atrito do ar e a pressão atmosférica provocam uma diminuição na velocidade, a velocidade terminal vai variar de um lugar para outro. Assim, seria necessário determinar a distância que uma gota deve percorrer para atingir seu movimento uniforme.

LAWS (1941) definiu a altura necessária para as gotas de chuva (em função do seu diâmetro), alcancem 95% de sua velocidade terminal (Tabela 2.6).

TABELA 2.6 – Velocidade terminal de gotas de chuva de vários diâmetros (LAWS, 1941).

DIÂM. DA GOTA DE CHUVA (MM)	VELOCIDADE TERMINAL(M/S)	ALTURA DE QUEDA (95% DA VELOC. TERMINAL)(M)
1	4,0	2,2
2	6,5	5,0
3	8,1	7,2
4	8,8	7,8
5	9,1	7,6
6	9,3	7,2

É de importância fundamental conhecer a força com que as gotas de chuva golpeiam o solo. A energia cinética de uma gota determina a força do golpe que deve ser absorvida em cada ponto do impacto, enquanto que a área horizontal da gota determina a quantidade de solo que deve suportar esse impacto (IBGE/SEPLAN-MS, 1989).

WISCHMEIER *et al* (1958) *apud* BERTONI & LOMBARDI NETO (1985) desenvolveram uma equação para se determinar a energia cinética da gota de chuva que golpeia o solo. Utilizando dados de pesquisas experimentais em mais de 8.200 amostras de solos norte-americanos concluíram que a maior estimativa de perda de solo era dada por um parâmetro composto: o produto da energia cinética da chuva (E_c) pela sua intensidade em 30 minutos (I_{30}). A equação referente ao cálculo do EI_{30} é representada no sistema métrico decimal como:

$$EI_{30} = E_c \cdot I_{30} \cdot 10^{-3}$$

onde:

E_c – energia cinética (ton-metro/hectare-milímetro);

I – intensidade da chuva (mm/h).

Sendo:

$$E_c = 12,14 + 8,88 \log I$$

Segundo RUFINO (1986) a intensidade e a energia cinética quando analisadas conjuntamente compõem o índice de erosividade (EI) e, segundo WISCHMEIER (1959), essa é a melhor relação para se ter conhecimento da sua potencialidade erosiva.

Porém, DOUGLAS (1976) *apud* IBGE/SEPLAN-MS (1989), cita que os principais problemas levantados quanto ao uso do EI_{30} refere-se à necessidade de dados precisos sobre as precipitações (que abranjam longo período de tempo) e à significância dos 30 minutos.

WILKINSON (1975) desenvolveu na Nigéria uma metodologia simplificada a de WISCHMEIER & SMITH (1958) para o cálculo do EI_{30} . De acordo com ela, a energia cinética é calculada através da intensidade máxima de chuva em trinta minutos e da precipitação total, resultando na seguinte equação:

$$EC = (12,142 + 8,887 \log I_{30})P \quad \text{onde,}$$

EC = energia cinética total da chuva em t m/ha mm;

EI_{30} = intensidade máxima da chuva em trinta minutos em mm/h;

P = precipitação da chuva em mm.

Com esta equação, WILKINSON concluiu que as correlações obtidas entre as energias cinéticas calculadas pelos dois métodos foram altamente significativas. Desta forma, tal equação pode ser considerada uma forma simplificada do método de WISCHMEIER & SMITH (1958).

2.3.3. ENSAIOS RELACIONADOS À DETERMINAÇÃO DA ERODIBILIDADE EM LABORATÓRIO

Dois fatores que influem na erodibilidade do material são: a destacabilidade e a transportabilidade das partículas (VILAR, 1987). Segundo este autor, existe uma relação entre a destacabilidade dos materiais e as forças superficiais, características de materiais finos, enquanto que a transportabilidade se relaciona com as características físicas (forma, tamanho, etc.). Logo, os solos que apresentam granulometrias mais finas a destacabilidade é mais difícil, devido às forças de atração intergranular. Além dos fatores intrínsecos do solo, existem propriedades “*in situ*” que exercem influência na erodibilidade, sendo as principais a umidade e as condições de infiltração de água. Via de regra, quanto maior for a capacidade do solo absorver água, menor será o escoamento superficial e menor a erosão; ao passo que, quanto maior a umidade do solo, mais cedo o estado de saturação total do solo será atingido, aumentando, desta forma, o escoamento superficial (PEJON, 1992).

2.3.3.1. ENSAIO DE CILINDRO ROTATÓRIO

Uma das primeiras tentativas para se determinar a erodibilidade do solo foi a tentativa de MOORE & MASCH (1962). O ensaio consiste basicamente da ação de um jato de água que incide sobre a amostra de solo. As taxas de erosão determinada por este método indicaram que a mesma era proporcional ao logaritmo do tempo durante o qual a erosão ocorria. Neste ensaio, são usadas amostras de solos coesivos amolgados e amostras indeformadas. Numa tentativa de diminuir os efeitos da variação da tensão de cisalhamento atuante sobre a superfície, os mesmos autores, criaram o ensaio de cilindro giratório, ensaio este constitui numa opção para a determinação da resistência à erosão de solos coesivos e, principalmente, de solos estabilizados quimicamente. Tal ensaio não se apresenta como um dos melhores para a determinação da erodibilidade dos solos, estando, ultimamente, em desuso.

2.3.3.2. CARACTERIZAÇÃO DA FRAÇÃO FINA PELO MÉTODO DE ADSORÇÃO DE AZUL DE METILENO

A fração argilosa, presente em materiais inconsolidados, tem grande influência no comportamento do material como um todo. Vários tipos de argilo-minerais, com diferentes características físico-químicas, podem ser encontrados nos solos. Dependendo do argilo-mineral existente no solo, o mesmo irá imprimir um tipo de comportamento no solo.

Com o objetivo de determinar a quantidade e a qualidade dos argilo-minerais são realizados ensaios de caracterização da fração fina pelo método de adsorção do azul de metileno (PEJON, 1992).

O ensaio consiste na imersão da fração argilosa num corante orgânico (cloridrato de metiltiamina) e catiônico. O mesmo permite obter a capacidade de troca catiônica (CTC) e da superfície específica (SE) do argilomineral.

No ensaio, mede-se a quantidade de solução necessária para o aparecimento da “auréola”, procedendo a determinação de V_b , através da equação:

LAUTRIN (1989) *apud* PEJON (1992) procura caracterizar a atividade da fração argilosa por meio da quantidade de azul de metileno adsorvido por 100 gramas de argila (A_{cb}) que é calculado a partir do valor de azul de metileno adsorvido pelo solo (V_B) com o auxílio da seguinte expressão:

$$Acb = 100 . Vb / C_2 \text{ onde:}$$

Acb – coeficiente de atividade;

Vb – Valor de azul de metileno adsorvido em 100 gramas de solo;

C₂ – Percentagem de material com menos que 0.002 mm de diâmetro.

2.3.3.3. DETERMINAÇÃO DA ERODIBILIDADE DOS MATERIAIS INCONSOLIDADOS EM TALUDES DE CORTE.

Dentre os métodos mais utilizados para a caracterização da erodibilidade em taludes de corte, será apresentado o desenvolvido por NOGAMI & VILLIBOR (1979). Tal metodologia se apresenta as seguintes características:

- Não necessita de equipamentos sofisticados;
- Facilidade e rapidez de execução;
- Utiliza amostras indeformadas;
- Considera o efeito de secagem;
- Permite inferir as propriedades de desagregabilidade e infiltração.

O método se baseia em dois ensaios simples, que são: a absorção de água e a perda de massa por imersão.

• ENSAIO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA

Tal ensaio consiste na colocação da amostra num recipiente cilíndrico com as mesmas dimensões do cilindro amostrador, conectado a um tubo de vidro graduado disposto horizontalmente (Figura 2.6). Tal conjunto é preenchido por água e posteriormente se adapta uma pedra porosa que deve estar em condições saturadas. Como produto final, se obterá o índice de absorção (S), que será uma relação do volume de água absorvido por unidade de área pela raiz quadrada do tempo medido, sendo (S) o coeficiente angular do trecho inicial retilíneo.

FIGURA 2.6 – Esquema do ensaio de absorção de água.

• ENSAIO DE PERDA DE MASSA POR IMERSÃO

A última parte deste método consiste na colocação de uma pedra porosa presa à base do cilindro que contém a amostra e na imersão do conjunto num recipiente com água. Primeiramente, o conjunto é colocado na horizontal (até que não ocorra mais nenhuma modificação perceptível na umidade) e posteriormente a superfície livre da amostra será disposta verticalmente, sempre em condições saturadas. Deverá ser feita a coleta de material que por ventura se desprenda da amostra. Após 24 horas nestas condições, será determinada a perda de massa em percentagem do peso inicial seco da amostra (P).

Com esses dois parâmetros obtidos, é possível calcular o índice de erodibilidade (E) da amostra através da seguinte expressão: $E = 52 S/P$ (NOGAMI & VILLIBOR, 1979). Se tal valor for menor que 1, considera-se que o material apresenta alta erodibilidade. PEJON (1992) verificou que, trabalhando-se com solos arenosos, a importância da absorção se torna mais relevante se comparada com solos argilosos. Por isso o mesmo autor propôs uma mudança nesta equação para $E = 40 S/P$.

2.3.3.4. ENSAIO DE EROSÃO (INDERBITZEN)

Este ensaio, criado por INDERBITZEN (1964) também conhecido por “erosômetro”, visa caracterizar o grau de erosão de cada horizonte de solo sob condições diversas de vazão, inclinação do topo da amostra e umidade do solo (DO REGO, 1978).

De acordo com o mesmo autor, tal ensaio apresenta-se com duração máxima de duas horas e consiste em submeter uma amostra de solo de área conhecida à ação de um escoamento superficial, com vazão controlada. A perda de solo, dependerá dos seguintes fatores:

- Tipo de solo;
- Condições do ensaio (vazão e inclinação da rampa);
- Condições do solo (teor de umidade, grau de saturação e orientação do mesmo em relação ao fluxo de água).

O equipamento INDERBITZEN consiste de um plano inclinado com um furo circular situado no centro deste plano. O mesmo é preso em cantoneiras que possibilitam variar seu ângulo de inclinação. No furo coloca-se a amostra de solo a ser ensaiada deixando sua superfície coincidir com a superfície do plano inclinado. Um reservatório, colocado próximo à parte superior do plano, proporciona o escoamento superficial, sendo a vazão mantida constante durante todo o ensaio.

O material erodido pelo escoamento é coletado em um conjunto de peneiras em tempos previamente determinados, sendo posteriormente colocados em recipientes e levados a estufa, para a obtenção do seu peso seco. O peso do material seco acumulado coletado nos respectivos tempos, é então correlacionado com a área da amostra, caracterizando a medida da erosão, pela equação:

$$E = \frac{Ps}{A} \quad \text{onde,}$$

E – Medida da erosão;

Ps – Peso do solo seco (g);

A – Área superficial (cm²).

A sua principal limitação está no fato de que ele não caracteriza a atuação do impacto das gotas de chuva no terreno. Numa tentativa de sanar esta limitação, FREIRE (2001) modificou o aparelho, conferindo-lhe duas linhas de “chuveiramento” para que se pudesse observar o comportamento da amostra de solo, não só em relação ao escoamento superficial mas também considerando a influência das gotas de chuva (GES – Grau de Erodibilidade do Solo).

2.3.3.5. MÉTODO LNEC

NASCIMENTO E CASTRO (1976) observaram que os parâmetros mais importantes que ditam o comportamento do solo frente a processos erosivos, são:

- Granulometria (para solos arenosos);
 - Expansibilidade e petrificação* (para solos argilosos).
- * capacidade de permanência da coesão, mesmo após a imersão do solo

Os mesmos autores, ensaiando 21 tipos de solos com o objetivo de medir a expansibilidade, verificaram que, destes, 16 apresentavam um mau comportamento frente à erosão. A partir daí, desenvolveram uma técnica de ensaio para a determinação dos limites de absorção, onde a expansibilidade rege o comportamento do solo com alguma petrificação perante os processos erosivos. Tal técnica é utilizada para avaliar a aptidão dos solos à petrificação por secagem, como também à petrificação dos solos *in situ*, com interesse para o estudo da resistência à erosão em taludes de corte.

O ensaio consiste na confecção de amostras com pelo menos uma face plana, a partir blocos de solos indeformados, com aproximadamente 1 cm de espessura e 3 a 4 cm de diâmetro. Tal amostra é colocada sobre uma pedra porosa que se encontra parcialmente submersa em água num recipiente vítreo. O recipiente deve ser protegido com um plástico para que a evaporação da água seja evitada. A base da amostra é deixada em contato com a superfície superior da pedra porosa (que deverá permanecer sempre saturada), durante 24 horas, que por capilaridade, irá absorver água. Após este tempo, o conjunto pedra porosa+solo será colocado sobre um papel filtro que processará a retirada de toda a água livre existente. Posteriormente, uma cápsula será pesada (m), juntamente com a massa do solo ($m1$). Após a secagem na estufa, se determina o peso da amostra seca mais cápsula ($m2$). O limite de absorção será determinado por:

$$w'a = [(m1 - m2)/(m2 - m)] \cdot 100 \quad \text{onde:}$$

m – massa da cápsula (g);

$m1$ – massa da cápsula mais amostra após absorção (g);

$m2$ – massa da cápsula mais amostra seca (g).

Cabe ressaltar, que apenas os solos que apresentam alguma petrificação são submetidas a este teste. Nas demais amostras que não apresentam coesão pétrea, as características de granulometria, expansão e consistência definem seu comportamento perante aos processos erosivos.

2.3.3.6. ENSAIO DE DESAGREGAÇÃO

Este ensaio foi proposto por HOLMEGREN & FLANAGAN (1977) e consiste na colocação de uma amostra indeformada de solo com forma cúbica dentro de uma bandeja com água, para observar o comportamento da mesma em condições submersas. Num primeiro estágio, a amostra é colocada sobre uma pedra porosa, permanecendo cerca e trinta minutos com água na altura da base. Na etapa seguinte, o nível da água é elevado até atingir 1/3 da altura do corpo de prova onde permanece por quinze minutos. No último estágio, eleva-se novamente o nível d'água até a submersão total da amostra mantendo-se nestas condições até 24 horas após o início do ensaio. O comportamento da amostra submetida a este ensaio pode ser: sem resposta, abatido, fraturado ou disperso.

2.3.4. EROSÃO HÍDRICA: LAMINAR E LINEAR

Dentre as formas de erosão conhecidas, a mais importante em regiões de clima tropical, sem sombra de dúvida, é a erosão hídrica, devida tanto à sua abrangência, quanto aos prejuízos que acarreta. Abordando tal tema, NISHIYAMA (1995) apresenta as principais classificações propostas para tal processo.

A erosão hídrica é fundamentalmente a ação erosiva da chuva sobre o solo. A desagregação das partículas de solo causada pelo impacto direto das gotas de chuva e o escoamento superficial do excesso de água sobre o solo são os agentes ativos e o solo o agente passivo no processo de erosão hídrica (HUDSON, 1981 *apud* SILVA *et al.*, 1997).

Para BIGARELLA & MAZUCHOWSKI (1985) na erosão laminar ocorre uma contínua remoção de partículas do solo onde as frações mais finas são as mais afetadas.

BENNET (1939) ao estudar a erosão causada por escoamento ao longo de uma superfície de terreno separou em: laminar, escoamento em sulcos (Figura 2.7) e boçorocas.

FIGURA 2.7 - Foto aérea evidenciando feições de erosão hídrica linear (CORBIS-2000).

Para KOHNKE & BERTRAND (1959) a erosão hídrica pode ser dividida em três tipos principais: erosão laminar, erosão interna e erosão em canal. Esta última, subdividida em: sulcos, ravinas e erosão fluvial.

De acordo com IPT (1989) os resultados dos estudos desenvolvidos sobre o controle de erosão consideraram três formas de erosão: laminar, ravinas e boçorocas.

O “*Committee on Tropical Soils of ISSMFE*” (1985) *apud* NOGAMI & VILLIBOR (1995), analisando erosões ao longo de taludes de cortes de rodovias, caracterizou os principais tipos de feições erosivas encontradas no Estado de São Paulo, sendo:

a) Sulcos de declividade máxima – feições lineares paralelas, aproximadamente equidistantes, distinguindo-se, sobretudo, em dois subtipos:

a.1 – seção com bordas de cantos vivos que, nas etapas iniciais, limitam com a superfície inicial do corte. Típico de solos pouco resistentes à ação do fluxo d’água, como os siltes saprolíticos e as areias pouco coesivas.

a.2 – seção sem bordas definidas, com o desaparecimento da superfície primitiva do corte, típico dos materiais argilosos contráteis ou expansivos, que se “empastilham” sob a ação das intempéries. Tais solos são muito resistentes à erosão quando submersos permanentemente em corpo aquoso.

b) Sulcos controlados estruturalmente – são condicionados por peculiaridades estruturais ou de arranjo, principalmente as herdadas pela rocha matriz ou inerentes ao processo de sedimentação. São comuns nos solos saprolíticos de rochas metamórficas xistosas e/ou bandadas.

c) Boçorocas – grandes sulcos isolados, decorrentes da concentração anormal da enxurrada.

d) Colapsos – quando há evidência de queda de porção de solo, por descalçamento, devido a remoção de sua sustentação. Ocorre, principalmente, devido à erosão por água corrente na base de cortes, ou no horizonte superficial laterítico pela remoção da camada saprolítica subjacente.

e) Buracos, Janelas e Cavernas – os buracos são feições isoladas relacionadas a razões estruturais. As cavernas resultam da evolução de sulcos em solos siltosos e as janelas são geradas por intercalações de solos mais erodíveis, caracterizadas pela presença de sulcos do tipo *a*.

f) Desagregações superficiais – a remoção do solo se dá de maneira uniforme, sem o aparecimento de sulcos.

CLAYTON (1972) ao tratar dos processos da evolução das vertentes descreve dois processos básicos decorrentes da ação da água das chuvas, sendo: impacto das gotas e escoamento superficial. Este último seria responsável por duas formas de erosão: escoamento laminar e escoamento concentrado. Os micro-canais produzidos pelo escoamento concentrado mudam freqüentemente de localização ao longo da vertente, levando o processo a atuar arealmente. Quando tais canais não se movimentam o processo erosivo começa a evoluir verticalmente (*gulling*).

GUERRA & GUERRA (1997) consideram os termos erosão laminar ou em lençol, lençol d'água de escoamento superficial e *runoff* sinônimos. Processo formado pela água das chuvas que, ao caírem na superfície escorrem no sentido do maior declive.

FOURNIER (1960) caracteriza dois tipos principais de erosão produto do escoamento concentrado; a erosão em sulcos (Figura 2.8) e ravinas. A primeira consiste basicamente no arrastamento de partículas do solo pela água, resultando em pequenas reentrâncias que se desenvolvem sobre a superfície, perpendiculares às curvas de nível, enquanto que a segunda resulta de um processo em que a água escava intermitentemente no solo um canal de escoamento atingindo em fases evolutivas subseqüentes a rocha mãe.

FIGURA 2.8 – Talude às margens de uma rodovia com erosão em sulcos (COREIS-2000)

Para BIGARELLA & MAZUCHOWSKI (1985) o escoamento deixa de ser laminar e uniforme, concentrando-se em filetes quando a velocidade da água causa uma ação erosiva mais intensa, tanto para jusante como para montante, iniciando um entalhamento vertical inicial.

Um tipo particular de erosão linear é o *piping*. DOMINGUES *et al.* (1998) diz que a perda da resistência e o desarranjo da estrutura do solo são causados pela força de percolação da água em seu interior (ruptura hidráulica). Este processo promove a retroerosão, que se inicia em um ponto de surgência d'água e progride para montante,

carreando os sedimentos das camadas internas do solo pela ação do escoamento subsuperficial e formando espaços vazios interligados.

A capacidade erosiva de uma fonte aumenta com o comprimento da cavidade. A erosão interna leva a formação de cavidades que captam a água percolante através do meio poroso e, à medida que engrossam seu caudal aumentam seu poder erosivo. Nas concavidades que apresentam maior quantidade de linhas de fluxo a força de percolação é maior, aumentando também a probabilidade da erosão interna (TERZAGUI & PECK, 1969 *apud* MACIEL FILHO, 1994).

Para FOLQUE (1977) o fenômeno de *piping* ou entubamento ocorre em solos coesivos de forma pouco diferente de como ocorre em solos incoerentes. Às forças estabilizadoras que atuam numa partícula somam-se forças de aderência de partículas vizinhas. Por isso, o entubamento, ao contrário do que acontece em solos incoerentes, será sempre, ou quase sempre, antecedida de peptização, formando agregados de partículas que serão passíveis de remoção.

ZALAVSKI *et al.* (1965) *apud* MACIEL FILHO (1994) estudando problemas em barragens originados por eventos de *piping*, formularam uma teoria sobre o seu mecanismo. De acordo com o autor, o processo pode ocorrer no contato do núcleo com a areia do filtro. É aplicável, principalmente, aos solos coesivos e são consideradas as várias forças que agem sobre um elemento do solo, nomeadamente a força de percolação, o peso submerso e a resistência dos solos coesivos à erosão interna:

$$F_s = F_c / (F_g - F_d), \text{ onde:}$$

F_s – fator de segurança;

F_g^* – força da gravidade originada do peso efetivo das partículas;

F_d – força de arraste exercida sobre a partícula devida ao gradiente hidráulico;

F_c – resultante das forças coesivas.

* é uma componente perpendicular à superfície do solo, podendo ser somada ou subtraída de F_d , dependendo da posição da superfície do solo.

Analisando esta fórmula é possível deduzir que quanto menor o diâmetro da partícula e mais coeso for o solo, tanto menor a probabilidade de haver erosão.

2.3.4.1. EROSÃO LINEAR ACELERADA:BOÇOROCA

Para GUERRA & GUERRA (1997) boçorocas são escavações ou rasgos do solo ou rocha decomposta, ocasionada pela erosão do lençol de escoamento superficial.

FIORI & SOARES (1976) caracterizam tal fenômeno devido a uma velocidade de escoamento da água e logo remoção do material tão rápida que não permite o desenvolvimento de vegetação. Segundo esses autores, o processo de erosão acelerada está ligado a um desequilíbrio entre a quantidade de água que escoar na superfície da encosta, o tipo de escoamento, a forma da encosta e a erodibilidade do material.

Para OLIVEIRA *et al.* (1994) as boçorocas são canais incisos associados à dissecação do relevo e resultam da ação integrada entre diferentes processos geomorfológicos, como: escoamento (superficial e subsuperficial), bem como movimentos de massa nos domínios de encosta.

Segundo RODRIGUES (1982) o processo erosivo acelerado é causado pelo regime turbulento do escoamento que remove as partículas da face externa do talude, atingindo o interior da encosta. Neste estágio, constitui-se, por liquefação, em material movediço na base do talude. Por consequência, ocorre o solapamento das paredes laterais sendo agravado pelo surgimento do *piping* que comanda a formação de um novo ramo erosivo.

No Glossário de Termos Técnicos de Geologia de Engenharia da ABGE (1985) *apud* CERRI, SILVA E SANTOS (1997) “voçoroca” é definida como sendo uma forma erosiva, trabalhada pela erosão superficial e pelo solapamento provocado pela erosão subterrânea, em terrenos geralmente arenosos. Podem originar escavações de paredes abruptas de dezenas de metros de profundidade, centenas de metros de largura e comprimento. Trata-se de feições relativamente recentes, em grande parte provocadas pelo desmatamento. O mesmo que boçoroca.

OLIVEIRA & MEIS (1985) estudando o desenvolvimento de boçorocas no médio vale do rio Paraíba do Sul, definem três tipos principais de boçorocas: formas conectadas a rede regional de canais; formas desconectadas e que ocorrem nas encostas superiores das cabeceiras de drenagem e formas resultantes das duas formas anteriores (Figura 2.9).

FIGURA 2.9 – Tipologia de boçorocas (OLIVEIRA & MEIS, 1985)

NOGAMI & VILLIBOR (1995), destacam três tipos mais frequentes de boçorocas na região sudeste do Brasil, sendo eles:

a) Boçoroca arenosa – a boçoroca tradicional, desenvolve-se em solo predominantemente arenoso e apresenta, na sua cabeceira, surgência periódica ou contínua de água do lençol freático, geralmente associada à camadas menos permeáveis. Apresenta traçado normalmente retilíneo podendo se desenvolver em terrenos com topografia pouco inclinada.

b) Boçorocas siltosas – quando as ravinas e sulcos ultrapassam a camada de solo superficial laterítico atingindo a camada saprolítica de composição essencialmente siltosa. A cabeceira desse tipo de feição se encontra geralmente no alto de encostas. Com o desenvolvimento do processo novos canais se formam, tendendo se dispor de maneira dendrítica.

c) Boçoroca argilosa – desenvolve-se sobretudo pela desagregação consequente do processo de umedecimento e secagem de solos saprolíticos associados a folhelhos e argilitos e mais raramente em basaltos. Apresenta aspecto dendrítico com bordas arredondadas e planas, verificando um intenso empastilhamento nas paredes dos canais formados.

Segundo PRANDI & VILAR (1993) *apud* FONTES (1998) a fase menos freqüente mas talvez a mais espetacular do processo erosivo é a da formação das boçorocas. Tais autores as caracterizam como ravinas de grandes dimensões, normalmente provocadas por grandes concentrações de fluxo de água superficial. Segundo os mesmos autores, a maioria

das boçorocas instala-se preferencialmente em formações arenosas, podendo também ocorrer em solos derivados de granitos, migmatitos ou basaltos.

PRANDINI (1974) considera que a gênese da boçoroca está ligada à concentração do escoamento superficial, mas a partir do momento em que se efetiva a conexão dos fluxos superficiais e subterrâneos, instalar-se-ia a boçoroca propriamente dita.

Para PRANDINI (*op. cit.*) a boçoroca é identificada como um tipo de erosão progressiva, implantada num talude natural e gerada através da ação conjugada dos escoamentos superficiais e subterrâneos. O lençol freático, emergente na escarpa, arrasta materiais e desenvolve uma cavidade (*piping*), responsável pela queda do material sobrejacente.

CAVAGUTI (1994) enfatiza a importância do *piping* nos processos geradores de boçorocas na cidade de Bauru.

FIORI & SOARES (1976) identificam as principais características de uma boçoroca em atividade:

- entalhe vertical para o desenvolvimento do perfil de mínimo trabalho (côncavo);
- migração da seção de maior perda de altura dos taludes em direção à cabeceira;
- ramificação para a drenagem na encosta;
- alargamento para atender ao aumento da vazão;
- movimentos de massa nas paredes para atingir o talude estável.

2.4. LANDFORMS

2.4.1. CONCEITUAÇÃO DE LANDFORMS

Os principais conceitos encontrados na literatura a respeito de *Landforms* foram compilados do trabalho de LOLLO (1996), possuindo, de maneira geral, dois tipos de enfoque:

- a) Caráter eminentemente fisiográfico – Descreve uma parcela do terreno que pode ser diferenciada (isolada) das outras, como por exemplo:

“*Landforms* são elementos do meio físico que possuem composição definida, assim como as variações das características visuais e físicas, tais como : forma topográfica, modelo de drenagem e morfologia” (BELCHER, 1946);

“*Landform* é o elemento da paisagem que possui composição e variação de propriedades visuais e físicas definidas, como forma topográfica, padrão de drenagem e morfologia de canais, que ocorrem em todos os locais onde o *landform* ocorra” (KRIEG & REGER, 1986);

b) Caráter genético – Procura associar a feição com a sua forma de origem, imprimindo uma visão interpretativa, como por exemplo:

“*Landform* é a forma fisiográfica considerada em relação a sua origem, causa ou história” (MITCHELL, 1948);

“ $F = \int (PM) dt$; onde F é o *landform*, P são os processos responsáveis por sua formação e M são os materiais que o compõem” (GREGORY, 1978);

“ *Landform* são feições do terreno formadas por processos naturais que apresentam composição e tamanho definível de características físicas e visuais que ocorram em qualquer local que a feição esteja” (WAY, 1973);

Além destas definições são encontradas outras que se referem somente a *landforms* deposicionais ou erosivos ou outras que consideram a importância da estrutura geológica.

Devido ao fato de existir uma grande diversidade de enfoques usados , gerando muitas vezes uma dificuldade operacional, LOLLO (1996) propôs uma definição que satisfizesse as seguintes exigências:

- Apresentar uma descrição tipicamente fisiográfica de *landform*, possibilitando seu uso por meio do simples reconhecimento da forma, sem a necessidade de análise ou interpretação;
- Não usar os materiais como critério de distinção das formas do terreno, já que as diferenças entre as propriedades dos materiais devem ser uma consequência da eficiência da técnica e não um critério de análise;
- Não fazer distinções entre formas erosivas e deposicionais, pois tal diferenciação é considerada relevante apenas na etapa de análise dos resultados;
- Não explicitar a influência da estrutura geológica, deixando estas condições para análise posteriores.

A definição proposta pelo autor é: “*Landform* é uma porção do terreno originada por processos naturais e distinguível de suas unidades vizinhas (outros *landforms*) em, pelo

menos, um dos seguintes elementos de identificação: forma e posição topográfica, organização e densidade de drenagem, declividade do terreno, amplitude do relevo e forma da encosta”.

2.4.2. LINHAS DE ESTUDO DAS FORMAS DE RELEVO

O estudo das formas de terreno apresenta fundamentalmente duas linhas básicas de aplicação: uma voltada para o estudo da gênese e evolução das formas, com enfoque de aspectos puramente geomorfológicos e a outra voltada para aplicação dos conceitos na avaliação das condições naturais do meio físico, podendo ser efetuada de duas formas, pela avaliação estética (visual) da paisagem ou pela avaliação do terreno.

2.4.2.1. ESTUDO DA GÊNESE E EVOLUÇÃO DAS FORMAS

Esta linha visa o aprofundamento do estudo sobre a gênese e evolução das formas, tratada sob dois aspectos fundamentais:

- Como produto de condições erosivas locais (água, gelo e vento);
- Como resultado da alteração de sistemas deposicionais.

Estudos dessa natureza não são indicados para análise do meio físico para fins de engenharia, pois apresentam caráter geomorfológico ou centrado apenas nos processos evolutivos.

2.4.2.2. AVALIAÇÃO VISUAL DA PAISAGEM

Este tipo de utilização tem uma grande aplicação na área de paisagismo e na ocupação de áreas para fins de recreação (bosques, parques, etc.). Os estudos dessa natureza apresentam duas formas distintas de aplicação:

- Pelo uso de componentes mensuráveis, os quais são avaliados em termos qualitativos.
- Pela ênfase na percepção, por consumidores potenciais, da qualidade cênica.

2.4.3. AVALIAÇÃO DO TERRENO

O Método de Avaliação do Terreno caracteriza-se como a categoria de análise da paisagem mais útil para o levantamento de condições do meio físico para a engenharia, pelo fato de se levar em conta os solos e as rochas presentes em determinada região.

Segundo LOLLO (1996) foram desenvolvidas duas maneiras diferentes de se avaliar o terreno, que são:

a) Enfoque de Paisagem – Delimitação de diferentes feições do terreno com base num conjunto de interpretações fotointerpretativas e de campo, promovendo o zoneamento de áreas semelhantes.

b) Enfoque Paramétrico – Delimitação de áreas com feições características com base na medida de parâmetros representativos das formas, tais como: declividade, amplitude e extensão dessas feições.

O mesmo autor ainda ressalta que a caracterização geotécnica dos materiais (rochosos e inconsolidados) só é possível depois desse zoneamento, através da análise de informações geotécnicas anteriores e de ensaios de campo e de laboratório e só a partir desse ponto é possível então a análise do tipo de ocupação pretendida para a área, tendo-se em vista as características encontradas para o meio físico (Figura 2.10).

FIGURA 2.10 – Esquema dos procedimentos empregados para caracterização de uma área para fins de uso e ocupação por meio da utilização da técnica de Avaliação de Terreno (LOLLO, 1996).

2.4.3.1. NÍVEIS HIERÁRQUICOS DE LANDFORMS

Para o zoneamento do terreno em *landforms* utiliza-se três níveis hierárquicos: Sistema de Terreno, Unidade de Terreno e Elemento de Terreno. LOLLO & ZUQUETTE (1997), apresentam as seguintes definições para tais níveis:

a) Sistema de Terreno - São associações de feições de relevo com expressão espacial determinada e que apresenta condições similares de processos evolutivos e de materiais rochosos associados.

b) Unidade de Terreno – Feição individual do relevo que se distingue das demais as quais está associada por indicar um determinado conjunto de processos do Sistema de Terreno no qual se situa, sendo que estas diferenças devem refletir em termos dos materiais inconsolidados associados à Unidade.

c) Elemento de Terreno – É a parte de uma feição individual do relevo distinguível das demais partes em termos de inclinação ou forma de vertente, posição ou forma topográfica e que deve refletir condições diferenciadas dos materiais inconsolidados em termos de sua espessura ou de variações laterais no perfil de alteração dos materiais inconsolidados.

Obs.: A escala de trabalho (grau de detalhamento) e a finalidade é que vai determinar a utilização ou não dos três níveis hierárquicos.

2.4.4 – APLICAÇÕES DA TÉCNICA

De acordo com LOLLO & ZUQUETTE (1997) a utilização do estudo de *landforms* por meio da Técnica de Avaliação de Terreno, constitui uma ferramenta básica e essencial de zoneamento preliminar do meio físico para quaisquer fins de engenharia.

Segundo os mesmos autores, a aplicação mais usual do estudo de *landforms* é na elaboração de documentos cartográficos, como:

- Mapas Regionais Multifinalidades – São mapas de grande ajuda às análises voltadas ao planejamento regional. Normalmente são elaboradas em escalas pequenas à médias (<1:50.000).
- Mapas Regionais Finalidade Específica – São mais utilizados principalmente como suporte para planejamento de áreas agrícolas, à análise regional de riscos e avaliação

para implantação de obras lineares. Comumente são elaboradas em escalas médias, entre 1:25.000 e 1:50.000.

- Mapas Locais – Apresentam dois tipos de finalidades: a análise de riscos e a prospecção de materiais grandes. São elaborados em grandes escalas (>1:25.000).

2.4.5. USO DA AVALIAÇÃO DO TERRENO PARA FINS GEOTÉCNICOS

A aplicação da técnica de Avaliação do Terreno para fins geotécnicos vem sendo difundida em várias partes do mundo com grande variação de escalas e finalidades. LOLLO & ZUQUETTE (1997) apresentam uma revisão dos principais trabalhos em nível mundial, revisão esta, mostrada a seguir:

Um dos primeiros a utilizar feições de relevo para descrição regional da paisagem e sua relação com os materiais presentes foi BOURNE (1931) *apud* LOLLO (1996) com a proposição do princípio da similaridade dos elementos da paisagem, segundo o qual paisagens similares deveriam refletir condições evolutivas similares.

Os profissionais do Reino Unido foram os pioneiros na avaliação do terreno para fins de engenharia, com os trabalhos desenvolvidos pelo *Military Engineering Experimental Establishment* (MEXE) nas colônias africanas, em obras lineares e prospecção de materiais de construção para rodovias.

A partir da década de 40, com o desenvolvimento do método de Mapeamento de Sistema de Relevo pela CSIRO – *Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization* da Austrália, para o trabalho em pequenas escalas (mapas regionais multifinalidade). Visava classificar a adequação da terra para fins agrícolas e para o planejamento regional, em grandes regiões da Austrália e Nova Guiné.

A adoção deste método para diversos países como Nigéria, Tanzânia, Lesoto e Gâmbia, foi feita pela LRD – *Land Resources Division*, de administração inglesa. Na África do Sul, tal abordagem foi utilizada na engenharia rodoviária para o planejamento de traçados e identificação de materiais de construção, além de ter auxiliado no planejamento urbano.

Em Hong Kong os métodos de trabalho também derivaram dos desenvolvidos no Reino Unido com vista à análise de risco de escorregamento de taludes.

Nos Estados Unidos da América os trabalhos tiveram grande desenvolvimento, sendo aplicados principalmente para finalidades rodoviárias e agrícolas.

Na Holanda o uso da avaliação do terreno se desenvolveu a partir dos trabalhos do ITC - *International Institute of Aerial Survey and Earth Sciences* com vistas ao planejamento urbano e regional.

2.4.6. EVOLUÇÃO DAS FORMAS DO RELEVO EM CLIMA TROPICAL

O conhecimento adquirido entre associação das feições do relevo (*Landforms*) e os materiais do meio físico, sob condições de clima temperado, tem permitido a utilização em larga escala da avaliação do terreno como critério da caracterização das condições geotécnicas.

Nas regiões de clima tropical as condições climáticas favorecem grandemente o intemperismo químico com uma tendência à suavização das formas, espessamento do manto de alteração e a tendência a produzir perfis de alteração completamente diferentes dos produzidos em clima temperado, fato pelo qual faz com que a identificação dos *landforms* em regiões de clima tropical se torne difícil.

Segundo TRICART (1972) as formas suaves do relevo tropical são conseqüências diretas das condições climáticas. O autor descreve o processo para três condições litológicas distintas:

- a) Em rochas arenosas a intensidade de lixiviação favoreceria a formação de crostas ferruginosas que protegeriam as formas suaves da erosão.
- b) Em rochas sedimentares não arenosas e rochas metamórficas de textura fina as altas taxas de precipitação associadas às baixas permeabilidades favoreceriam a erosão em lençol criando formas mais aplainadas.
- c) Em rochas graníticas e gnáissicas o intemperismo químico tenderia a criar um manto de alteração altamente permeável e facilmente erodível, favorecendo o desenvolvimento de feições do tipo “meias laranjas”.

2.4.7. APLICAÇÃO DA AVALIAÇÃO DO TERRENO PARA FINS GEOTÉCNICOS NO BRASIL

A aplicação da técnica de avaliação do terreno no Brasil vem sendo usada basicamente à escalas regionais e análises multifinalidade.

O pioneiro no Brasil na aplicação da técnica usando o enfoque da paisagem foi ZUQUETTE (1991). O trabalho foi elaborado a dois níveis de escala com correspondentes níveis hierárquicos de *landform*.

Os trabalhos ao nível de Unidade de Terreno foram conduzidos visando o zoneamento geotécnico com vistas ao planejamento regional (escala 1:50.000 a 1:100.000).

Os trabalhos ao nível de Elemento do Terreno foram conduzidos visando o zoneamento geotécnico com um alto grau de detalhamento (escala 1:12.500), possibilitando posteriormente a elaboração de trabalhos de análise de riscos.

COLLARES (1992) aplicou o Método de Avaliação do Terreno em escala regional (1:50.000) utilizando como critérios básicos as formas de relevo e os materiais inconsolidados associados.

SARAIVA (1995) realizou o mapa geotécnico da Folha de Socorro com base na análise das formas de relevo (*landform*).

LOLLO (1996) aplicou a Técnica de Avaliação do Terreno no processo de mapeamento geotécnico na tentativa de avaliar aplicabilidade da técnica em uma região intertropical. O trabalho foi conduzido em dois níveis hierárquicos de *landform*: Sistema de Terreno (escala 1:250.000) e Unidade de Terreno (escala 1:100.000).

2.4.8. RECONHECIMENTO DE LANDFORMS

LOLLO (1996) mostra uma sistemática de reconhecimento e identificação para os *landforms*, a partir de procedimentos e critérios específicos para cada nível hierárquico.

2.4.8.1 – Sistema de Terreno

O Sistema de Terreno é determinado através da identificação das características gerais do terreno, com o objetivo do reconhecimento das grandes expressões geomorfológicas da área. Logo, a caracterização do mesmo é determinada usando o seguinte procedimento:

- Observação inicial do fotomosáico da área;
- Detalhamento por meio da análise de estereopares;
- Observação de mapas topográficos compatíveis às fotografias aéreas em escala;
- Interpretação dos estereopares, que possibilitará o processo de generalização;
- Obtenção do Mapa de Sistemas de Terreno.

2.4.8.2 – Unidade de Terreno

O procedimento para identificação das Unidades de Terreno (Tabela 2.7) se faz com base nas características geomorfológicas da área, como forma topográfica (Tabela 2.8), característica das drenagens, amplitude de relevo, inclinação das vertentes e frequência e estruturação das redes dos canais. A identificação de tais feições é realizada através das seguintes etapas:

- Fotoanálise preliminar dos estereopares;
- Confecção de seções tipo, que serão utilizadas para posterior verificação das características das unidades delimitadas e de seus limites;
- Interpretação das fotografias aéreas;
- Elaboração do Mapa de Unidade de Terreno.

TABELA 2.7 – Termos utilizados para descrição de unidade de terreno e seus critérios de descrição (LOLLO, 1996).

Significado	Termo	Dimensões ou Descrição	Critério de medida ou de descrição
Expressão Geográfica (colina, morrote e morro)	pequeno médio amplo	< 1km 1 a 2km > 2km	extensão maior* * - maior componente de extensão da forma
Expressão Geográfica (vale)	pequeno médio amplo	< 1km 1 a 2km > 2km	extensão* * - seção transversal do vale
Forma da Seção Transversal (colina)	ondulada suave ondulada aplainada	5 a 10% 2 a 5% < 2%	declividade das vertentes
Forma do Topo (morrote e morro)	arredondado anguloso	< 20% > 20%	declividade do topo
Forma do Vale	fechado aberto	> 10% < 10%	declividade das vertentes
Forma da Encosta	convexa retilínea côncava	convencional convencional convencional	
Frequência de Canais	muito alta alta média baixa	> 15/km ² 7 a 15/km ² 3 a 7/km ² < 3/km ²	número total de canais (inclusive ravinas) por km ²

TABELA 2.8 – Critérios de reconhecimento de algumas formas de relevo (LOLLO,1996).

Feição	Critérios de Reconhecimento
Escarpa	altas declividades (>20%), amplitude de relevo maior que 100m.
Colina	vertentes convexas ou côncavas, topos ondulados a aplainados, declividades moderadas a baixas (<10% na maioria dos casos), amplitude de relevo menor que 100m.
Vale	vertentes convexas ou côncavas, declividades variadas (desde muito baixas até altas), amplitude de relevo variada.
Morrote	vertentes predominantemente convexas, topos arredondados a angulosos, declividades moderadas a altas (>10%), amplitude de relevo menor que 100m.
Morro	vertentes convexas a retilíneas, topos ondulados a pontiagudos, declividades altas (>20%), amplitude de relevo maior que 100m.

2.4.8.3 – Elemento de Terreno

O procedimento empregado para a caracterização dos Elementos de Terreno é muito parecido com a utilizada para a Unidade de Terreno, diferindo apenas pelo maior detalhe requerido. KING (1962) *apud* MITCHELL (1973) propôs uma subdivisão do perfil completo de uma encosta em quatro componentes, cada um deles apresentando distintos processos de movimento de massa e fluxo de água: crista, escarpa, parte com detritos da porção superior da vertente e pedimento suavemente côncavo.

2.4.8.4 – Fase de Campo

É a fase complementar de caracterização dos *landforms*. Consiste no levantamento de seções dos *landforms*, as quais são selecionadas em áreas-chave onde o zoneamento é considerado tanto confiável quanto em áreas que representam dúvidas. Baseia-se na caracterização minuciosa dos materiais presentes sendo verificada a sua variabilidade nos sentidos vertical e horizontal. Seções tipo devem ser orientadas perpendicularmente à drenagem e abranger todas as Unidades de Terreno presentes na área-chave, não necessitando ser contínuas ou retilíneas. Dependendo do intervalo predominante da vertente, podem ser obtidas informações referentes aos processos atuantes e predominantes (Tabela 2.9).

LOLLO (1996) observou que nas encostas de formas convexas o perfil tende a ser mais espesso e completo na base da encosta e em encostas côncavas o perfil tende a ser mais espesso e completo junto ao topo da encosta, enquanto que em encostas com formas

retilíneas apresentam perfis mais homogêneos em espessura e representatividade ao longo da vertente.

TABELA 2.9 –Relação da forma de perfil da encosta e processos associados (LOLLO,1996).

Intervalo Dominante da Vertente			
Característica	Convexa	Retilínea	Côncava
Transporte dominante	<i>Creep</i>	Gravidade	Escoamento Superficial
Pedogênese e Morfogênese	Predomina pedogênese	Morfogênese	Morfogênese
Condição de acumulação	Alta, maior espessura na base	Baixa	Baixa, maior espessura no topo
Intensidade de retirada	Baixa	Alta	Alta (escoamento)
Característica do depósito	Finos	Colúvio grosseiro de pé de vertente	Colúvio de rampa

2.5. MAPEAMENTO GEOTÉCNICO

2.5.1. CONCEITOS

Mapa geotécnico é o mapa geológico que agrupa todos os componentes do ambiente geológico-geotécnico tendo como objetivo o de planejamento do uso e ocupação do solo, projeto, construção, manutenção de obras civis e engenharia de minas (I.A.E.G., 1976).

Carta geotécnica é a representação da expressão prática do conhecimento geológico aplicado à gestão dos problemas impostos pelo uso do solo que permite ao usuário prever o desempenho da interação entre ocupação e o meio físico, bem como os conflitos entre as diversas formas de uso do solo e orientar medidas preventivas e corretivas no sentido de reduzir os riscos aos diferentes empreendimentos de uso do solo (BITAR *et al.*, 1992).

Para VARNES (1974) o mapa geotécnico requer para a sua confecção operações básicas de adição, seleção, generalização e transformação das informações espaciais relativas à litologia, estruturas do solo e rochas, hidrogeologia, geomorfologia e processos geológicos.

MATULA (1974) define que um bom mapa geotécnico é o modelo mais ilustrativo do ambiente geológico servindo às finalidades de engenharia.

ZUQUETTE (1987), cita que o mapeamento geotécnico é um processo de análise dos componentes do meio físico, tendo como finalidade básica levantar, avaliar e analisar os atributos que compõem o meio físico, sejam geológicos, hidrogeológicos e outros. O mesmo autor enfatiza a diferença existente entre o termo mapeamento geotécnico e outras denominações. Para ele, mapa geotécnico seria uma representação dos atributos geotécnicos levantados objetivando apenas refletir as verdadeiras condições do meio físico, sem a realização de uma análise interpretativa, enquanto que carta geotécnica seria uma representação dos resultados da interpretação dos atributos que estão num mapa.

Para BOWMAN (1968) *apud* ZUQUETTE (1987), a linguagem gráfica possui um vocabulário, gramática, frases, estruturas, significados e uma série de outras características similares a linguagem escrita.

FERNANDES *et al.* (1987) definem carta geotécnica como sendo a representação gráfica das potencialidades e limitações do meio físico que traduz um certo número de informações geológicas-geotécnicas que são apresentadas através da delimitação de zonas ou unidades com as mesmas características face às intervenções previstas. O tipo de informação apresentada é consequência dos objetivos da elaboração da carta, variando as metodologias de execução.

PRANDINI *et al.* (1991) *apud* NISHIYAMA (1995) dizem que a cartografia geotécnica reflete, desde avaliação de problemas já existentes até as formulações das orientações de uso, uma importante contribuição da geologia de engenharia, na medida em que melhor traduzem a orientação entre as múltiplas solicitações/modificações impostas pelas obras e o meio físico afetado, suas potencialidades e limitações.

2.5.2. PRINCÍPIOS QUE REGEM O MAPEAMENTO GEOTÉCNICO

THOMAS (1970) *apud* FERRANTE (1992) cita uma série de princípios que orientam o mapeamento geotécnico, onde os principais são:

- Considerando que o mapa geotécnico seja mais completo do que o mapa geológico e talvez mais complexo, torna-se necessário que ele seja elaborado com a máxima simplicidade, recomendando-se:

1. Limitar o número de atributos a serem considerados em cada folha, de maneira a resguardar a fidelidade do mapa;

2. Respeitar a finalidade desejada e mostrar as informações por meios de comunicações versáteis.

- Deve-se considerar que o mapa geotécnico é um documento temporário e que está sujeito a receber novas informações.

- O mapa geotécnico nunca substituirá um reconhecimento local, devendo ser encarado como um documento utilizado para auxiliar a escolha adequada de uma dada figura de reconhecimento.

- O mapeamento deve proporcionar ao usuário a utilização racional do espaço e a proteção dos recursos naturais, bem como a segurança das construções, a previsão e a prevenção de riscos naturais e a influência das condições geotécnicas sobre os custos das obras DEARMAN & MATULA (1976) *apud* COLLARES (1992).

Para a IAEG (1976) os mapas geotécnicos estão frequentemente baseados em mapas geomorfológicos, hidrogeológicos e geológicos, devendo apresentar uma avaliação dos dados promovidos pelos mapas, devendo atender os seguintes princípios:

- Apresentar as informações de modo que seja facilmente entendida por outros profissionais que não geólogos;

- Apresentar informações objetivas necessárias para avaliar aspectos geotécnicos do meio ambiente para finalidades de planejamento regional/urbano, específica de engenharia civil ou de minerações;

- Facilitar o prognóstico das mudanças no ambiente geotécnico.

2.5.3. PRINCIPAIS METODOLOGIAS DE MAPEAMENTO

O mapeamento geotécnico vem sendo usado desde o início do século, porém, foi a partir da década de 60 e 70, principalmente, devido ao aumento das cidades e dos setores de produção é que se teve um maior desenvolvimento de tais técnicas, com a criação de metodologias, sistemáticas e o desenvolvimento de novas tecnologias na investigação do solo e subsolo.

Dentre as principais metodologias internacionais de caráter abrangente vale citar: SANEJOAUND (1972); MATHEWSON&FONT (1973); IAEG (1976); PUCE (1975). Para um maior aprofundamento no tema cabe citar os trabalhos de ZUQUETTE (1987), ZUQUETTE & GANDOLFI (1988) e ZUQUETTE (1993).

Em nível nacional, as principais metodologias de mapeamento geotécnico são: MACIEL FILHO & GASPARETTO (1987); ZUQUETTE (1987); COUTINHO *et al.* (1990); BROLLO *et al* (1995 e 1996), entre outros. Tais metodologias são pormenorizadas em ZUQUETTE (1987), PEJON (1992), SOUZA (1996), FONTES (1998) e LIMA (2000).

2.5.4. ELABORAÇÃO DE CARTAS DE SUSCEPTIBILIDADE À EROSÃO

Uma sistemática bastante utilizada em cartografia de áreas com enfoque à erosão é a desenvolvida pelo IPT e tem como meta principal a “exatidão no diagnóstico para um perfeito casamento da solução adotada a um processo ocorrido ou que deveria vir a ocorrer novamente” (SANTOS, 1994). Para tanto, tal sistemática compreende quatro fases de execução, a saber:

1. Entendimento - Diagnosticar, em sua natureza e dinâmica, os fenômenos geológico-geotécnicos envolvidos nas inter-relações solicitação/meio físico geológico;
2. Solução – Servir de suporte para a Engenharia na formulação de soluções mais adequadas, zelando, principalmente, pela perfeita aderência fenômeno/solução;
3. Acompanhamento – Monitorar a implantação da solução escolhida, sugerindo eventuais ajustes técnicos necessários;
4. Monitoramento – Acompanhará o desempenho da solução escolhida, sugerindo eventuais adaptações que se façam necessárias.

De acordo com as fases supracitadas, elaborado com base na sistemática criada pelo IPT, SANTOS (1994) propõe que os estudos desenvolvidos na pesquisa sejam divididos em três etapas: obtenção dos dados, interpretação dos dados e análise e conclusão.

Segundo PEJON (1992) os trabalhos de mapeamento geotécnico devem apresentar estrutura metodológica, combinando os três métodos científicos, de maneira a proporcionar o conhecimento do meio físico. Tal procedimento pode ser dividido em três fases:

- Definição dos atributos que devem ser analisados, devido a sua importância, em função da inter relação com os demais atributos e da finalidade do estudo. Em relação a este tema ZUQUETTE (1987) afirma que o principal problema em relação a trabalho de mapeamento geotécnico consiste em definir o rol de atributos representativos para determinada finalidade;
- Divisão da área em várias unidades, em função de propriedades e relações entre atributos anteriormente escolhidos. Tais unidades representam zonas homogêneas quanto às características dos componentes do meio físico que foram analisados;
- As zonas que foram delimitadas anteriormente devem ser comprovadas por meio de ensaios ou testes, envolvendo, quando necessário, os métodos estatísticos.

As cartas e mapas de Geologia de Engenharia/Geotecnia podem ser confeccionados em várias escalas, variando de 1:5.000 até 1:250.000, podendo ter diversas finalidades, desde projetos de uma obra específica ou em termos dos aspectos de previsão de problemas e

correção, com o intuito de prever formas de ocupação, planejamento territorial e ambiental, além da avaliação de dados econômicos, como seguro de propriedades e bens (ZUQUETTE *et al.*, 1991).

O conceito de cartas interpretativas e derivadas “são documentos gráficos confeccionados a partir do conhecimento e registros dos componentes do meio físico, normalmente registradas em mapas, representado por um conjunto de atributos, com diferentes finalidades e destinadas ao usuário para orientá-lo nas diferentes fases do projeto” (ZUQUETTE, 1991). A Carta de Susceptibilidade a Erosão é uma das principais cartas interpretativas e derivadas, que podem ser elaboradas no sentido de atender às exigências dos diferentes tipos de usuários.

Para a elaboração de tais cartas pode-se utilizar vários mecanismos, como, por exemplo: recursos manuais (gráficos, etc.), e/ou automatizados (SIG, etc.). Segundo ZUQUETTE *et al.*, (1991) os mecanismos mais utilizados são:

- Sobreposição simples - As informações, neste caso, devem ser muito bem selecionadas, hierarquizadas e a combinação deve ser dirigida. No caso de sobreposição sem controle, o documento resultante refletirá unicamente o documento cartográfico básico que apresenta a maior subdivisão em zonas, sendo, na maioria das situações, as classes morfométricas.
- Matrizes – Analisa um grupo de atributos dando diferentes valores para cada, assim como as relações entre as unidades nas diferentes matrizes, sejam bi ou tridimensionais.
- Classes taxonômicas – Seleciona atributos que devem ser considerados para a definição de cada classe do documento cartográfico em questão, seja a uma finalidade específica ou geral. Dentre os mecanismos, sem dúvida, é o mais utilizado, pois apresenta as seguintes vantagens: padronização de atributos e níveis de valores para cada região em função das características do meio físico e das formas de ocupação; padronização de atributos para cada carta, gerando uma maior controle durante a sua confecção; desenvolvimento de *softwares* para cada carta e região em análise; melhor aproveitamento das informações pelo usuário das cartas; as classes taxonômicas direcionam o trabalho de obtenção das informações do meio físico no processo de mapeamento geotécnico.
- Árvore lógica – Permite considerar um grande número de atributos e seus níveis de valores. Deve-se considerar: seleção e hierarquização de atributos para se evitar a criação de unidades sem significado técnico ou que não ocorram na região de estudo; avaliação do grau de interferência existente entre o atributo e a forma de ocupação em análise. Configura-se como um dos mais abrangentes e eficientes.

- Hierarquização – Define e delimita zonas com muita segurança. Deve-se considerar: seleção dos atributos que deverão ser tratados e que tenham significado para a região em análise; considerar quais atributos são covariantes e quais são os principais controladores; definir qual a real importância dos atributos e limites para os fins analisados.
- Métodos estatísticos – Consideram os diferentes atributos do meio físico que permitem a definição quantitativa de uma unidade para um zoneamento específico. São desenvolvidas por: análises bivariada ou multivariada.
- Métodos determinísticos - São utilizados com base em condições pré-estabelecidas de valores e procedimento de análises. Exigem condições de homogeneidade em termos de um número muito grande de atributos.

2.6. SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS (SIG)

2.6.1. CONCEITOS BÁSICOS

Para TEIXEIRA, MORETTI & CHRISTOFOLETTI (1992) antes de se entender o que é um SIG é necessário conhecer a definição de alguns conceitos que são comumente utilizados pelos profissionais que trabalham com esta ferramenta:

Sistema – Arranjo de entidades (elementos ou coisas) relacionadas ou conectadas, de tal forma que constituem uma unidade ou um todo organizado, com características próprias e subordinadas a processos de transformação conhecidos.

Entidades – Elementos ou objetos tomados como unidades básicas para a coleta dos dados. Os dados relacionam-se com os atributos, que caracterizam e fornecem significado à unidade. Por exemplo: pode-se tomar um determinado lugar como entidade e as suas características de solo, relevo e uso da terra como alguns de seus atributos.

Dado – Símbolo utilizado para a representação de fatos, conceitos ou instruções. São conjuntos de valores que são, numéricos ou não, sem significado próprio.

Informação – Conjunto de dados que possuem significado para determinado uso ou aplicação.

Informação geográfica – Conjunto de dados cujo conteúdo apresenta uma relação ou associação de natureza espacial. Tais dados podem ser apresentados de forma gráfica (pontos, linhas e polígonos), numérica (caracteres numéricos) ou alfa- numérica.

Assim, um SIG utiliza uma base de dados computadorizada que contém informação espacial (Figura 2.11), sobre a qual atuam uma série de operadores espaciais

(Figura 2.12). Logo, os Sistemas de Informações Geográficas são como cadeias automatizadas de informações que partem de uma base de dados geográficos, para realizar diferentes tipos de análises e obter resultados significativos do ponto de vista territorial

DALE & McLAUGHLIN (1989) *apud* LOMBARDO *et al.* (1995) definem um Sistema de Informações Geográficas como sendo a combinação de recursos técnicos computacionais e humanos que, unidos a um conjunto de procedimentos organizacionais, é capaz de produzir informação para o auxílio de algum requerimento gerencial.

FIGURA 2.11 – Base de dados espaciais (TEIXEIRA *et al.*, 1992)

FIGURA 2.12 – Conceito lógico de SIG (TEIXEIRA *et al.*, 1992)

Na Figura 2.11 o mundo real é mostrado em uma série de planos. Cada plano está relacionado a um dado ou grandeza física de terreno, e assim, ele mapeia e descreve um atributo do terreno separadamente. Nesta estrutura, o usuário de um SIG pode organizar o trabalho em projetos e nestes armazenar diferentes planos de informação (PI's). Cada projeto deve corresponder a um referencial geográfico distinto, e cada PI pode conter um tipo de informação (uso do solo, vegetação, topografia, etc.) ligadas à área de estudo.

TEIXEIRA, MORETTI & CHRISTOFOLETTI (1992) caracterizam os SIGs como sendo constituídos por uma série de programas e processos de análise cuja característica

principal é focalizar o relacionamento de determinado fenômeno da realidade com sua localização espacial.

MARBLE (1984) define SIG como sendo sistemas voltados à aquisição, análise, armazenamento, manipulação e apresentação de informações referenciadas espacialmente.

O “Sistema Geográfico de Informação (SGI)” constitui o tipo de estrutura mais importante em termos de viabilização do geoprocessamento, sendo um conjunto de procedimentos computacionais que, operando sobre bases de dados geocodificados ou mais evolutivamente, sobre bancos de dados geográficos, executa análise, reformulações e sínteses sobre os dados ambientais disponíveis (SILVA & SOUZA, 1987).

Para RODRIGUES (1990), é interessante ressaltar a diferença entre o termo SIG *strictu sensu*, que corresponde apenas a um *software* para desempenhar as funções de coleta, armazenamento, manipulação e apresentação de dados referenciados espacialmente, do SIG *lato sensu* que representa o *software* e um conjunto de atividades de formulação, dimensionamento, programação e gerenciamento de aplicativos, bem como o pessoal técnico envolvido para operar o sistema e executar as funções descritas.

Os SIG podem também ser definidos como sendo sistemas automatizados usados para armazenar, analisar e manipular dados geográficos, ou seja, dados que representam objetos e fenômenos em que a localização geográfica é uma característica inerente à informação e indispensável para analisá-la (CÂMARA *et al.*, 1996).

Para BURROUGHS (1986) os Sistemas de Informações Geográficas constituem um conjunto de ferramentas para coleta, armazenamento, recuperação, transformação e exibição de dados espaciais do mundo real para um conjunto particular de propósitos.

Os componentes da informação geográfica são armazenados pelo sistema em base de dados digitais. A coerência entre eles é essencial para garantir a homogeneidade da informação geográfica de que se está tratando. Esta tarefa torna-se complexa pois, geralmente, os atributos estão armazenados em arquivos diferentes daqueles que possuem os dados de localização e representação cartográfica. A única forma de se obter uma conexão correta é através da utilização de um *identificador comum* em cada um dos arquivos, para cada informação trabalhada. Além disso, as propriedades são independentes umas das outras e podem variar sem alterar as demais (LOMBARDO *et al.*, 1995).

O mesmo autor ainda enfatiza que a operação de um SIG inclui a aquisição e classificação dos dados, assim como o seu processamento, armazenamento, atualização, recuperação, análise e disseminação e que a utilidade de um determinado SIG dependerá da sua capacidade de manter os dados atualizados, completos e acessíveis.

2.6.2. FONTES DE DADOS E ESTRUTURAS DE REPRESENTAÇÃO

Segundo TEIXEIRA *et al.* (1992) existem duas questões básicas no tocante a linha diretriz os Sistemas de Informações Geográficas: obtenção de dados e a representação das informações analisadas.

2.6.2.1. FONTES DE DADOS

Os dados utilizados em um SIG são originados de várias fontes que podem ser divididas em: primárias (levantamentos de campo ou sobre produtos de sensoriamento remoto) e secundárias (mapas e estatísticas). Na formação das bases de dados um dos fatores principais é a compatibilização entre os planos de informação, de forma com que estejam sempre comparáveis. Para tanto, define-se um espaço em três dimensões: longitude (x), latitude (y), que localizam espacialmente o atributo; o valor relativo ao tema (z).

Os elementos espaciais podem ser pontos, linhas e áreas, definidos sobre um sistema qualquer de coordenadas. A dimensão “z”, que se refere o valor do atributo, pode ser representada na forma alfa-numérica simbólica, o que significa que os dados a serem representados devem estar em escala nominal (classes). Para tanto, os valores numéricos referentes a um determinado atributo deve passar por um processo de transformação, da escala razão para uma escala nominal antes de serem inseridos na base de dados do SIG.

A dimensão tempo refere-se a variação temática em épocas distintas. Neste caso, novos níveis de informação (temas) vão sendo agregados à base de dados ou, quando necessário, novas bases vão sendo criadas.

2.6.2.2. ESTRUTURA DE REPRESENTAÇÃO DE DADOS ESPACIAIS

A organização do espaço quadridimensional pode obedecer a estruturas diversificadas, podendo ser classificadas em geométricas e não-geométricas. As estruturas não-geométricas utilizam dados que incluem atributos como nome, população atividade econômica, etc., e relações não-geométricas entre elementos. As estruturas geométricas descrevem diversos atributos de um elemento como sua posição e relações de vizinhança ou de conexão com outros elementos (topologia).

As estruturas geométricas, por sua vez, podem ser divididas em *raster* e vetoriais.

LOMBARDO *et al.* (1995) cita que no modelo *raster* o espaço geográfico é dividido segundo um sistema de quadrículas uniformes, a cada célula é associado o atributo predominante, utilizando seu valor médio. Isto significa que a informação geográfica contínua é convertida em *informação discreta*, perdendo em exatidão e detalhes, porém ganhando em facilidade de manipulação e na rápida obtenção de esquemas cartográficos.

No modelo vetorial é assumido um espaço geográfico contínuo, que cumpre com os postulados da geometria euclideana. A informação corresponde com entidades representadas por pontos, linhas e superfícies obtidas a partir de coordenadas cartesianas conectadas por linhas de diferentes dimensões (Figura 2.13).

FIGURA 2.13– Forma de representação dos dados (GARCIA, 1982)

• ESTRUTURAS RASTER

TEIXEIRA *et al.* (1992) caracteriza a partição do espaço na estrutura *raster*, ou de varredura, a partir da obtenção de uma malha com linhas verticais e horizontais espaçadas regularmente, formando células (*pixels*). Tais células possuem dimensões verticais e horizontais iguais, que definem a resolução da malha. Isto equivale dizer que ocorre um processo de generalização onde os vários elementos que podem constituir uma quadrícula deixam de ser individualizados.

Para exemplificar uma estrutura *raster* pode-se considerar uma base de dados referentes a um município onde estão armazenadas informações como o uso da terra, relevo, tipos de solo, temperatura, etc. Cada tema pode possuir várias classes que são codificadas através de números ou símbolos. Cada quadrícula mantém sempre a mesma localização espacial e os seus atributos são consignados de acordo com o plano estudado (Figura 2.14).

FIGURA 2.14 – Rasterização dos diferentes temas de estudo (TEIXEIRA *et al.*, 1992).

Quando são utilizados mapas como fontes de dados, a entrada no sistema envolve as fases de preparação do documento, codificação, digitalização e correção de erros. Inicialmente deve-se estabelecer um código para cada classe (atributo) do tema. Em seguida, sobrepõe-se ao mapa a malha pré-definida, ajustando-a de acordo com pontos de controle fixos e com coordenadas conhecidas. Para cada elemento da malha é então estabelecido o código correspondente à classe no mapa, podendo-se seguir dois critérios básicos. No primeiro, considera-se para a quadrícula a classe localizada sob seu centro, no segundo considera-se a classe com maior presença na quadrícula. Excepcionalmente, as malhas de pontos podem também ser utilizadas para dados na escala razão; é esse o caso na coleta de dados altimétricos para a formação de Modelos Digitais de Elevação - MDE (Figura 2.15). Neste caso específico, sobre a base topográfica coloca-se a malha quadriculada e coleta-se a cota do centro da quadrícula (TEIXEIRA *et al.*, 1992).

FIGURA 2.15 – Exemplo de modelo digital de terreno (CORBIS-2000).

• ESTRUTURAS VETORIAIS

A representação vetorial de um elemento é uma tentativa de reproduzi-lo o mais exatamente possível (TEIXEIRA *et al.*, 1992).

Segundo o mesmo autor, em forma vetorial, qualquer elemento pode ser reduzido a quatro formas básicas:

a) Elementos pontuais – Tais elementos abrangem todas as entidades geográficas que podem ser perfeitamente posicionadas por um único par de coordenadas x, y.

b) Linhas – São na realidade conjuntos de pelo menos dois pontos. Além das coordenadas dos pontos que compõem a linha, elas necessitam armazenar informações que indique o tipo de linha que se está tratando.

c) Redes – Elas não trazem nenhuma informação a respeito das ligações entre elas. O conhecimento de tais ligações pode ser de grande importância (exemplo: estudo de redes de drenagem). Para se estruturar uma rede de linhas que possa ser reconstruída pelo computador, devem ser usadas apontadores dentro da estrutura de dados. Tais elementos baseiam-se no uso de pontos chamados de nós (Figura 2.16).

d) Polígonos – Polígonos podem ser representados de várias maneiras em formato vetorial. Apresenta como principal função a de representar as propriedades topológicas de áreas como por exemplo a forma, vizinhança, hierarquia, etc., de tal maneira que os atributos associados aos elementos areais possam ser manipulados de mesma forma de que em um mapa temático analógico.

FIGURA 2.16 – Estrutura vetorial em rede (TEIXEIRA *et al.*, 1992).

RICHARDS (1986) comparando os dois tipos de formatos cita que a representação vetorial é feita por um conjunto de coordenadas no espaço bidimensional (2D), que delimitam regiões temáticas ou representam redes, armazenadas com as respectivas propriedades topológicas. A representação varredura, dá-se através de grupos de celas implementadas como uma matriz 2D, onde cada cela (elemento de imagem ou *pixel*) é identificada por índice de linha e coluna. Um número representa o tipo ou o valor do atributo mapeado (usualmente de 0 a 255) que é o formato de aquisição multiespectrais de sensoriamento remoto.

2.6.3. INTEGRAÇÃO SENSORIAMENTO REMOTO E SIG.

Nos últimos anos, com a crescente demanda de informações com o objetivo de monitorar os recursos naturais, o sensoriamento remoto e os sistemas de informações geográficas têm emergido como importantes tecnologias capazes de fornecer dados mais precisos e oportunos.

Para GARCIA (1982) o sensoriamento remoto apresenta como objetivo principal a coleta de informações relevantes sobre todos os fenômenos da superfície terrestre e o estudo de suas propriedades eletromagnéticas, como são registradas a partir de um avião ou satélite. Para este autor, as propriedades mais importantes das imagens produzidas pelas diferentes técnicas de sensoriamento remoto podem ser agrupadas em:

- a) as imagens mostram o registro da intensidade eletromagnética que é refletida ou emitida pela superfície do terreno;
- b) o registro é feito como impulsos eletromagnéticos ou como densidades fotográficas;
- c) o registro mostra a distribuição espacial das propriedades energéticas da paisagem;
- d) todos os objetos no terreno são registrados no mesmo instante o que gera uma visão global que reflete uma inter-relação entre eles;
- e) durante a transferência da superfície da Terra para a imagem, a informação original é distorcida pelo “ruído” eletrônico do equipamento de registro;
- f) as informações a respeito do fenômeno dependem do comprimento de onda e intervalos espectrais da energia eletromagnética registrada. Logo, diferentes sensores produzem informações diferentes, sendo os princípios básicos:

- comprimentos de onda longos apresentam resolução mais baixa em comparação com comprimentos de onda menor;
- intervalos espectrais amplos oferecem menos diferenciação e mais interferência que intervalos mais estreitos;
- a quantidade de informações aumenta quando se utilizam diferentes bandas ou imagens.

EHLERS (1992) afirma que um SIG, quando combinado com dados atualizados de sistemas de sensoriamento remoto, pode auxiliar na automação da interpretação, identificação de mudanças, compilação e revisão de mapas. Como grande parte dos SIG têm a capacidade de sobrepor vários *layers* com dados referenciados, é possível que o usuário possa determinar graficamente e analiticamente, o modo de como as estruturas e objetos interagem entre si.

Para CROSTA (1993) um dos principais objetivos do sensoriamento remoto é o de identificar e distinguir as composições de diferentes materiais superficiais, sejam eles tipos de vegetação, padrões de uso do solo, rochas e outros. Essa distinção e identificação tornam-se possíveis devido ao fato de que os materiais superficiais apresentam comportamentos específicos ao longo do espectro eletromagnético, comportamentos estes que podem ser utilizados para identificá-los.

Segundo o mesmo autor, a função primordial do processamento digital de imagens de sensoriamento remoto é a de fornecer ferramentas para facilitar a identificação e a extração da informação contida nas imagens para posterior interpretação. Assim, sistemas de computação são utilizados para atividades interativas de análises e manipulação de imagens brutas. Segundo ele, para se extrair informações de imagens envolve o reconhecimento de propriedades de padrões ou objetos que compõem a imagem. O sistema visual humano possui uma notável capacidade de reconhecer padrões, porém, apresenta dificuldade em processar grande volume de informação presente numa imagem. Vários tipos de distorções e degradações, próprias dos processos de aquisição de imagens, contribuem para aumentar ainda mais esta limitação.

Os Sistemas de Informações Geográficas e sensoriamento remoto podem direcionar um importante avanço nas pesquisas e nas aplicações operacionais. A união dessas duas tecnologias pode resultar em um grande aumento de informações para diferentes tipos de usuários. Estes mesmos usuários têm direcionado suas análises, que anteriormente tinham por objetivos a identificação de aspectos simples, para resolução de problemas complexos (STAR & ESTES, 1990 *apud* BARGUIL, 1998).

2.6.4. EXEMPLOS DE UTILIZAÇÃO DE SIG EM ESTUDOS DE EROÇÃO E USO DA TERRA

São verificados na literatura, inúmeros exemplos de aplicação de usos de SIG em estudos de erosão e uso da terra, alguns são citados a seguir:

A forma atual de aplicação do modelo EUPS em ambiente SIG, pode ser resumido segundo PELLETIER (1985) *apud* CERRI (1999) em:

- a) Registro dos planos de informação referenciados em relação a uma base cartográfica (UTM, Mercator, etc.), de forma a conferir uma mesma coordenada geográfica para os pontos independentemente do plano de informação em que estejam situados e ainda um mesmo posicionamento no banco de dados digital (x e y);
- b) Cálculo dos valores para cada plano de informação segundo a EUPS;
- c) Efetuar as operações de integração com o objetivo de estabelecer os valores finais para o índice “A”, que representa a estimativa de perda total de solo por unidade de área.

Segundo CHAVES *et al.* (1995) a erosão do solo pode ser determinada de modo qualitativo ou quantitativo, apresentando vantagens e desvantagens. O modo qualitativo apresenta como principal vantagem a facilidade de manipulação dos fatores selecionados em termos de grau de risco à erosão e sua posterior combinação para a obtenção do grau de severidade erosiva. Apresenta, porém, como principal desvantagem, não permitir a obtenção de valores numéricos, importantes para a estimativa de degradação do solo e da sedimentação. O modo quantitativo (exemplo: EUPS) permite a estimativa da erosão absoluta, facilitando o planejamento conservacionista. Porém, os modelos quantitativos exigem um maior conhecimento por parte do usuário, além de requerer mais informações do que os modelos qualitativos.

JAGER (1994) *apud* CERRI (1999) usou a EUPS para gerar mapas de susceptibilidade à erosão de uma determinada área na Alemanha. Utilizando-se do SIG – *Idrisi*, estimou a perda de solo e determinou as classes de susceptibilidade à erosão pela tolerância de perda de solo. O autor apontou deficiências e limitações no método adotado, principalmente com relação ao cálculo do fator LS.

DUPAS (1997) trabalhando no município de Presidente Figueiredo/AM, na Mina Pitinga, teve como objetivo caracterizar o meio físico, avaliando a área no contexto regional, caracterizando as áreas afetadas pela atividade mineradora, bem como avaliar, multitemporalmente, a evolução dos impactos de 1982 até 1995. Para tal, utilizou imagens

orbitais de satélite TM LANDSAT (1985 e 1989 nas bandas 3, 4 e 5) e do HRV SPOT (1995 nas bandas 1, 2 e 3).

WEBER *et al.* (1993) *apud* DUPAS (1997) utilizaram o Sistema Georreferenciado para Manejo Integrado de Bacias Hidrográficas (SGMIBH), desenvolvido pelo Departamento de Engenharia Rural da UFSM/RS, no levantamento e determinação de áreas propícias ao florestamento e reflorestamento na microbacia hidrográfica do arroio Morcego no município de Espumoso-RS. Foram utilizadas cartas topográficas 1:50.000 e imagens LANDSAT 5/TM nas bandas 3, 4 e 5 com escala aproximada 1:100.000.

RAMALHO (1994) propôs uma metodologia de mapeamento geotécnico para a cidade de Viçosa, utilizando a tecnologia de SIG. Tal proposta caracterizou a cidade e a dividiu em áreas de acordo com suas capacidades (se eram adequadas ou não a ocupação) e funções (com localização dos diferentes usos de seu solo) e criou um programa para cadastramento, gerenciamento e apresentação de furos de sondagem executadas na região.

FERRAZ (1996) estudando áreas urbanas sujeitas à inundações, estabeleceu um zoneamento na região da rua do Porto (Rio Piracicaba), no município de Piracicaba/SP. Para tanto, utilizou-se do SIG *IDRISI*, digitalizando três planos de informação (PI): altimetria, hidrografia e uso do solo. Com dados coletados na última grande inundação, foi gerada uma equação de inundação, que aplicado ao Modelo Digital de Elevação foi criado um Modelo Digital de Vazões (MDV). Para se determinar a extensão das inundações, utilizou imagens do satélite SPOT no modo pancromático.

SAUSEN & FARIA (1990) *apud* DUPAS (1997) estudaram a influência da ação antrópica na bacia do Lago do Açú (MA). Tal trabalho teve como objetivo principal, diagnosticar, através de análise multitemporal, os efeitos da ação antrópica e de alguns fatores naturais na degradação ambiental da bacia. Foram utilizadas imagens Landsat MSS e TM. Imagens multiespectrais correspondentes aos canais MSS 5 e 7 e aos canais TM 3 e 4, dos períodos de cheias e vazantes, nos anos de 1975, 1981, 1985, 1987 e 1989, foram analisadas, considerando-se a rede de drenagem e a evolução do uso do solo na bacia. Concluíram que uma série de fatores contribuiu para desencadear tal evento:

- a) o impacto da ação antrópica é grande devido a ocupação intensa, através de desmatamentos e formação de pastagens, nos últimos 14 anos;
- b) estradas e projetos agrícolas;
- c) apesar da falta de mata de galeria, observou-se baixo índice de erosão atribuída à topografia plana da região e, conseqüentemente, baixos índices de assoreamento.

FERREIRA (1998) apresentou uma proposta metodológica para a regionalização de pequenas bacias hidrográficas. Tal regionalização baseava-se no levantamento e

integração espacial entre os seguintes parâmetros: coeficiente de cobertura vegetal (Cv), coeficiente médio de impermeabilidade (Ci) e fator topográfico (Ft). O parâmetro Cv foi obtido pelo processamento e classificação digital de imagens TM-Landsat no SIG.

FONTES (1999) desenvolveu um estudo sistemático dos processos erosivos em escala 1: 5.000, de uma área de aproximadamente de 6 Km², no município de Ouro Preto – MG. Para tanto, utilizou-se do Mapeamento Geotécnico e da Técnica de Compartimentação de Terrenos e do Sistema de Informações Geográficas *IDRISI* como principais ferramentas para a execução deste trabalho.

2.6.5. PRINCIPAIS SIG'S E SUAS CARACTERÍSTICAS

Seria praticamente impossível relacionar todos os Sistemas de Informação Geográfica existentes no mercado. Será apresentada a seguir, uma relação dos SIG mais consagrados e utilizados no Brasil, bem como suas principais características.

- ***IDRISI*** – Desenvolvido pela *Clark University, Massachussets*, trabalha na forma *raster* de representação, permite a migração direta dos dados, tanto para ERDAS como para ARC-INFO. É bastante utilizado no meio acadêmico devido ao seu baixo custo e estrutura em módulo.

- **ARC-INFO** – Desenvolvido pela ERSI (*Environmental System Research Institute*), consagrado a nível mundial, foi lançado pela primeira vez em 1987 na sua versão PC. Apresenta consideráveis recursos no que tange a digitalização, modelagem e análise de dados espaciais. Admite dados de várias fontes, incluindo forma *raster*, imagens de satélites e oriundos de digitalização por scanner.

- **ERDAS** – Apresenta como ponto fundamental o tratamento digital de imagens, além de permitir o tratamento das mesmas de maneira integrada com os demais dados do sistema.

- **GRASS** – *Geographical Resouces Analysis Support System*. Sistema desenvolvido pelo Laboratório de Pesquisas do Corpo de Engenheiros de Construção do Exército Norte-americano (USA/CERL), com a finalidade em trabalhos de planejamento ambiental e gerenciamento de recursos naturais. Apresenta como características principais: a facilidade de digitalização dos dados, interface com outros pacotes aplicativos, capacidade de processamento, bem como suas possibilidades de processamento de imagens.

3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

3.1. LOCALIZAÇÃO

A área de estudo se situa na região centro-leste do Estado de São Paulo e está localizada entre as UTM's 7632.000 m / 7674.000 m e 242.000 m / 286.000 m, zona 23 Sul (Figura 3.1), contida nas folhas SF-23-V-C-II-1 (Altinópolis), SF-23-V-C-II-2 (Itamoji), SF-23-V-C-II-3 (Cajuru) e SF-23-V-C-II-4 (Mococa) (Figura 3.2), abrangendo uma área de, aproximadamente, 895 km². Em relação a UGRHI do Rio Pardo, a região de estudo se encontra no sub-domínio denominado Médio Pardo e abrange duas sub-bacias da margem direita do Rio Pardo: Rio Araraquara e Rio Cubatão. Territorialmente, a região de estudo contém parte dos municípios de Altinópolis, Cajuru, Cássia dos Coqueiros e Santo Antônio da Alegria. Os principais acessos a área são a SP-338 a partir de Ribeirão Preto sentido Cajuru, SP-333 a partir de Santa Cruz da Esperança sentido Cajuru e SP-351 a partir de Batatais sentido Altinópolis.

FIGURA 3.1 – Localização da área estudada.

FIGURA 3.2 - Articulação dos mapas topográficos (1:50.000) que compõem a Bacia do Rio Pardo no Estado de São Paulo. As quadrículas hachuradas representam os mapas que contêm a área estudada (modificado de IPT/CBH-PARDO, 2000).

3.2. CLIMA

O Clima encontrado na região de estudo, se enquadra, utilizando-se da classificação de Koppen, como sendo o Cwa. Este domínio se caracteriza por apresentar temperaturas moderadas, com verão quente e chuvoso, sendo que no mês mais frio a temperatura média é menor que 20°C e no mês mais quente a média é superior à 22°C.

Na área de estudo existem várias estações pluviométricas, porém, apenas três estão ativas. Procurou-se caracterizar as chuvas que ocorrem na região considerando a média dos últimos 5 anos, sempre em relação ao total mensal e a máxima mensal. Os valores de pluviosidade são apresentados na tabela 3.1.

TABELA 3.1 – Valores de pluviosidade que ocorrem na área de estudo (Período 1997 – 2001).

ESTAÇÕES	MÁXIMAS MENSAIS (mm)		MÁXIMAS TOTAIS (mm)	
	<i>Média de 12 meses</i>	<i>Máxima / Mês</i>	<i>Média de 12 meses</i>	<i>Máxima / Mês</i>
C4-039 - Altinópolis	27.6	80.0 / Dez	113.7	344.1 / Dez
C4-088 - Cajuru	25.6	70.8 / Dez	101.1	321.5 / Dez
C4-102 – C. dos Coqueiros	24.9	49.2 / Dez	67,3	231.0 / Dez

3.3. VEGETAÇÃO

A área de estudo apresenta apenas fragmentos da cobertura vegetal nativa, que se encontram geralmente preservadas nas proximidades de escarpas e paredões. São representadas, principalmente, pela Mata de Cerrado e, secundariamente, por Capoeiras e Matas. Atualmente, a utilização do solo é voltada principalmente para a agricultura e pecuária. As principais culturas vegetais nesta região são a cana-de-açúcar, o café, sendo que secundariamente, ocorre o cultivo de milho e soja. A maior porcentagem da área, porém, está ocupada por pastagem.

3.4. GEOLOGIA REGIONAL

A Bacia Hidrográfica do Rio Pardo, pode ser dividida, geologicamente, em dois domínios, a saber: Embasamento Cristalino e Bacia do Paraná. O primeiro ocorre na região do Alto Pardo, sendo representado pelo Maciço Guaxupé e pela Faixa de Dobramentos Alto Rio Grande. As rochas da Bacia do Paraná afloram em cerca de 70% de toda a Bacia do Pardo (IPT/CBH-PARDO, 2000).

A Bacia do Paraná é uma unidade geotectônica formada a partir da subsidência sobre a Plataforma Sul-Americana que teve início no Siluriano-Devoniano Inferior e que atingiu sua máxima expansão entre o Carbonífero Superior e o final do Permiano (ALMEIDA, 1980 *apud* IPT, 1981).

Na área de estudo só afloram rochas associadas à Bacia do Paraná, ocorrendo depósito desde o Triássico Médio (Fm. Pirambóia) até os derrames basálticos e intrusões associadas de idade Juro-Cretácea (Fm. Serra Geral).

3.5. GEOMORFOLOGIA

A geomorfologia da região de estudo está quase que totalmente contida na província denominada Depressão Periférica. Esta se encontra associada às rochas sedimentares Paleozoicas da Bacia do Paraná (arenitos finos, arcóseos, argilitos, siltitos, calcários e folhelhos).

De acordo com IPT (1981) esta província se caracteriza por apresentar formas suavizadas, levemente onduladas, constituídas por: Colinas Amplas; Morros Amplos;

Colinas Médias e Morrotes Alongados e Espigões . O padrão de drenagem predominante neste domínio é o dendrítico à retangular com algum condicionamento estrutural. Os solos encontrados neste domínio, de acordo com a nova classificação de solos (EMBRAPA, 1999) são do tipo LATOSSOLO, ARGISSOLO e NEOSSOLO. Ocorrem ainda, de modo restrito, GLEISSOLOS e CAMBISSOLOS.

Na região de Altinópolis, extremo norte da área de estudo, ocorre a província chamada de *Cuestas* Basálticas. Apresenta escarpas nos limites com a Depressão Periférica, seguido de uma sucessão de grandes plataformas estruturais de relevo suavizado, inclinadas para o interior em direção à calha do Rio Paraná (IPT *op. cit.*). As rochas que ocorrem nesta província são, principalmente, derrames sucessivos de rocha eruptiva básica (basalto) que recobriram sedimentos das formações Pirambóia e Botucatu. Os principais sistemas de relevo desta unidade são: Planícies Fluviais; Colinas Amplas; Colinas Médias, Morros Amplos, Morrotes Alongados e Espigões; Morros Arredondados e Mesas Basálticas. O solo mais comum neste domínio é o LATOSSOLO.

A distribuição dos principais sistemas geomorfológicos que ocorrem na área pode ser visualizado a seguir (Figura 3.3):

FIGURA 3.3 – Localização dos principais sistemas geomorfológicos existentes na área de estudo (modificado de IPT/CBH-PARDO, 2000).

4. ASPECTOS METODOLÓGICOS E PROCEDIMENTOS DE ANÁLISE

4.1. METODOLOGIA

A metodologia utilizada nesta pesquisa foi a proposta por ZUQUETTE (1987 e 1993) com algumas modificações. Tal procedimento teve o intuito de melhor adaptar esta metodologia para as necessidades da pesquisa. A Figura 4.1, mostra o fluxograma contendo as principais etapas realizadas no projeto e que serão detalhadas a seguir.

FIGURA 4.1 – Procedimento metodológico empregado na pesquisa (modificado de ZUQUETTE, 1993).

Com base nesta metodologia, procurou-se adotar a sistemática proposta por PEJON (1992) para elaboração de Carta de Susceptibilidade à Erosão, que utiliza o índice de erodibilidade (NOGAMI & VILLIBOR, 1979), associado às informações de textura e espessura dos materiais inconsolidados, tipo e grau de alteração do substrato rochoso e características geomorfológicas (forma da encosta, declividade, etc).

4.2. PROCEDIMENTOS

4.2.1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA E LEVANTAMENTO DE DADOS EXISTENTES

O início dos trabalhos foi marcado com uma pesquisa bibliográfica que objetivou agregar informações a respeito dos tópicos que seriam abordados ao longo da pesquisa, bem como relacionar todo o acervo existente de mapas e fotografias aéreas referentes à área de estudo.

De posse de tais documentos, processou-se a digitalização das folhas topográficas que continham a área em questão. Os mapas topográficos utilizados foram os confeccionados pelo IBGE datado de 1974 e com escala 1:50.000.

Juntamente com a digitalização do mapa base, processou-se também a fotointerpretação preliminar, que teve como base fotografias aéreas datadas de 1965 em escala de 1:60.000. Teve como objetivo fazer um primeiro reconhecimento das Unidades de Relevo existentes na área, bem como de feições erosivas.

4.2.2. ETAPAS DE CAMPO

Com o término da digitalização do mapa base e da fotointerpretação preliminar, ocorreu uma intercalação entre trabalhos de campo, laboratório e escritório.

Nas etapas de campo procurou-se identificar quais variações do ponto de vista de geomorfologia, substrato rochoso, materiais inconsolidados que possibilitaram a separação da área nas 21 unidades de relevo encontradas na área. As Figuras 4.2 e 4.3 mostram o modelo de ficha utilizada em campo para descrição de pontos e de furos de sondagem, respectivamente.

Na primeira ida ao campo, o objetivo era apenas de checar possíveis contatos litológicos e o grau de alteração em que as diferentes litologias se encontravam, descrição dos materiais inconsolidados, principalmente em relação a sua cor, textura e gênese.

Com o refinamento dos dados obtidos em campo foi possível estabelecer uma programação e coleta sistemática de amostras.

FICHA DE CAMPO								Nº	
Coord. N :	Localização :		Faixa de voo :		Sub-bacia :		Observações :		
Coord. S :	Situação :		Foto aérea :		Tipo :				
Altitude :	Observações :		Pto de referência :		Posição :				
SUBSTRATO ROCHOSO									
Litologia	Denominação	Tipo Geotéc.	Cor	Geometria	Extensão Lateral	Mineralogia	Estruturas		
MATERIAL INCONSOLIDADO									
Origem	Cor	Espessura	% areia	% Argila	Estruturas	Contatos	Tipo Ped.	Superf: espessura (m)	
FEIÇÕES EROSIVAS									
Estado Atual		Grau de desenvol.		Dimensões		Observações		Cond. Climáticas	
Ativo :		Incipiente :		Comprimento:				Surgência de água	
Dorm. :		Médio :		Largura:				Sol:	Sim:
Estabilizado :		Avançado :		Profund.:				Nublado:	Não:
COLETA DE AMOSTRAS									
Amostras Indeformadas					Amostras Deformadas				
Amostrador maior					Tipo pedológico				
Amostrador menor					Posição no terreno				
Posição do terreno					Landform associado				
Tipo pedológico					Número da amostra				
LANDFORM ASSOCIADO									
						CROQUI :			
Formas de relevo	Form. encostas	Form. vales	interflúvios	Alt. Média (m)	Decliv.				
Escarpa	Conv-cônc	U	Arredondados	<10	Alta				
Colina	Convexa	V	Tabulares	10-30	Méd. Alta				
Vale	Côncava	tabular	Angulosos	30-100	Média				
Morrote	Cônc-conv.			100-300	M. baixa				
Morro	Retilínea			>300	Baixa				
USO E OCUPAÇÃO DO SOLO									
1 – Área de aterro ou entulho		5 – Reflorestamento		9 – Área industrial		13 – Mata virgem			
2 – Área de exploração mineral		6 – Zona urbana muito adensada		10 – Estradas		14 – Área de proteção ambiental			
3 – Área de plantio (tipo)		7 – Zona urbana adensada		11 – Área desertificada		15 – Parque ambiental			
4 – Pastagem		8 – Zona urbana pouco adensada		12 – Mata ciliar					
OBSERVAÇÕES FINAIS									

FIGURA 4.2 – Modelo de ficha de campo utilizado na pesquisa.

FICHA DE SONDAGEM		
SONDAGEM N° -	PONTO N° -	UNIDADE N° -
AMOSTRAS N° -	COORDENADAS UTM -	
DESCRIÇÃO		
PROFUNDIDADE (M)		

FIGURA 4.3 – Modelo de ficha de sondagem a trado utilizado na pesquisa.

Tomando sempre em consideração a disposição das diferentes Unidades de Relevô presentes na área, elaborou-se um plano de sondagens a trado que teve como objetivo determinar com maior precisão a espessura e a geometria dos materiais inconsolidados. Os critérios e locação das sondagens foram os seguintes:

- determinação, para cada Unidade de Relevô, de uma encosta representativa, considerando comprimento, declividade, amplitude de relevô e forma. Esta encosta deveria representar o padrão mais comum existente na Unidade;
- Execução, na medida do possível, de três sondagens localizadas na base, na meia encosta e no topo da encosta escolhida como a padrão da Unidade (Figura 4.4). Para a finalidade deste trabalho optou-se por um alcance máximo de sondagem de 5 metros. Tal escolha se mostrou acertada pois ajudou sobremaneira na confirmação dos limites traçados em mapa para cada Unidade de Relevô.

Para cada variação textural verificada no decorrer da sondagem, foi coletada uma amostra para ensaios em laboratório.

Ao todo foram executadas 43 sondagens cujas fichas são mostradas no final deste trabalho (Apêndice 1).

Em pontos considerados estratégicos e em feições erosivas foram coletadas amostras indeformadas (Figura 4.5) em anel (2 amostras por ponto) e amostras deformadas para a realização de ensaios de laboratório.

FIGURA 4.4 - Execução de sondagem a trado.

FIGURA 4.5 – Coleta de amostra indeformada em anel.

4.2.3. ENSAIOS DE LABORATÓRIO

Com as amostras indeformadas em anel foram realizados os ensaios de erosão proposto por NOGAMI & VILLIBOR (1979) e da determinação da massa específica seca de campo pelo método do anel (ZUQUETTE, 1987). Ao todo, foram coletadas 97 amostras deformadas e 66 amostras indeformadas. Os resultados dos ensaios podem ser vistos no Apêndice 2.

Os ensaios realizados com as amostras deformadas foram os seguintes:

- Ensaio de Granulometria Conjunta – Norma ABNT NBR 7181/84;
- Adsorção de Azul de Metileno – PEJON (1992);
- Massa Específica dos Sólidos – Norma ABNT NBR 6508/84;

4.2.4. ANÁLISE, AVALIAÇÃO E CRUZAMENTO DOS DADOS

Nesta fase se processou a sistematização dos dados adquiridos nas etapas anteriores, que possibilitou a geração dos documentos cartográficos (mapa do substrato rochoso, carta de declividade, mapa de unidades de relevo, mapa de uso e ocupação do solo, mapa de materiais inconsolidados e a carta de susceptibilidade à erosão). Tais documentos produzidos são a seguir comentados de forma sucinta, visando esclarecer quais os principais critérios considerados em sua elaboração.

4.2.4.1. MAPA TOPOGRÁFICO

Foram digitalizadas quatro folhas topográficas (Altinópolis, Cajuru, Itamoji e Mococa) com o auxílio do programa *AutoCad 14*. As cartas topográficas confeccionadas em escala 1:50.000 com curvas de nível apresentando equidistância de 20 metros, sendo a cota mínima de 540 metros e a máxima de 1120 metros. Este documento serviu como base para a elaboração do modelo digital de terreno (MDT) confeccionado o programa *SURFER 7.0*.

4.2.4.2. MAPA DE DOCUMENTAÇÃO

Este documento visa localizar em mapa os pontos de referência, tais como: amostragem, sondagens a trado, pontos de controle, malha viária e qualquer outra informação que possibilite visualizar, de maneira clara, a distribuição das informações ao longo da área de estudo os atributos coletados em campo.

4.2.4.3. MAPA DE UNIDADES DE RELEVO (*LANDFORMS*)

O Mapa de Unidades de Relevo foi confeccionado utilizando-se a Técnica de Avaliação de Terreno proposta por LOLLO (1996). Com esta técnica foi possível gerar um zoneamento preliminar da região estudada a partir da compartimentação de regiões em termos de similaridades de feições de relevo, que por sua vez, refletem características

similares do ponto de vista de perfis de alteração (substrato rochoso e materiais inconsolidados). Esta técnica é descrita no Capítulo 2.

4.2.4.4. CARTA DE DECLIVIDADE

A Carta de Declividade foi confeccionada utilizando o software *IDRISI 32* a partir do MDT previamente criado, com o método de interpolação chamado de mínima curvatura. Sua confecção leva em consideração as informações contidas no mapa topográfico e consiste, basicamente, na delimitação de áreas que apresentam faixas de inclinação das vertentes dentro de uma mesma classe de declividade (NISHIYAMA, 1998).

4.2.4.5. MAPAS DE SUBSTRATO ROCHOSO E MATERIAIS INCONSOLIDADOS

Estes mapas foram confeccionados utilizando-se de informações pré-existentes (referências bibliográficas e mapas), trabalhos de escritório (fotointerpretação) e de campo (critérios de classificação textural e composicional de PRICE, 1993).

4.2.4.6. MAPA DE USO E OCUPAÇÃO

O Mapa de Uso e Ocupação foi gerado no programa ENVI 3.4 a partir de imagens de satélite LANDSAT – TM (96 X 96 km) datadas de setembro de 1999, sendo utilizadas para este trabalho as bandas espectrais 4 (0,76 – 0,90 μm), 5 (1,55 – 1,75 μm) e 3 (0,63 – 0,69 μm).

5. DOCUMENTOS CARTOGRÁFICOS GERADOS

5.1. MAPA DE DOCUMENTAÇÃO (ANEXO 1)

Para a elaboração do mapa de documentação (Figura 5.1) utilizou-se como base o mapa topográfico sendo o mesmo digitalizado também no *AutoCad 14*. Neste documento constam os seguintes itens:

- Principais cidades que ocorrem na área;
- Principais vias de acesso rodoviário, ferrovias e acessos de terra;
- Malha de coordenadas UTM;
- Pontos de ocorrência de feições erosivas;
- Pontos de controle;
- Pontos de amostragem de coleta de amostras indeformadas e deformadas;
- Pontos de execução de sondagens a trado.

FIGURA 5.1 - Mapa de documentação da área de estudo (escala original 1:50.000).

5.2. CARTA DE DECLIVIDADE (ANEXO 2)

A partir do mapa topográfico digitalizado gerou-se o modelo digital de terreno (MDT) da área em questão, com o auxílio do programa *SURFER 7.0*. Tal documento permitiu uma visualização global da área e auxiliou na demarcação das Unidades de Relevô (Figura 5.2).

As classes de declividade foram definidas baseadas em aspectos geomorfológicos e nas inclinações de terreno em que ocorriam as feições erosivas, isto é, procurou-se definir classes que separassem as principais feições geomorfológicas contidas na área, bem como definir uma classe de declividade que abrangesse a maioria dos processos erosivos verificados em campo. Para tanto, fez-se uma análise dos padrões de relevo contidas na área, chegando-se então na definição de seis classes de declividade.

- . As principais etapas para geração do mapa de declividade foram as seguintes:
 - Depois de digitalizado o mapa topográfico no *Auto Cad 14*, foram deixados abertos apenas os *Layers* referentes às curvas de nível para serem exportados no formato *R 12/LT 2 DXF*. Os defeitos criados no processo de interpolação tendem a se localizar nos extremos do mapa base. Para sanar este problema, optou-se pela digitalização, na íntegra, de cada mapa em que a área de estudo estava inserida;
 - Conversão do arquivo *DXF* em arquivo *DAT* com o programa *DXF2DAT.EXE*;
 - Interpolação do arquivo *DAT* no programa *SURFER 7.0*, gerando um arquivo com extensão *GRD*;
 - Geração de um mapa de sombra para a confirmação do sucesso do método utilizado para a interpolação, que neste caso, foi utilizado o da mínima curvatura;
 - O arquivo *GRD* foi importado para o programa *IDRISI 32* que gerou um arquivo com extensão *IMG*, sendo este utilizado para a geração da Carta de Declividade.

No *IDRISI 32*, utilizou-se a função *SLOPE* para a geração da Carta de Declividade (Figura 5.3) em percentagem, reclassificada em seis classes de interesse (Tabela 5.1)

TABELA 5.1 – Classes de declividade definidas para a área de pesquisa.

CLASSES	INTERVALOS (%)	INCLINAÇÕES (°)
1	0 – 3	0 – 1.7
2	3 – 5	1.7 – 3
3	5 – 10	3 – 6
4	10 – 30	6 – 17
5	30 – 60	17 - 31
6	> 60	> 31

FIGURA 5.2 – Mapa de sombra criado no SURFER 7.0 com a localização das unidades de relevo. Notar que, na maioria dos casos, os contrastes de textura confirmam a separação dos mesmos.

FIGURA 5.3 – Carta de Declividade da área de estudo (escala original 1:50.000).

5.3. MAPA DE USO E OCUPAÇÃO (ANEXO 3)

A seqüência de procedimentos adotada nas principais etapas no processamento das imagens de satélite é mostrada a seguir:

- Georreferenciamento - As imagens foram georreferenciadas em coordenadas UTM com o auxílio dos mapas topográficos de Altinópolis, Cajuru, Itamoji e Mococa, confeccionados pelo IBGE em 1974 e com escala 1:50.000. O georreferenciamento foi realizado com a seguinte seqüência de comandos:
 - o *Map → Registration → Select GCP's: Image to Map;*
 - o *Map → Registration → Warp from GCP's: Image to Map.*

Foram obtidos 15 pontos de controle que foram escolhidos dando prioridade à cruzamento de estradas, tendo sido encontrado um valor *RMS* (erro médio quadrático) de 0,7545.

Com a imagem já georeferenciada e recortada a área que realmente interessava para o estudo (através do comando *Resize Data (Spatial/Spectral)*), teve-se início a determinação do número de classes de uso e ocupação do solo mais representativa da área de estudo. A partir daí, foram definidas, na imagem, as regiões de interesse das

diferentes classes. Este procedimento visou, principalmente, obter regiões o mais homogêneas possíveis do ponto de vista espectral. A seqüência de comandos utilizada para a execução desta etapa foi a seguinte: *Basic Tools* → *Regions of Interest* → *Define Regions of interest*. Com este comando foi gerado um arquivo de regiões de interesse (.ROI) que serviu como base para a classificação supervisionada.

- Classificação – O modo de classificação adotada no trabalho foi o supervisionado, visto que se tinha boa quantidade de informações a respeito do uso e ocupação da área de estudo, na ocasião das visitas ao campo. O método adotado para a classificação foi o da Máxima Verossimilhança (MAXVER). Foi adotado o seguinte procedimento: *Classification* → *Supervised* → *Maximum Likelihood*.
- Refinamento da Classificação – É comum ocorrerem na imagem já classificada, alguns *pixels* mal classificados (ruídos). Com o intuito de eliminar estas imperfeições do produto final processou-se os seguintes passos:
 - *Filter* → *Convolution* → *Median*;
 - *Classification* → *Post classification* → *Clump classes*;
 - *Classification* → *Post classification* → *Sieve classes*;
 - *Classedit*

O primeiro passo foi executar uma filtragem chamada de convolução mediana. Este comando possibilitou, em linhas gerais, um efeito de suavização a partir da inserção de uma máscara sobre a imagem, utilizando-se, geralmente, uma matriz 3X3, onde o pixel central da máscara adquire o valor médio dos seus vizinhos. Os comandos *Clump* e *Sieve* servem para aglutinar ou separar, respectivamente, *pixels* isolados ou contidos num domínio de classe específica. O último passo adotado para o refinamento da imagem foi o aplicativo chamado *Classedit*, desenvolvido pela SULSOFT. Esse aplicativo possibilitou manipular *pixels* isolados, gerando um melhor delineamento das áreas ocupadas pelas classes. O controle de qualidade em relação aos procedimentos de refinamento de classificação adotados foi feito checando o Mapa de Uso e Ocupação propriamente dita com a imagem RGB original a partir do arquivo .ROI criado para a classificação.

Amostras das classes de uso e ocupação adotadas na área apresentando sua aparência nas imagens a partir das bandas 4, 5 e 3 são mostradas na TABELA 5.2 e na Figura 5.4, respectivamente. O Mapa de Uso e Ocupação pode ser visto na Figura 5.5.

TABELA 5.2 - Determinação das classes de uso o ocupação referentes a área de estudo.

Tipo de uso e ocupação	Descrição
Cidades	Principais áreas urbanas.
Reflorestamento	Principalmente de eucaliptos, comum na porção oeste da área.
Pastagem e capoeira	Pastagem e capoeira
Mata	Mata nativa preservada, principalmente, em regiões com altas declividades, mata de capoeira e ciliar.
Lavoura	Plantações de café e cana-de-açúcar, principalmente.
Solo exposto	Solo desprovido de vegetação (erosão ou fase inicial de plantio)

FIGURA 5.4 - Aparência das classes de uso e ocupação nas imagens de satélite a partir das bandas 4, 5 e 3.

FIGURA 5.5 – Mapa de Uso e Ocupação da área de estudo (escala original 1:50.000).

5.4. MAPA DE MATERIAIS INCONSOLIDADOS (ANEXO 4)

As etapas para a confecção do Mapa de Materiais Inconsolidados foram as seguintes:

- Fotointerpretação em escala 1:60.000, primeiramente com ênfase na separação das unidades de relevo e da caracterização do substrato rochoso;
- Primeira visita ao campo com o objetivo de caracterizar tais materiais;
- Definição dos locais para a realização das sondagens a trado e coleta das amostras;
- Realização de ensaios em laboratório;
- Tratamento dos dados;
- Plotagem dos pontos amostrados em fotografias aéreas e fotointerpretação para a delimitação dos solos, considerando gênese, textura e espessura;
- Transferência das informações da foto para o mapa topográfico com o auxílio do *Sketch Master*.
- Escaneamento do mapa topográfico com as informações referentes aos materiais inconsolidado e digitalização no *Auto Cad 14*.

O Mapa de Materiais Inconsolidados (Figura 5.6) foi classificado levando-se em consideração sua gênese, textura e espessura. A representação é exemplificada a seguir:

- **Gênese**

R – residual;

T – transportado.

- **Textura**

1- $\leq 50\%$ areia;

2- $51\% - 85\%$ areia;

3- $> 85\%$ areia;

S - $> 25\%$ silte;

s - $\leq 25\%$ silte;

A - $> 25\%$ argila;

a - $\leq 25\%$ argila;

- **Espessura**

1 - $< 0,5\text{ m}$;

2 - $0,5\text{ m} - 3,0\text{ m}$;

3 - $3,0\text{ m} - 5,0\text{ m}$;

4 - $> 5,0\text{ m}$.

A caracterização de cada tipo de material inconsolidado em função de sua gênese, textura e espessura, será detalhada no Capítulo 6.

FIGURA 5.6 - Mapa de Materiais Inconsolidados da área de estudo(escala original 1:50.000).

5.5. MAPA DE SUBSTRATO ROCHOSO (ANEXO 5)

O Mapa de Substrato Rochoso foi elaborado na escala 1:50.000 com limites ditados pelas quatro folhas topográficas que continham a área. Três destes quatro mapas topográficos (Altinópolis, Itamoji e Mococa) continham o mapa geológico que foi confeccionado por um convênio realizado entre Ministério de Minas e Energia e a Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto-USP no ano de 1973. A parte da área contida na folha topográfica de Cajuru teve que ser mapeada. Através deste procedimento, procurou-se obter informações referentes a litoestratigrafia e as principais feições estruturais. Em toda a área, além de confirmar dados pré-existentes e, quando necessário, gerar informações que completariam as informações de cunho geológico necessários para o desenvolvimento da pesquisa, procurou-se caracterizar tais litotipos em função do seu grau de alteração e relacioná-los com os materiais inconsolidados (residuais e/ou transportados) encontrados na região. O procedimento de relacionar características do relevo com os diferentes perfis de alteração que foram encontrados na área se mostrou bastante eficiente,

5.6. MAPA DE UNIDADES DE RELEVO (ANEXO 6)

A elaboração deste mapa pode ser dividido em quatro fases, a saber:

- Fotointerpretação preliminar que, devido à escala de trabalho, teve detalhamento de unidade de terreno. Foram utilizadas fotos aéreas em escala 1:60.000 de 1965;
- Idas ao campo para uma caracterização das unidades traçadas em foto aérea em relação aos seus perfis de alteração, juntamente com o seu registro fotográfico;
- Fechamento dos limites de cada unidade com posterior transferência dos mesmos para o mapa base com o auxílio do *Sketch Master*;
- Digitalização do Mapa de Unidade de Relevo no *Auto Cad 14*.

O Mapa de Unidades de Relevo (Figura 5.8) foi o documento que norteou a amostragem, visto que a partir da elaboração do mesmo teve-se o cuidado de caracterizar em campo todas as unidades traçadas no mapa. O mesmo funcionou também como elo de ligação de todos os atributos do meio físico analisados neste trabalho, visto que, cada unidade de relevo apresenta-se descrito do ponto de vista de seu perfil de alteração. No Capítulo 6 será apresentada a descrição das unidades de relevo mapeada na área de pesquisa.

FIGURA 5.8 - Mapa de Unidades de Relevo da área de estudo (escala original 1:50.000).

6. ANÁLISE INTEGRADA DOS ATRIBUTOS DO MEIO FÍSICO EM FUNÇÃO DE SUAS UNIDADES DE RELEVO

Neste capítulo será caracterizado cada unidade de relevo delimitado no Mapa de Unidades de Relevo em função de seu perfil de alteração. Consistirá em mostrar quais atributos foram preponderantes na individualização das unidades. Tal descrição abrangerá não apenas características geomorfológicas como também resultados de ensaios e particularidades dos materiais inconsolidados e substrato rochoso. A Figura 6.1 mostra a distribuição das unidades de relevo e a localização dos perfis topográficos.

FIGURA 6.1 – Localização das Unidades de Relevo e dos perfis topográficos.

6.1. UNIDADE 01

6.1.1. LOCALIZAÇÃO

Esta unidade ocorre, principalmente, no limite norte da área sendo também encontrada nas porções centro-leste e sudeste. Ocupa aproximadamente 35,1 km², representando 3,92 % da área total (Figura 6.2).

FIGURA 6.2 – Ocorrência da unidade 1 na área estudada.

4.1.2. CARACTERÍSTICAS GERAIS

Compõem esta unidade áreas associadas aos derrames basálticos pertencentes à Formação Serra Geral. Apresenta como características geomorfológicas principais encostas com comprimento que variam de 50 a 300 metros com baixa declividade (0% – 5%) (Figura 6.4). As formas das encostas predominantes são: convexo-convexo e convexo-retilíneo com topos preferencialmente arredondados (Figura 6.3). O padrão de drenagem é subparalelo a dendrítico com média frequência associado a vales pequenos em forma de “V”. O perfil E-F caracteriza a unidade 1 e mostra também que a mesma ocorre entre as cotas 875m e 1075m (Figura 6.5).

FIGURA 6.3 - Par estereoscópico contendo a unidade 1. Notar que a cidade de Altinópolis se encontra inserida nesta unidade.

FIGURA 6.4 – Encosta típica da unidade 1.

FIGURA 6.5 - Perfil E-F com a ocorrência da unidade 1.

4.1.3. PERFIL DE ALTERAÇÃO

As informações coletadas em campo nesta unidade são listadas na Tabela 6.1.

TABELA 6.1. Relação das informações coletadas no campo referente a unidade 1.

<u>Tipo</u>	<u>Numeração</u>
- Ponto de Controle	98
- Coleta de Amostra Indeformada e Deformada	4; 85; 70
- Coleta de Amostra Deformada	-----
- Execução de Sondagem com Coleta de Amostra Deformada	T28-69/ T29-69/ T30-69
- Execução de Sondagem com Coleta de Amostra Indeformada	-----

Nesta unidade não houve coleta de amostras deformadas oriundas de sondagem, devido ao fato da grande homogeneidade do solo e de sua correlação com outros pontos já amostrados. A Figura 6.6 mostra as curvas granulométricas obtidas nesta unidade.

FIGURA 6.6 – Curvas granulométricas referentes à unidade 1.

Com as observações de campo e sondagens, juntamente com os resultados dos ensaios realizados é possível notar que o perfil de alteração desta unidade é caracterizado por solos argilosos (argila > 30%) de coloração avermelhada com espessuras superiores a 5 metros (Figura 6.7). Especificamente em um ponto amostrado (59a-85), verificou-se uma cobertura cenozóica arenosa sobre o latossolo. A ocorrência deste material é restrita apenas no extremo noroeste da área de estudo, sendo pouco representativo no contexto geral, tendo o basalto como substrato rochoso. Nesta unidade não foi observado nenhum tipo de feição erosiva. Em relação aos outros ensaios realizados para a caracterização dos materiais inconsolidados, seguem os valores, máximos e mínimos, encontrados:

- CTC (cmol/kg) → 0,7 – 1,9
- Acb (g/100g argila) → 1,49 – 4,25
- ρ_d (g/cm³) → 1,376 – 1,753

- $\rho_s \text{ (g/cm}^3\text{)} \rightarrow 2,679 - 3,139$
- Índice E $\rightarrow > 1$ (baixa erodibilidade)

FIGURA 6.7 – Corte de estrada mostrando o tipo de solo que ocorre na Unidade 1. Notar a homogeneidade do pacote.

6.2. UNIDADE 02

6.2.1. LOCALIZAÇÃO

A unidade 2 se encontra associada à unidade 1 e ocorre à nordeste, leste e sudeste, sendo também verificadas pequenas porções à noroeste da área de estudo (Figura 6.8). Ocupa aproximadamente $15,8 \text{ km}^2$, representando 1,66 % da área total.

FIGURA 6.8 – Ocorrência da unidade 2 na área estudada.

6.2.2. CARACTERÍSTICAS GERAIS

Esta unidade representa a região das “*cuestas*” que se desenvolveram no contato entre o arenito da Formação Botucatu e os derrames e soleiras basálticas da Formação Serra Geral (Figura 6.10). Este terreno é caracterizado por apresentar encostas com alta declividade ($>60\%$), com forma predominantemente retilínea e com comprimento variando de 50 a 110 metros (Figura 6.9). O padrão de drenagem é paralelo com pequena densidade de canais, sempre de 1ª ordem. Esta unidade ocorre entre as cotas 850m e 1075m (Figura 6.11).

FIGURA 6.9 – Par estereoscópico referente à unidade 2.

FIGURA 6.10 – Delimitação da unidade 2 .

FIGURA 6.11 - Perfil S-T com a ocorrência da unidade 2.

6.2.3. PERFIL DE ALTERAÇÃO

De acordo com LOLLO (1992) encostas com forma retilínea tendem a facilitar a ocorrência de processos morfogenéticos. O perfil de alteração desta unidade se caracteriza por apresentar pequena espessura de material inconsolidado arenoso associado aos arenitos da Formação Botucatu (Figura 6.12).

FIGURA 6.12 – Arenito Botucatu aflorante.

6.3. UNIDADE 03

6.3.1. LOCALIZAÇÃO

Esta unidade ocorre em todo o limite norte da área, sendo verificada também na porção centro-leste. Ocupa cerca de 79 km², representando 8.81 % da área total (Figura 6.13).

FIGURA 6.13 – Disposição da unidade 3 na área estudada.

6.3.2. CARACTERÍSTICAS GERAIS

Esta unidade representa a região de sopé associada as *cuestas* basálticas. É caracterizada por apresentar encostas com média declividade (10% - 30%) e comprimentos que variam de 200m a 500m (Figura 6.15). As formas de encosta mais comuns desta unidade são as convexo-convexa e convexo-retilínea (Figura 6.14). O padrão de drenagem é subdendrítico com vales em “V” pouco entalhados, sendo verificada a ocorrência desta unidade entre as cotas 825 m e 1025m (Figura 6.16).

FIGURA 6.14 – Par estereoscópico mostrando o relevo da unidade 3.

FIGURA 6.15 – Ocorrência da unidade 3. Notar unidade 2 como limite superior.

FIGURA 6.16 – Perfil E-F mostrando a ocorrência da unidade 3.

6.3.3. PERFIL DE ALTERAÇÃO

As informações coletadas em campo nesta unidade são listadas na Tabela 6.2.

TABELA 6.2. Relação de informações coletadas na unidade 3.

<u>Tipo</u>	<u>Numeração</u>
- Ponto de Controle	1; 2;
- Coleta de Amostra Indeformada e Deformada	78; 89
- Coleta de Amostra Deformada	76
- Execução de Sondagens com Coleta de Amostra Deformada	T1 - 41/ T2-42
- Execução de Sondagem com Coleta de Amostra Indeformada	-----

Foram obtidas as seguintes curvas granulométricas nesta unidade (Figura 6.17):

FIGURA 6.17 – Curvas granulométricas obtidas na unidade 3.

Os materiais inconsolidados pertencentes a este domínio e encontrados próximos da unidade 2 (amostra 2-7) apresentam coloração avermelhada com textura areno-argilosa (argila >30%), evidenciando uma contribuição dos solos associados às rochas basálticas sotopostas na formação destes solos (Figura 6.18). De maneira geral, a quantidade de argila nestes materiais não ultrapassa os 20%, sendo a granulometria predominante a areia fina. Com os dados de sondagem à trado realizados nesta unidade o perfil se mostra com espessuras de, no máximo, três metros. O substrato rochoso é representado essencialmente por arenitos, sendo os da Formação Botucatu os mais frequentes. Não foi verificada a ocorrência de feições erosivas nesta unidade. É apresentado, a seguir, os resultados máximos e mínimos dos resultados realizados com os materiais encontrados nesta unidade:

- CTC (cmol/kg) → 1,0 – 3,0
- Acb (g/100g argila) → 1,33 – 6,33

- ρ_d (g/cm³) → 1,367 – 1,504
- ρ_s (g/cm³) → 2,978 – 2,660
- Índice E → > 1 (baixa erodibilidade)

FIGURA 6.18– Perfil de alteração da unidade 3. Notar coloração típica de latossolo sobre o arenito Botucatu.

6.4. UNIDADE 04

6.4.1. LOCALIZAÇÃO

A unidade 4 ocorre nas porções oeste e noroeste da região, ocupando uma área de aproximadamente 11,1km², que representa 1.13 % da área total (Figura 6.19).

FIGURA 6.19 – Localização da unidade 4.

4.4.2. CARACTERÍSTICAS GERAIS

Geomorfologicamente, esta unidade representa as planícies de inundações de maior porte encontradas na área (Figura 6.21). Caracteriza-se por apresentar regiões de baixa declividade (0% - 3%) associadas a vales abertos em “U” (Figura 6.20). A Figura 6.22 caracteriza esta unidade e mostra que sua posição altimétrica se dá entre as cotas 700m e 750m.

FIGURA 6.20 – Par estereoscópico contendo a unidade 4.

FIGURA 6.21 – Área com baixa declividade, associado à planície de inundação.

FIGURA 6.22 – Perfil U-V mostrando a ocorrência da unidade 4.

6.4.3. PERFIL DE ALTERAÇÃO

O perfil de alteração desta unidade se caracteriza por apresentar uma camada superficial contínua de material argiloso rico em matéria orgânica, típico de planície de inundação, intercalados com lentes de areia fina à média e níveis de cascalho, sobre um substrato rochoso representado pelo arenito da Formação Pirambóia.

6.5. UNIDADE 05

6.5.1. LOCALIZAÇÃO

Esta unidade ocorre somente no extremo leste da região de estudo, ocupando uma área de aproximadamente 87 km² que representa, aproximadamente, 9,6 % da área total (Figura 6.23).

FIGURA 6.23 – Localização da unidade 5.

6.5.2. CARACTERÍSTICAS GERAIS

A unidade 5 é caracterizada por apresentar colinas médias com topos arredondados e encostas com forma, predominantemente, convexo-convexa e comprimento de rampa que varia de 50m a 200m (Figura 6.25). Os vales são alongados e em forma de “V”, associados à drenagem com padrão dendrítico com alta frequência de canais (Figura 6.24). Em relação a declividade ocorre uma grande variação nos valores, porém, nunca excede à 30%. O

intervalo de cotas para a ocorrência desta unidade é 850m e 950m (Figura 6.26).

FIGURA 6.24 – Par estereoscópico contendo a unidade 5. A cidade contida na foto é Cássia dos Coqueiros.

FIGURA 6.25 – Encostas convexas. Forma de relevo típica da unidade 5.

FIGURA 6.26 – Perfil M-N mostrando as características da Unidade 5.

6.5.3. PERFIL DE ALTERAÇÃO

A Tabela 6.3 mostra a relação das informações coletadas em campo referentes à unidade 5.

TABELA 6.3 - Relação das informações coletadas na unidade 5.

<u>Tipo</u>	<u>Numeração</u>
- Ponto de Controle	70
- Coleta de Amostra Indeformada e Deformada	20; 92
- Coleta de Amostra Deformada	-----
- Execução de Sondagens com Coleta e Amostra Deformada	T42-99 / T43-99

O material inconsolidado é caracterizado por ser essencialmente arenoso-fino (Figura 6.27) e de coloração avermelhada, sendo a origem deste solo residual, comprovado pela preservação das estruturas reliquias da rocha original (Figura 6.28). É possível encontrar na porção sul da área e em topos de morros a oeste, um material com composição textural idêntica a do solo residual, porém, separados em alguns pontos por linhas de seixos, dando a inferir que o mesmo se trata de um pacote transportado. As sondagens realizadas nesta unidade mostraram que o pacote inconsolidado não ultrapassa os 3 metros de profundidade. O arenito da Formação Pirambóia apresenta-se pouco alterado (Figura 6.29), ocorrendo também, nas porções mais baixas do relevo, rocha básica intrusiva. Os valores limite obtidos para os diferentes ensaios realizados com estes materiais foram os seguintes:

- CTC (cmol/kg) → 1,0 – 2,0
- Ac_b (g/100g argila) → 2,64 – 4,59
- ρ_d (g/cm³) → 1,442 – 1,522
- ρ_s (g/cm³) → 2,621 – 2,655
- Índice E → > 1 (baixa erodibilidade)

FIGURA 6.27 – Curvas granulométricas das amostras coletadas na unidade 5.

Nesta unidade as feições erosivas ocorrem, preferencialmente, em meia encosta e em locais onde houve a retirada da vegetação original. Porém, não se verificam erosões de grande porte, justamente devido à pequena espessura do material inconsolidado, o substrato rochoso pouco alterado e a baixa erodibilidade do material.

FIGURA 6.28 – Ravinamentos no material inconsolidado residual jovem da unidade 5.
Notar resquícios da estrutura original.

FIGURA 6.29 – Arenito Pirambóia pouco alterado, comum na unidade 5.

6.6. UNIDADE 06

6.6.1. LOCALIZAÇÃO

A unidade 6 se localiza a sudoeste da região de estudo e ocupa cerca de 26,2 km², que representa 2,83 % da área total (Figura 6.30).

FIGURA 6.30 - Localização da unidade 6.

6.6.2. CARACTERÍSTICAS GERAIS

Esta unidade é caracterizada por apresentar colinas amplas com encostas de forma convexo- retilínea e comprimento sempre superiores a 300 m. O intervalo de declividade varia de 5% a 30% (Figura 6.32) sendo sua ocorrência verificada entre as cotas 650m e 750m (Figura 6.33). Tais colinas apresentam topos arredondados com orientação paralela e, em perfil, uma alta simetria. A drenagem apresenta-se com padrão paralelo e com baixa frequência de canais, associados a vales em “V” (Figura 6.31).

FIGURA 6.31 – Estereopares contendo a unidade 6.

FIGURA 6.32 – Forma de relevo encontrada na unidade 6.

FIGURA 6.33 – Perfil I-J mostrando a simetria entre as formas de relevo da unidade 6.

6.6.3. PERFIL DE ALTERAÇÃO

São as seguintes informações coletadas em campo (Tabela 6.4):

TABELA 6.4 – Informações coletadas na unidade 6.

<u>Tipo</u>	<u>Numeração</u>
- Ponto de Controle	32; 34
- Coleta de Amostra Indeformada e Deformada	-----
- Coleta de Amostra Deformada	-----
- Execução de Sondagens com Coleta de amostra Deformada	T25-68/ T26-68/ T27-68
- Execução de Sondagem com Coleta de Amostra Indeformada	-----

O material inconsolidado é caracterizado por apresentar um pacote de areia fina amarelo, transportado com espessuras superiores a 5 metros (Figura 6.34) e por um solo pouco evoluído residual localizado em fundos de vales.

FIGURA 6.34 – Curva granulométrica da amostra coletada no pacote transportado presente na unidade 6.

Os resultados, máximos e mínimos, de ensaios realizados com o material encontrado na unidade 6 é mostrado a seguir:

- CTC (cmol/kg) → 1,0
- Acb (g/100g argila) → 2,54
- ρ_d (g/cm³) → -----
- ρ_s (g/cm³) → 2,662
- Índice E → -----

A origem alóctone deste pacote superficial foi deduzida a partir de correlações realizadas com a unidade 14, em que foi possível atribuir tal característica a este pacote (ver unidade 14). O substrato rochoso é representado por *sills* de diabásio que tiveram o seu contato inferido no Mapa de Substrato rochoso devido a dificuldades na confirmação exata de seus limites, não sendo possível a caracterização do mesmo nesta unidade por causa da ausência de afloramentos. Nesta unidade não foi encontrada nenhuma feição erosiva.

6.7. UNIDADE 07

6.7.1. LOCALIZAÇÃO

Esta unidade ocorre ao sul da região de estudo e ocupa uma área de cerca de 41.8 km², representando 4,56 % da área total (Figura 6.35).

FIGURA 6.35 – Localização da unidade 7 na área estudada.

6.7.2. CARACTERÍSTICAS GERAIS

A unidade 7 é caracterizada por apresentar morros e morrotes com topo arredondado, associado a encostas com formas retilíneas a convexo-retilíneas com declividades que variam de 5% a 30% (Figura 6.37). Os vales são, na maioria das vezes, em forma de “U” e o padrão de drenagem é sub-paralelo (Figura 6.36). Esta unidade ocorre entre as cotas 630 m e 770 m (Figura 6.38).

FIGURA 6.36 – Estereopares contendo a unidade 7.

FIGURA 6.37 – Encosta típica da unidade 7.

FIGURA 6.38 - Perfil Y-Z caracterizando a unidade 7.

6.7.3. PERFIL DE ALTERAÇÃO

Foram as seguintes informações coletadas em campo em relação a esta unidade (Tabela 6.5):

TABELA 6.5 – Informações coletadas em campo referentes à unidade 7.

<u>Tipo</u>	<u>Numeração</u>
- Ponto de Controle	-----
- Coleta de Amostra Indeformada e Deformada	18
- Coleta de Amostra Deformada	83
- Execução de Sondagens com Coleta de Amostra Deformada	-----
- Execução de Sondagem com Coleta de Amostra Indeformada	-----

Não foram realizadas sondagens a trado devido ao fato de que era possível encontrar em superfície blocos de rocha aflorantes ou em cortes de estrada, ao longo de toda a área (Figura 6.40). O solo que ocorre nesta unidade apresenta coloração avermelhada com textura arenosa-fina, pouco evoluído. Em alguns topos se encontra um solo amarelo com textura arenosa, transportado, também pouco espesso (Figura 6.39). Os resultados, máximos e mínimos, dos outros ensaios realizados com material desta unidade são mostrados a seguir:

- CTC (cmol/kg) → 0,9 – 1,9
- Ac_b (g/100g argila) → 1,51 – 3,79
- ρ_d (g/cm³) → 1,582
- ρ_s (g/cm³) → 2,601 – 2,665
- Índice E → -----

O substrato rochoso é representado por uma soleira de diabásio alterado, facilmente encontrados em cortes de estrada sob a forma de blocos com dimensões métricas e decomposição esferoidal. Não foram verificadas feições erosivas nesta unidade de relevo.

FIGURA 6.39- Curvas granulométricas das amostras coletados no horizonte arenoso da unidade 7.

FIGURA 6.40 – Blocos de diabásio com decomposição esferoidal, comum na unidade 7.

6.8. UNIDADE 08

6.8.1. LOCALIZAÇÃO

A unidade 8 ocorre no extremo leste da região e ocupa uma área de, aproximadamente, 80.9 km², representando 8.93 % da área total (Figura 6.41). Nesta porção da área se dá o encontro entre os rios Araraquara e Pardo.

FIGURA 6.41 – Localização da unidade 8.

4.8.2. CARACTERÍSTICAS GERAIS

Nesta unidade são verificadas ocorrências de encostas com forma predominantemente convexa com declividades que variam de 10% a 30% com topos arredondados. São encontrados também nesta unidade morros e morrotes com topo plano e encostas verticais. Os vales são abertos e bastante entalhados, apresentando média frequência de canais de drenagem (Figura 6.42). Ocorre entre as cotas 530 m e 680m (Figura 6.43).

FIGURA 6.42 – Estereopares contendo a unidade 8.

FIGURA 6.43 – Perfil K-L mostrando ocorrência da unidade 8.

6.8.3. PERFIL DE ALTERAÇÃO

Nesta unidade existe uma extensa área voltada para o cultivo de eucalipto. Devido a este fato, a ausência de bons acessos e a escassez de afloramentos nesta unidade dificultaram uma melhor caracterização da mesma. É listada a seguir, na Tabela 6.6 a relação das informações coletadas em campo referente a esta unidade.

TABELA 6.6 – Relação de informações coletadas na unidade 8.

<u>Tipo</u>	<u>Numeração</u>
- Ponto de Controle	36; 37
- Coleta de Amostra Indeformada e Deformada	71; 73
- Coleta de Amostra Deformada	93
- Execução de Sondagens com Coleta de Amostra Deformada	T31-94/ T32-94/ T33-94
- Execução de Sondagem com Coleta de Amostra Indeformada	-----

De acordo com os ensaios realizados e observações de campo foi possível deduzir que o material inconsolidado é essencialmente arenoso fino com, no máximo, 20% de argila (Figura 6.44). A espessura deste pacote é sempre superior a 5 metros, com exceção aos locais muito próximos aos morros-testemunho, sendo o substrato rochoso representado por arenitos das formações Botucatu e Pirambóia.

FIGURA 6.44 – Curvas granulométricas das amostras coletadas na unidade 8.

O intervalo de variação dos valores obtidos nos outros realizados com o material inconsolidado pertencente a esta unidade é mostrado a seguir:

- CTC (cmol/kg) → 0,3 – 1,1
- Acb (g/100g argila) → 0,52 – 5,23
- ρ_d (g/cm³) → -----
- ρ_s (g/cm³) → 2,623 – 2,715

- Índice E → -----

6.9. UNIDADE 09

6.9.1. LOCALIZAÇÃO

A unidade 9 ocorre a noroeste da região de estudo, ocupando uma área de 115,2 km², representando 12,80 % da área total (Figura 6.45).

FIGURA 6.45 – Localização da unidade 9.

6.9.2. CARACTERÍSTICAS GERAIS

Esta unidade, juntamente com a unidade 14, representa as regiões com as ocorrências das maiores erosões verificadas em toda a área de estudo. É caracterizada por apresentar regiões planas associadas a encostas com baixa declividade: entre 3% a 10% nas porções mais baixas, chegando a 30% nas partes superiores dos morros (Figura 6.47). As formas de encostas predominantes são a convexo-convexa e a convexo-retilínea com comprimentos que variam de 200m a 700m associados a topos arredondados a planos, este segundo no caso dos morros testemunhos (Figura 6.46). O padrão de drenagem é o retangular ocorrendo baixa frequência de canais de drenagem. O intervalo de cota em que se verifica sua existência é 710m e 860m (Figura 6.48).

FIGURA 6.46 – Estereopares contendo a unidade 9.

FIGURA 6.47 - Forma de relevo típica da unidade 9.

FIGURA 6.48 – Caracterização, em perfil, da unidade 9.

6.9.3. PERFIL DE ALTERAÇÃO

Na Tabela 6.7 são mostradas as informações coletadas na etapa de campo que se referem a unidade 9.

TABELA 6.7 – Relação das informações coletadas na unidade 9.

<u>Tipo</u>	<u>Numeração</u>
- Ponto de Controle	5; 14; 15; 33; 35; 99
- Coleta de Amostra Indeformada e Deformada	-----

- Coleta de Amostra Deformada	-----
- Execução de Sondagens com Coleta de Amostra Deformada	T10-50/ T11-51/ T12-52
- Execução de Sondagem com Coleta de Amostra Indeformada	

De acordo com os resultados obtidos pode-se concluir que, em relação aos materiais inconsolidados, esta unidade apresenta dois tipos de solo (Figura 6.49): o primeiro, superficial, de origem alóctone, amarelo com textura arenosa-fina com, no máximo, 15% de argila e espessuras que variam de 3m à 5m (Figura 6.50). Tal material tende a apresentar maior espessura quando se caminha para cotas mais elevadas do terreno. Em alguns pontos ocorrem níveis conglomeráticos neste material (Figura 6.51). Sotoposto a este material transportado ocorre um solo residual maduro, vermelho, composto essencialmente por areia fina, com argila não atingindo 10%. No ensaio de erosão (NOGAMI&VILLIBOR, 1979) este material apresentou alta erodibilidade, enquanto que o material transportado apresentou valores baixos de erodibilidade.

FIGURA 6.49 – Curvas granulométricas dos materiais encontrados na unidade 9.

Os resultados, máximos e mínimos, referentes aos outros ensaios realizados com os materiais inconsolidados encontrados nesta unidade é mostrado a seguir:

- CTC (cmol/kg) → 0,5*
- A_{cb} (g/100g argila) → 1,57 – 2,63
- ρ_d (g/cm³) → -----
- ρ_s (g/cm³) → 2,614 – 2,674
- Índice E → >1 para o solo transportado e <1 para o solo residual

* não teve variação nos valores de CTC.

São encontradas feições erosivas em ambos os tipos de solo. Porém quando ocorrem erosões no material transportado, tais feições tiveram origem, principalmente, devido à inclinação do terreno e/ou a um uso inadequado do meio físico é não por uma

predisponência deste material em ser erodido. Quando a erosão encontra o material residual, ocorre uma aceleração do processo de retirada de sedimentos tendendo a formar boçoroca (Figura 6.52). As espessuras do material inconsolidado são sempre superiores a 5 m, sendo que o material transportado nunca ultrapassa os 3 metros (informações de sondagens e observações em cortes de estrada). A construção da rodovia contida nesta unidade teve influenciado sobremaneira o comportamento da região frente à erosão, visto que as feições erosivas localizadas próximas a rodovia apresentam o seu eixo principal paralelo ao eixo da estrada. Com isto é possível deduzir que a estrada atuou como um concentrador de fluxo das águas das chuvas.

FIGURA 6.50 - Erosão desenvolvida no material transportado da unidade 9.

FIGURA 6.51 – Nível conglomerático de ocorrência comum no material transportado presente na unidade 9.

FIGURA 6.52 - Boçoroca desenvolvida no material residual pertencente à unidade 9.

6.10. UNIDADE 10

6.10.1. LOCALIZAÇÃO

A unidade 10 ocorre na porção centro-oeste e apresenta uma área de cerca de, aproximadamente, 8,9 km², que representa 0,91 % da área total (Figura 6.53).

FIGURA 6.53 – Localização da unidade 10 na área de estudo.

6.10.2. CARACTERÍSTICAS GERAIS

A geomorfologia desta unidade se caracteriza por terrenos planos delimitados por depressões que contornam todo o seu limite (Figura 6.54). Apresenta canais de drenagem pouco evoluídos associados a encostas com comprimentos que variam de 100m a 150m e declividade predominando entre 0% e 3% (Figura 6.55). Em locais específicos (onde ocorre a mudança do substrato rochoso de *sill* de diabásio para arenitos da Formação Pirambóia) as encostas podem apresentar até 30% de declividade. A forma predominante destas encostas é a convexo-retilínea, sendo que a ocorrência desta unidade se dá, preferencialmente, entre as cotas 600m e 700m (Figura 6.56).

FIGURA 6.54 – Estereopares mostrando a unidade 10.

FIGURA 6.55 – Delimitação da unidade 10.

FIGURA 6.56 - Perfil I-J apresentando ocorrência da unidade 10.

6.10.3. PERFIL DE ALTERAÇÃO

Foram as seguintes informações coletadas em campo referentes a esta unidade (Tabela 6.8):

TABELA 6.8 – Relação das informações coletadas na unidade 10.

<u>Tipo</u>	<u>Numeração</u>
- Ponto de Controle	12
- Coleta de Amostra Indeformada e Deformada	56

- Coleta de Amostra Deformada	97
- Execução de Sondagens com Coleta de Amostra Deformada	-----
- Execução de Sondagem com Coleta de Amostra Indeformada	T07-48

Com os ensaios realizados, as amostras coletadas nesta unidade (Figura 6.57), informações de sondagens e observações de campo pode-se concluir que os solos encontrados nesta área apresentam textura areno-argilosa (50% de areia, 20% de silte e 30% de argila), coloração marrom e origem residual (Figura 6.58). Apresentam perfis pouco evoluídos, com espessuras que variam de 3m a 5m. O substrato rochoso é representado por um *sill* de diabásio e, nos limites desta unidade, arenitos pertencentes à Formação Pirambóia pouco alterados, este encontrados nas regiões próximas dos vales.

FIGURA 6.57 – Curvas granulométricas referentes a amostras coletadas na unidade 10.

Os resultados dos ensaios realizados com o material encontrado nesta unidade é mostrado a seguir:

- CTC (cmol/kg) → 0,3 – 1,1
- Acb (g/100g argila) → 0,52 – 5,23
- ρ_d (g/cm³) → -----
- ρ_s (g/cm³) → 2,623 – 2,715
- Índice E → -----

FIGURA 6.58 – Solo residual da unidade 10.

6.11. UNIDADE 11

6.11.1. LOCALIZAÇÃO

A unidade 11 ocorre na porção central da região, ocupando uma área de aproximadamente 51,4 km², representando 5,64 % da área total (Figura 6.59).

FIGURA 6.59 – Ocorrência da unidade 11.

6.11.2. CARACTERÍSTICAS GERAIS

A unidade 11 se caracteriza por apresentar encostas com forma convexa com topos arredondados associados a vales em “V” pouco entalhados com drenagem de padrão sub-paralelo, situado entre as cotas 600m e 750m (Figura 6.62). Tais encostas apresentam comprimentos que variam de 150m a 250m e valores de declividade entre 0% e 10%, sendo

mais comum áreas com intervalos entre 5% e 10% (Figura 6.61). Nesta unidade ocorre também uma escarpa composta pelo arenito pirambóia que acompanha todo o limite sul da unidade. Nestes pontos a declividade atinge os 60% (Figura 6.60).

FIGURA 6.60 – Par estereoscópico mostrando a unidade 11.

FIGURA 6.61 – Formas de encosta típica da unidade 11.

FIGURA 6.62 – Perfil S-T mostrando ocorrência da unidade 11.

6.11.3. PERFIL DE ALTERAÇÃO

Na Tabela 6.9 são mostradas as informações coletadas em campo referentes à unidade 11.

TABELA 6.9 – Relação das informações coletadas na unidade 11.

<u>Tipo</u>	<u>Numeração</u>
- Ponto de Controle	25; 26; 27
- Coleta de Amostra Indeformada e Deformada	-----
- Coleta de Amostra Deformada	55; 57; 58; 60; 80
- Execução de Sondagens com Coleta de Amostra Deformada	T14-54 / T15-54 / T16-59
- Execução de Sondagem com Coleta de Amostra Indeformada	T13-54

De acordo com as informações coletadas em campo e os ensaios realizados com as amostras desta unidade, pode-se concluir que existem dois tipos principais de material inconsolidado, sob o ponto de vista textural (Figura 6.63). O primeiro, composto essencialmente por areia fina (60% a 70%) com pouca argila (20%) apresenta coloração amarela e é correlacionado com o solo transportado que ocorre nas unidades 6, 9 e 14. De acordo com os furos de sondagens este pacote superficial apresenta espessuras de 1,00m a 3,00m apresentando um espessamento do mesmo em direção ao sopé da encosta. O segundo tipo de solo verificado nesta unidade é mais argiloso (30% a 40%) com coloração marrom avermelhado e ocorre sotoposto ao pacote superficial aflorando no limite da unidade 11 com a unidade 10. O material inconsolidado como um todo não ultrapassa os 4 metros de profundidade. O substrato rochoso é representado pelo arenito da Formação Pirambóia pouco alterado e por *sill* de diabásio que ocorre, preferencialmente, em vales (Figura 6.64).

FIGURA 6.63 – Curvas granulométricas caracterizando os dois principais tipos de material inconsolidado que ocorrem na unidade 11.

Outros resultados referentes aos ensaios realizados com o material inconsolidado, encontrados nesta unidade, são mostrados a seguir:

- CTC (cmol/kg) → 0,6 – 9,3
- Acb (g/100g argila) → 1,19 – 8,78
- ρ_d (g/cm³) → 1,138 – 1,662
- ρ_s (g/cm³) → 2,610 – 3,085
- Índice E → > 1 (baixa erodibilidade)

Esta variação se deve apenas ao fato de que são mostrados aqui os valores obtidos com os dois materiais encontrados nesta unidade. O limite inferior representa o solo arenoso e o limite superior representa o solo argiloso associado ao *sill* de diabásio.

FIGURA 6.64 – Drenagem instalada em *sill* de diabásio. Notar blocos de diabásio

6.12. UNIDADE 12

6.12.1. LOCALIZAÇÃO

A unidade 12 ocorre na porção nordeste da região estudada, apresentando uma área de 35,1 km², representando 3.92 % da área total (Figura 6.65).

FIGURA 6.65 – Ocorrência da unidade 12 na área estudada.

6.12.2. CARACTERÍSTICAS GERAIS

A unidade 12 se caracteriza por apresentar encostas inclinadas (10% - 30%) com forma retilínea, comprimentos variando de 50m a 150m, associadas a topos amplos e arredondados (Figura 6.67). Os vales desta Unidade são abertos em “U” apresentando drenagem com padrão dendrítico (Figura 6.66). O intervalo de cotas onde a unidade 12 ocorre é 750m e 850m (Figura 6.68).

FIGURA 6.66 – Par estereoscópico contendo a unidade 12.

FIGURA 6.67 – Forma de relevo típico da unidade 12.

FIGURA 6.68 – Perfil G-H caracterizando a unidade 12.

6.12.3. PERFIL DE ALTERAÇÃO

As informações coletadas em campo referentes à unidade 12 estão listadas na Tabela 6.10.

TABELA 6.10 – Relação das informações coletadas na unidade 12.

<u>Tipo</u>	<u>Numeração</u>
- Ponto de Controle	-----
- Coleta de Amostra Indeformada e Deformada	-----
- Coleta de Amostra Deformada	-----
- Execução de Sondagens com Coleta de Amostra Deformada	T3-42 / T4-43 / T5-45
- Execução de Sondagem com Coleta de Amostra Indeformada	-----

A unidade 12 apresenta um solo, homogêneo, essencialmente arenoso fino (Figura 6.69), de origem alóctone e com coloração marrom claro (Figura 6.70). Este pacote apresenta espessuras nunca superiores a 3 metros. O substrato rochoso da unidade 12 é representado por arenitos vermelhos alterados, pertencentes à Formação Pirambóia (Figura 6.71), sendo verificada uma pequena intrusão de diabásio localizado a sudoeste nesta unidade. Não foram encontradas feições erosivas na unidade 12. Os resultados referentes aos outros ensaios realizados com este material são mostrados a seguir:

- CTC (cmol/kg) → 0,5 – 5,3
- Acb (g/100g argila) → 1,53 – 5.3
- ρ_d (g/cm³) → -----
- ρ_s (g/cm³) → 2,636 – 2,690
- Índice E → -----

FIGURA 6.69 – Curvas granulométricas referentes a amostras da unidade 12.

FIGURA 6.70 – Material superficial presente na unidade 12.

FIGURA 6.71 – Arenito da Formação Pirambóia muito alterado.

6.13. UNIDADE 13

6.13.1. LOCALIZAÇÃO

Esta unidade representa uma faixa de terra que se inicia na porção central e avança até o extremo norte da área. Ocupa, aproximadamente, 92,4 km², representando 10,22 % da área total (Figura 6.72).

FIGURA 6.72 – Ocorrência da unidade 13.

6.13.2. CARACTERÍSTICAS GERAIS

Esta unidade ocorre entre as cotas 650m e 760m (Figura 6.75). Caracteriza-se por apresentar encostas com formas covexo-retilínea a retilínea, comprimentos que variam de 200m a 350m (Figura 6.74) com valores de declividade entre 3% e 10% (alguns locais atingem até 30%), associadas a topos arredondados (Figura 6.73). O padrão dos canais de drenagem é sub-paralelo, encaixados em vales em “V” pouco entalhados.

FIGURA 6.73 – Par estereoscópico contendo a unidade 13.

FIGURA 6.74 – Feição de relevo comum na unidade 13. Notar o grande comprimento das encostas.

FIGURA 6.75 – Perfil A-B, mostrando a unidade 13.

4.13.3. PERFIL DE ALTERAÇÃO

Na unidade 13 foram coletadas as seguintes informações (Tabela 6.11):

TABELA 6.11 – Relação das informações coletadas na unidade 13.

<u>Tipo</u>	<u>Numeração</u>
- Ponto de Controle	6; 10; 16; 28; 29; 30
- Coleta de Amostra Indeformada e Deformada	8; 9; 53; 62; 79; 86
- Coleta de Amostra Deformada	16a; 44; 47; 61; 77
- Execução de Sondagens	T6-46
- Execução de Sondagem com Coleta de Amostra Indeformada	-----

De acordo com os resultados dos ensaios realizados com tais amostras (Figura 6.76), juntamente com os dados de sondagem e observações de campo pode-se concluir que a unidade 13 apresenta um solo transportando, amarelo, arenoso fino, pouco susceptível a processos erosivos, com espessuras que variam de 1m a 2m (Figura 6.77). Sotoposto a este material ocorre um solo residual vermelho essencialmente arenoso fino, com espessuras que

não ultrapassam os 4 metros (Figura 6.78). A amostra 52-77 (que apresenta 60% de finos) representa a ocorrência de uma pequena intrusão de rocha básica localizada na parte central desta unidade. O substrato rochoso é representado pelo arenito da Formação Pirambóia alterado. Em regiões de maior declividade (30%) observa-se o desenvolvimento de intenso ravinamento neste material residual. Porém, não foi verificada nenhuma feição erosiva de grande porte.

FIGURA 6.76 – Curvas granulométricas das amostras da unidade 13.

FIGURA 6.77 – Solo transportado pertencente a unidade 13. Notar ausência de feições erosivas.

FIGURA 6.78 - Ocorrência de ravinamento no solo residual da unidade 13.

A variação dos valores referentes aos outros ensaios realizados nos materiais encontrados nesta unidade é mostrado a seguir:

- CTC (cmol/kg) → 0,5 – 6,7
- Acb (g/100g argila) → 1,90 – 3.60
- ρ_d (g/cm³) → 1,328 – 1,655
- ρ_s (g/cm³) → 2,620 – 2,976*
- Índice E → > 1 (para o solo transportado) e <1 (para o solo residual)

* amostra coletada no solo associado a intrusão de diabásio presente nesta unidade.

6.14. UNIDADE 14

6.14.1. LOCALIZAÇÃO

A unidade 14 ocorre na porção centro-oeste da região de estudo e ocupa uma área de aproximadamente 105,5 km², representando 11,68 % da área total (Figura 6.79).

FIGURA 6.79 – Ocorrência da unidade 14.

6.14.2. CARACTERÍSTICAS GERAIS

A unidade 14 apresenta encostas com forma convexa, comprimentos que variam de 150m a 300m (Figura 6.81) e se encontram associadas a topos arredondados e vales em “V” com canais de drenagem apresentando padrão dendrítico (Figura 6.80). As classes de

declividade mais comuns nesta unidade são a de 0% - 3% e 5% - 10%, ocorrendo, geralmente, entre as cotas 800m e 750m (Figura 6.82).

FIGURA 6.80 – Par estereoscópico contendo a unidade 14.

FIGURA 6.81 – Forma de encosta comum na unidade 14. Notar a ocupação recente de uma das encostas (cidade de Cajuru).

FIGURA 6.82 – Perfil Q-R contendo a unidade 14.

6.14.3. PERFIL DE ALTERAÇÃO

São listadas a seguir as informações coletadas na unidade 14 (Tabela 6.12):

TABELA 6.12 – Relação das informações coletadas na unidade 14.

<u>Tipo</u>	<u>Numeração</u>
- Ponto de Controle	81
- Coleta de Amostra Indeformada e Deformada	19; 84
- Coleta de Amostra Deformada	-----

- Execução de Sondagens	T22-67/ T23-67/ T24-67/ T35-96/ T36-96/ T37-96
- Execução de Sondagem com Coleta de Amostra Indeformada	-----

De acordo com os dados obtidos nesta unidade, é possível deduzir que a mesma apresenta o perfil de alteração composto por um pacote superficial, essencialmente arenoso fino, amarelo (Figura 6.83) com espessuras que não ultrapassam os 4 metros, tendendo a afinar na direção do vale. O outro material é um solo residual vermelho (em alguns locais saprólito), arenoso fino, com pouca argila. Esta unidade se diferencia da unidade 9, principalmente, pelo fato de o material residual, na unidade 14, apresentar-se menos alterado, sendo muitas vezes possível observar estruturas originais da rocha neste material (Figura 6.84).

Estes solos apresentam comportamento diferenciado frente ao processo erosivo: no solo transportado, dificilmente ocorrem feições erosivas (ravinas ou sulcos), fato este comprovado pelos resultados de ensaios de erodibilidade realizados com esse material. O material residual, por sua vez, apresentou-se com alta sensibilidade ao processo erosivo, chegando a registrar de 70% de perda no ensaio de perda de massa por imersão. Em campo, verifica-se facilmente este comportamento.

Próximo da cidade de Cajuru, ocorre uma das maiores boçorocas observadas em toda a área de estudo (Figura 6.85). Esta se encontra em franco desenvolvimento sendo possível verificar o retrabalhamento do material erodido-depositado, gerando feições erosivas subsequentes (Figura 6.86).

Em relação ao substrato rochoso, predominam os arenitos da Formação Pirambóia, porém, ocorre um *sill* de diabásio ao sul desta unidade. Este corpo intrusivo é descontínuo e apresenta pequena abrangência areal.

FIGURA 6.83 – Curvas granulométricas com as amostras da unidade 14.

Os resultados, máximos e mínimos, referentes aos outros ensaios realizados com as amostras coletadas nesta unidade são mostrados a seguir:

- CTC (cmol/kg) → 0,5 – 1,4
- Acb (g/100g argila) → 1,42 – 7,71
- ρ_d (g/cm³) → 1,372 – 1,621
- ρ_s (g/cm³) → 2,623 – 2,702
- Índice E → > 1 (para o solo transportado) e <1 (para o solo residual)

FIGURA 6.84 – Perfil de alteração típico da unidade 14. Notar a estruturação original ainda preservada.

FIGURA 6.85 – Boçoroca verificada na unidade 14. Notar ausência de feições erosivas no material transportado (ponto 19a).

FIGURA 6.86 – Retrabalhamento do material erodido e transportado desde a boçoroca da unidade 14. Este ponto situa-se há 300 metros da grande erosão o que indica que o processo encontra-se em franca atividade.

6.15. UNIDADE 15

6.15.1. LOCALIZAÇÃO

Esta unidade ocorre à sudeste da região de estudo, ocupando uma área de, aproximadamente $8,4 \text{ km}^2$, representando 0,84 % da área total (Figura 6.87).

FIGURA 6.87 – Ocorrência da unidade 15.

6.15.2. CARACTERÍSTICAS GERAIS

A unidade 15 se caracteriza por apresentar encostas convexas com comprimentos que variam de 150m a 250m e declividade entre 10% e 30%, chegando em alguns pontos a

60% (Figura 6.88). O padrão de drenagem é anelar, associados a vales em “V” pouco entalhados (Figura 6.89). As cotas de ocorrência desta unidade variam de 900m a 950m (Figura 6.90).

FIGURA 6.88 – Par estereoscópico contendo a unidade 15.

FIGURA 6.89 – Encosta típica da unidade 15.

FIGURA 6.90 – Perfil C-D mostrando a ocorrência da unidade 15.

6.15.3. PERFIL DE ALTERAÇÃO

As informações coletadas na unidade 15 são mostradas na tabela a seguir (Tabela 6.13):

TABELA 6.13 – Informações coletadas na unidade 15.

<u>Tipo</u>	<u>Numeração</u>
- Ponto de Controle	-----
- Coleta de Amostra Indeformada e Deformada	-----
- Coleta de Amostra Deformada	90
- Execução de Sondagens com Coleta de Amostra Deformada	T34-95
- Execução de Sondagem com Coleta de Amostra Indeformada	-----

De acordo com os resultados obtidos a partir dos ensaios realizados e observações de campo, a unidade 15 é caracterizada por apresentar uma camada de material inconsolidado, marrom, composto, essencialmente, por areia fina e menos e 20% de argila (Figura 6.91). Esta camada não ultrapassa os 3 metros de profundidade. Nas porções mais baixas, verifica-se um solo transportado, areno-argiloso, marrom claro com ocorrência em regiões próximas de vales. Em relação ao substrato rochoso, esta unidade é formada, na sua maior parte, por arenitos da Formação Pirambóia e, secundariamente, por diabásio na forma de *sill*. A intrusão é encontrada, comumente, em fundo de vales mais profundos.

FIGURA 6.91 – Curvas granulométricas das amostras da unidade 15.

Outros resultados referentes aos ensaios realizados com amostras coletadas nesta unidade são mostrados a seguir:

- CTC (cmol/kg) → 1,2 – 3,6
- Acb (g/100g argila) → 2,03 – 3,31
- ρ_d (g/cm³) → -----
- ρ_s (g/cm³) → 2,695 – 2,774
- Índice E → -----

6.16. UNIDADE 16

6.16.1. LOCALIZAÇÃO

Esta unidade ocorre na porção sudeste da região de estudo, abrangendo uma área de 11,4 km², representando 1,18 % da área total (Figura 6.92).

FIGURA 6.92 – Ocorrência da unidade 16.

6.16.2. CARACTERÍSTICAS GERAIS

A unidade 16 apresenta-se com encostas de forma convexo-retilínea com comprimentos que variam de 50m a 150m (Figura 6.94). As declividades estão entre 5% e 30%. Os topo são arredondados e os vales são em “V” pouco entalhados (Figura 6.93) e sua ocorrência se dá entre as cotas 800m e 850m (Figura 6.95).

FIGURA 6.93 – Par estereoscópico contendo a unidade 16.

FIGURA 6.94 – Forma de relevo comum na unidade 16.

FIGURA 6.95 – Perfil Q-R contendo a unidade 16.

6.16.3. PERFIL DE ALTERAÇÃO

Na unidade 16, foram coletadas as seguintes informações (Tabela 6.14):

TABELA 6.14 – Informações coletadas na unidade 16.

<u>Tipo</u>	<u>Numeração</u>
- Ponto de Controle	-----
- Coleta de Amostra Indeformada e Deformada	91
- Coleta de Amostra Deformada	75; 88
- Execução de Sondagens	-----
- Execução de Sondagem com Coleta de Amostra Indeformada	-----

A unidade 16 apresenta um perfil de alteração pouco espesso composto por uma camada de areia fina com menos de 20% de argila que nunca ultrapassa os 2m de espessura (Figura 6.96). Verifica-se também, de modo restrito, a ocorrência de um material silto-argiloso nas partes baixas dessa unidade. A rocha que compõem o seu substrato é um *sill* de diabásio que ocorre ao longo de toda a sua extensão, porém, a sua ocorrência em superfície é pouco observada. Será mostrado a seguir, os resultados máximos e mínimos, encontrados outros ensaios realizados com os materiais inconsolidados encontrados nesta unidade:

- CTC (cmol/kg) → 0,6 – 3,0
- Acb (g/100g argila) → 1,14 – 2,72
- ρ_d (g/cm³) → 1,326 – 1,597
- ρ_s (g/cm³) → 2,663 – 3,001*
- Índice E → > 1 (baixa erodibilidade)

*Amostra 64-91

FIGURA 6.96 – Curvas granulométricas das amostras coletadas na unidade 16.

6.17. UNIDADE 17

6.17.1. LOCALIZAÇÃO

A unidade 17 ocorre à sudeste da região de estudo, ocupando uma área de, aproximadamente 10,3 km², representando 1,04 % da área total (Figura 6.97).

FIGURA 6.97 – Ocorrência da unidade 17.

6.17.2. CARACTERÍSTICAS GERAIS

Esta unidade apresenta encostas retilíneas à convexo-retilíneas (Figura 6.99) com comprimentos que variam de 100m à 250m e declividades que giram em torno de 10% e 30%. Tais encostas se encontram associadas a topos planos e vales abertos em “U” com canais de drenagem em padrão dendrítico (Figura 6.98). A unidade 17 ocorre entre as cotas 780m e 850m (Figura 6.100).

FIGURA 6.98 – Par estereoscópico contendo a unidade 17.

FIGURA 6.99 – Relevo típico da unidade 17. Notar a alta declividade e pontos com rocha aflorante.

FIGURA 6.100 – Perfil Q-R mostrando a ocorrência da unidade 17.

6.17.3. PERFIL DE ALTERAÇÃO

Na Tabela 6.15 são listadas as informações coletadas em campo referentes à unidade 17:

TABELA 6.15 – Informações coletadas na unidade 17.

<u>Tipo</u>	<u>Numeração</u>
- Ponto de Controle	-----
- Coleta de Amostra Indeformada e Deformada	-----
- Coleta de Amostra Deformada	74; 87
- Execução de Sondagens	-----
- Execução de Sondagem com Coleta de Amostra Indeformada	-----

O perfil de alteração desta unidade apresenta-se pouco evoluído, com a ocorrência de material inconsolidado residual, pouco espesso, com textura essencialmente fina (Figura 6.101), associado a um substrato pouco alterado de diabásio (Figura 6.102).

FIGURA 6.101 – Curvas granulométricas das amostras coletadas na unidade 17.

FIGURA 6.102 – Perfil de alteração da unidade 17.

Outros resultados de ensaios realizados com as amostras desta unidade é mostrado a seguir:

- CTC (cmol/kg) → 4,6 – 5,7
- Acb (g/100g argila) → 3,81 – 4,19
- ρ_d (g/cm³) → -----
- ρ_s (g/cm³) → 2,886 – 3,000
- Índice E → -----

6.18. UNIDADE 18

6.18.1. LOCALIZAÇÃO

A unidade 18 ocorre na porção centro-leste da região estudada. Abrange uma área de 50 km² que representa 5,49% da área total (Figura 6.103).

FIGURA 6.103 - Localização da unidade 18.

6.18.2. CARACTERÍSTICAS GERAIS

Esta unidade é caracterizada por forma de encostas suaves de baixa amplitude com comprimentos que variam de 250m a 350m, sendo a forma predominante a convexo-retilíneo (Figura 6.105), apresentando baixa declividade (0% - 5%) podendo atingir, em algumas regiões, até 10%. Os topos são arredondados com vales em “V” e pouco entalhados (Figura 6.104), ocorrendo entre as cotas 870m e 930m (Figura 6.106).

FIGURA 6.104 - Par estereoscópico referente à unidade 18.

FIGURA 6.105 – Encosta com forma convexo retilínea, comum na unidade 18.

FIGURA 6.106– Perfil M-N contendo a unidade 18.

6.18.3. PERFIL DE ALTERAÇÃO

Foram as seguintes informações coletas na unidade 18 (Tabela 6.16):

TABELA 6.16 – Informações coletadas na unidade 18.

<u>Tipo</u>	<u>Numeração</u>
- Ponto de Controle	22; 23; 24
- Coleta de Amostra Indeformada e Deformada	64; 66
- Coleta de Amostra Deformada	21

- Execução de Sondagens	T17-63 / T18-63 / T20-65 / T21-65
- Execução de Sondagem com Coleta de Amostra Indeformada	T19-63

O perfil de alteração desta unidade se caracteriza por apresentar na base da encosta uma camada com, aproximadamente, 2 metros de solo essencialmente silto-arenoso fino marrom. Em cotas superiores ocorre um recobrimento deste material por uma camada, que não ultrapassa os 3 metros, arenoso fino amarelo (Figura 6.107). Em direção ao topo a espessura o pacote arenoso supera os 5 metros. O substrato rochoso nesta unidade é representado por arenitos da Formação Pirambóia sobreposto a um *sill* de diabásio que

ocorre em toda a unidade 18.

FIGURA 6.107 – Curvas granulométricas das amostras coletadas da unidade 18.

É mostrado a seguir a relação dos valores, máximos e mínimos, referentes aos outros ensaios realizados com os materiais inconsolidados encontrados nesta unidade:

- CTC (cmol/kg) → 0,5 – 2,5
- Ac_b (g/100g argila) → 1,28 – 6,14
- ρ_d (g/cm³) → 1,527 – 1,668
- ρ_s (g/cm³) → 2,578 – 2,868
- Índice E → <1 (alta erodibilidade)

De acordo com o resultado obtidos no índice de erodibilidade, os materiais encontrados nesta unidade apresentam alta erodibilidade. Porém, não foi encontrada nenhuma feição erosiva que merecesse registro. Tal fato, possivelmente, esteja associado ao tipo de uso (lavoura) e ao manejo da terra, juntamente com os baixos valores de declividade que são encontrados nesta região.

6.19. UNIDADE 19

6.19.1. LOCALIZAÇÃO

A unidade 19 ocorre na porção centro-leste da região estudada, contendo, aproximadamente 8,6 km², representando 0,86 % da área total (Figura 6.108).

FIGURA 6.108 – Ocorrência da unidade 19.

6.19.1. CARACTERÍSTICAS GERAIS

Esta unidade se inicia na quebra negativa do sopé associado à unidade 2. Apresenta como formas de encosta principais a retilínea a convexo-retilínea com comprimentos que variam de 100 a 150 metros e declividade entre os valores 10% e 30%. Tais encostas estão associadas com vales em “V” e a topos aplainados (Figura 6.109). O intervalo topográfico em que ocorre esta unidade é 770m e 840m (Figura 6.110).

FIGURA 6.109 – Par estereoscópico contendo a unidade 19.

FIGURA 6.110 – Perfil G-H contendo a unidade 19.

6.19.3. PERFIL DE ALTERAÇÃO

Na unidade 19, foram as seguintes informações coletadas em campo (Tabela 6.17):

TABELA 6.17 – Informações coletadas na unidade 19.

<u>Tipo</u>	<u>Numeração</u>
- Ponto de Controle	100
- Coleta de Amostra Indeformada e Deformada	-----
- Coleta de Amostra Deformada	-----
- Execução de Sondagens	T39-98 / T40-98 / T41/98
- Execução de Sondagem com Coleta de Amostra Indeformada	-----

O perfil de alteração da unidade 19 é caracterizado por um material inconsolidado que teve, na sua formação, contribuição das unidades próximas a ela (unidades 1 e 2). Texturalmente, trata-se de um solo arenoso fino à médio com, pelo menos, 20% de argila (Figura 6.111), marrom e com espessuras que não ultrapassam os 3 metros. Após esta camada ocorrem os arenitos da Formação Pirambóia medianamente alterados. As feições erosivas são raras nesta unidade e, quando aparecem, são de pequeno porte. Porém, é comum a visualização de cicatrizes de escorregamento em meia encosta em vários pontos desta unidade.

FIGURA 6.111 – Curvas granulométricas das amostras pertencentes à unidade 19.

Os resultados, máximos e mínimos, encontrados nos outros ensaios realizados com o material deste domínio são os seguintes:

- CTC (cmol/kg) → 1,0 – 1,2
- Acb (g/100g argila) → 2,46 – 3,54
- ρ_d (g/cm³) → -----
- ρ_s (g/cm³) → 2,587 – 2,721
- Índice E → -----

6.20. UNIDADE 20

6.20.1. LOCALIZAÇÃO

Esta unidade se localiza no extremo sul da região em estudo e apresenta uma área de cerca de 26,3 km², representando aproximadamente , 2,84 % da área total (Figura 6.112).

FIGURA 6.112 – Localização da unidade 20.

6.20.2. CARACTERÍSTICAS GERAIS

Compõem esta unidade áreas associadas às intrusões relacionadas à Formação Serra Geral. Apresenta como características geomorfológicas principais encostas com comprimento que variam de 150 a 250 metros com baixa à média declividade (0% – 10%). As formas das encostas predominantes são: convexo-convexo e convexo-retilíneo com topos preferencialmente arredondados (Figura 6.114) e ocorrem entre as cotas 630m e 550m. O padrão de drenagem é subpararelo à dendrítico com média frequência de canais associados a vales pouco entalhados em forma de “V” (Figura 6.113). O perfil Y-Z caracteriza a unidade 20 (Figura 6.115). É possível notar que existe uma certa correlação nas características geomorfológicas com a unidade 1, porém, a cota de ocorrência desta unidade juntamente com o seu perfil de alteração possibilitaram a individualização da mesma.

FIGURA 6.113 – Par estereoscópico com a ocorrência da unidade 20.

FIGURA 6.114 – Forma de encosta típica da unidade 20.

FIGURA 6.115 – Perfil Y-Z que caracteriza a unidade 20.

6.20.3. PERFIL DE ALTERAÇÃO

É mostrada a seguir a relação das informações coletadas na unidade 20 (Tabela 6.18):

TABELA 6.18 – Informações coletadas na unidade 20.

<u>Tipo</u>	<u>Numeração</u>
- Ponto de Controle	31
- Coleta de Amostra Indeformada e Deformada	-----
- Coleta de Amostra Deformada	17; 82
- Execução de Sondagens	-----
- Execução de Sondagem com Coleta de Amostra Indeformada	-----

A unidade 20 apresenta uma camada residual argilo-siltosa com pouca areia fina (Figura 6.116) e espessuras (visualização em cortes de estrada) variando desde 1m até mais que 5m, sendo comum encontrar trechos com rocha aflorante (rocha básica intrusiva).

FIGURA 6.116 – Curvas granulométricas das amostras pertencentes à unidade 20.

Será mostrado os resultados referentes aos outros ensaios realizados com este material inconsolidado:

- CTC (cmol/kg) → 5,5 – 4,0
- Acb (g/100g argila) → 2,81 – 4,59
- ρ_d (g/cm³) → -----
- ρ_s (g/cm³) → 3,001 – 3,063
- Índice E → -----

6.21. UNIDADE 21

6.21.1. LOCALIZAÇÃO

A unidade 21 ocorre na porção central da região de estudo, entre as unidades 9 e 13. Apresenta 17,8 Km², representando 1,99% da área total (Figura 6.117).

FIGURA 6.117 – Ocorrência da unidade 21.

6.21.2. CARACTERÍSTICAS GERAIS

A unidade 21 representa uma transição entre as unidades 9 e 13. Caracteriza-se por encostas com baixa declividade (0% - 3%) com forma retilínea a retilíneo-convexa (Figura 6.119) e comprimentos que variam de 250m à 400m, com canais de drenagem de padrão sub-dendrítico, associado a vales em “V” pouco entalhados (Figura 6.118). Sua ocorrência se dá entre as cotas 650m e 780m (Figura 6.120).

FIGURA 6.118 – Par estereoscópico contendo a unidade 21

FIGURA 6.119 – Encosta típica da unidade 21.

FIGURA 6.120 – Perfil O-P contendo a unidade 21.

6.21.3. PERFIL DE ALTERAÇÃO

Na unidade 21, foram as seguintes informações coletadas em campo (Tabela 6.19):

TABELA 6.19 – Relação das informações coletadas na unidade 21.

<u>Tipo</u>	<u>Numeração</u>
- Ponto de Controle	-----
- Coleta de Amostra Indeformada e Deformada	11; 13
- Coleta de Amostra Deformada	-----
- Execução de Sondagens	T8-48 / T9-48
- Execução de Sondagem com Coleta de Amostra Indeformada	-----

O perfil de alteração da unidade 21 é representado por uma camada arenosa-fina com pouco silte (Figura 6.121) com espessuras que variam de 1,5m a mais de 5m. Nesta unidade ocorre um espessamento do pacote inconsolidado do topo da encosta para a base. A rocha que forma o substrato rochoso é o arenito pirambóia pouco alterado (Figura 6.123). Nas proximidades com a unidade 13 ocorrem um material residual, com coloração avermelhada com pequena espessura. Foram encontrados pequenas ravinas no material transportado (Figura 6.122) o que, em princípio, não condiz com os resultados obtidos com o ensaio de erodibilidade realizado neste material. Este ravinamento, porém, pode ser explicado devido ao fato de que, naquele ponto, existem várias trilhas de gado, o que facilita o fluxo concentrado do escoamento superficial.

FIGURA 6.121 – Curvas granulométricas das amostras coletadas na unidade 21.

Os resultados, máximos e mínimos, referentes aos outros ensaios realizados com as amostras desta unidade são listados a seguir:

- CTC (cmol/kg) → 1,2 – 1,3
- Acb (g/100g argila) → 1,38 – 5,25
- ρ_d (g/cm³) → 1,407 – 1,514
- ρ_s (g/cm³) → 2,636 – 2,714

- Índice E → <1 no material residual e >1 no transportado.

FIGURA 6.122 – Processo erosivo causado por trilhas de gado no material transportado da unidade 21 (Fazenda Santa Inês).

FIGURA 6.123 - Arenito Pirambóia pouco alterado, comum na unidade 21.

7. AVALIAÇÃO DOS PRINCIPAIS FATORES INTERVENIENTES NA ERODIBILIDADE DOS SOLOS

Um ponto importante, em se tratando de erosão, é o fato de que os solos encontrados em regiões tropicais apresentam peculiaridades do ponto de vista do seu comportamento mecânico e hidráulico. Nestes solos, a importância do tipo e da quantidade do material encontrada na fração argila é muito pronunciada, visto que tal material muitas vezes governa seu comportamento.

A erodibilidade pode ser mensurada em laboratório de muitas formas. A compreensão do processo, muitas vezes, não leva em consideração a complexidade do mesmo, visto que a erodibilidade é função de um número grande de variáveis.

Com o intuito de verificar quais são as variáveis que mais influenciam a erodibilidade do solo, amostras, deformadas e indeformadas, foram coletadas em trinta e três pontos ao longo da área. Com as amostras indeformadas foram realizados os ensaios de determinação de massa específica seca de campo (ZUQUETTE, 1987) e de erodibilidade, segundo NOGAMI & VILLIBOR (1979). Com as amostras deformadas foram realizados os ensaios de análise granulométrica conjunta, a massa específica dos sólidos e de capacidade de troca catiônica através do método de adsorção de azul de metileno.

Com estes ensaios realizados obteve-se uma série de parâmetros, sendo eles: percentagens de areia, silte e argila; capacidade de troca catiônica (CTC); índice de atividade da fração argila (A_{cb}); porosidade (n); índice de vazios (e) e erodibilidade do solo (E). Tais parâmetros foram posteriormente analisados em gráficos de dispersão com três variáveis, confeccionados no programa *STATISTICA/5.5*.

A Tabela 7.1 mostra os resultados dos ensaios realizados com as amostras dos trinta e três pontos amostrados.

TABELA 7.1 – Resultados dos ensaios realizados com amostras indeformadas e deformadas para a determinação da erodibilidade.

PONTO	Areia	Silte	Argila	Finos	CTC	Acb	ρ_d	ρ_s	e	n	Perda (P)	Absorção (S)	Erodibilidade (E)
	(%)	(%)	(%)	(%)	(cmol/kg)	(g/100g argila)	(g/cm ³)	(g/cm ³)		(%)	(%)		
4	50	12	38	50	1,9	1,64	1,376	3,139	1,280	56	1,22	1.0262	33.65
7	42	24	34	58	2,1	1,95	1,504	2,978	0,980	50	0,04	0,9220	922.00
9	87	3	10	13	0,6	1,91	1,407	2,714	0,930	48	33,32	0,9744	1.17
11	87	5	8	13	1,3	5,25	1,514	2,640	0,740	43	75,45	0,3610	0.19
13	63	9	28	37	1,2	1,38	1,444	2,874	0,990	50	4,62	0,9204	7.97
18	75	9	16	25	1,9	3,79	1,582	2,665	0,680	41	26,93	0,6953	1.03
19a	92	3	5	8	0,5	3,15	1,511	2,675	0,770	44	1,06	0,9657	36.44
19b	88	4	8	12	1,0	3,86	1,621	2,641	0,630	39	89,61	0,5213	0.23
20	78	8	14	22	2,0	4,59	1,522	2,655	0,740	43	59,16	1.4075	0.95
42	86	4	10	14	0,5	1,57	1,623	2,656	0,640	39	71,61	1.1906	0.67
45	83	4	13	17	2,0	4,96	1,440	2,670	0,850	46	59,16	1.5139	1.02
48	83	5	12	17	1,0	2,61	1,440	2,647	0,840	46	78,27	0,9709	0.50
53	87	4	9	13	0,7	2,33	1,655	2,687	0,620	38	2,10	0,8238	15.69
54	78	9	13	22	1,4	3,38	1,662	2,659	0,600	38	0,13	0,3595	110.62
56	50	24	26	50	1,8	2,22	1,290	2,918	1,260	56	0,13	0,9959	306.43
59	75	9	16	25	1,6	3,12	1,591	2,643	0,660	40	38,97	1.0184	1.05
62	79	8	13	21	1,0	2,45	1,655	2,687	0,620	38	76,04	0,8415	0.44
64	66	14	20	34	0,8	1,28	1,527	2,679	0,750	43	30,27	0,6654	0.88
65	78	9	13	22	1,5	3,77	1,668	2,647	0,590	37	48,09	0,5536	0.46
70	50	20	30	50	1,4	1,49	1,581	2,679	0,69	41	1,19	0,9314	31.31
71	60	25	15	40	0,8	1,72	1,551	2,632	0,70	41	0,76	0,2510	13.21
73	72	8	20	28	1,5	2,33	1,589	2,757	0,73	42	0,23	0,4455	77.48
75	72	10	18	28	0,6	1,14	1,597	2,663	0,67	40	0,39	0,4141	42.47
78	70	15	15	30	1,5	1,33	1,543	2,751	0,78	44	0,04	0,4069	406.90
79	85	5	10	15	0,6	2,06	1,328	2,650	1,00	50	33,15	0,6066	0.73
80	45	23	32	55	1,8	1,83	1,138	3,085	1,71	63	21,50	0,8974	1.66
84	86	3	11	14	0,5	1,42	1,372	2,678	0,95	49	4,15	0,9582	9.23
85a	65	23	12	35	1,6	4,25	1,753	2,629	0,50	33	40,45	0,5681	0.56
85b	75	15	10	25	0,7	2,12	1,515	2,678	0,77	43	17,10	0,6054	1.42
86	70	25	5	30	0,5	1,15	1,458	2,620	0,80	44	38,80	0,7252	0.75
89	65	20	15	35	3,0	6,33	1,367	2,821	1,06	51	0,22	0,2929	53.25
91	35	30	35	65	3,0	2,72	1,326	3,001	1,26	56	0,61	0,6511	42.70
92	80	8	12	20	1,0	2,64	1,442	2,621	0,82	45	0,57	1.1722	82.26

7.1. FATORES QUE MAIS INFLUENCIAM NA ERODIBILIDADE DOS SOLOS

Segundo NOGAMI & VILLIBOR (1979) uma reta com equação $P=52 S$ colocada num gráfico de perda (P) vs Absorção (S), deveria separar os materiais com alta erodibilidade dos de baixa erodibilidade. Porém, tal reta não separou de maneira satisfatória os dois domínios, sendo feita a opção pela reta com coeficiente angular de 40, proposta por PEJON (1992). Na Figura 7.1 é possível verificar que tal reta separa muito bem os dois universos.

7.2. ANÁLISE DAS RELAÇÕES ENTRE O ÍNDICE DE ERODIBILIDADE (E) E OUTROS ATRIBUTOS

Uma grande quantidade de gráficos foi criada, função da tentativa de correlação do grande número de variáveis. Porém, serão mostrados aqueles cujos atributos melhor separaram os solos com tendência erodível dos considerados mais estáveis frente a erosão.

7.2.1. ABSORÇÃO X PERDA DE MASSA POR IMERSÃO X MASSA ESPECÍFICA DOS SÓLIDOS

Como pode ser verificado a seguir (Figura 7.3), as variáveis massa específica dos sólidos e perda de massa por imersão, e secundariamente a absorção, conseguiram separar muito bem as dez amostras consideradas de alta erodibilidade.

Nove das dez amostras contidas no campo $E < 1$ apresentaram valores de perda de massa por imersão nunca inferiores a 30 %, sendo que na maioria das vezes tais valores ultrapassaram os 70%. Nota-se que, no ensaio de erodibilidade realizado, o valor mais importante para o resultado final é a perda (P), visto que a absorção não separou convenientemente as amostras.

Nos solos erodíveis, o ρ_s teve uma pequena faixa de variação ($2,640 \text{ g/cm}^3$ – $2,687 \text{ g/cm}^3$). Este resultado, de certa forma, infere suas características texturais. Sabe-se que, do ponto de vista granulométrico, os solos que apresentam maior susceptibilidade à erosão são os arenosos, sendo que o mineral mais representativo desta fração é o quartzo, que apresenta massa específica de $2,65 \text{ g/cm}^3$. Os solos que apresentam ρ_s nesta faixa de valores mas estão situados no domínio dos solos estáveis ($E > 1$), se encontram nesta posição possivelmente, devido a uma cimentação superficial epigenética ou ainda por possuírem uma certa coesão herdada da rocha original.

FIGURA 7.3 - Relação entre absorção, perda de massa por imersão e massa específica dos sólidos.

Apresentando os valores acima em um gráfico de superfície fica evidente a tendência dos solos considerados estáveis frente à erosão se localizarem na porção que contempla valores de massa específica alta (Figura 7.4).

FIGURA 7.4 - Gráfico de superfície das variáveis absorção, perda de massa por imersão e massa específica dos sólidos.

7.2.2. MASSA ESPECÍFICA DOS SÓLIDOS X PORCENTAGEM DE FINOS X CTC

Os valores de CTC das amostras com alta erodibilidade se situaram em um intervalo de 0,5 a 1,6 cmol/kg. A grande maioria dos solos considerados estáveis

ocorreram, para este mesmo atributo, no intervalo de 0,5 a 3,0 cmol/kg. Analisando este atributo, é possível notar que, embora a capacidade de troca catiônica não tenha sido um excelente atributo para separar os dois domínios, os solos mais estáveis apresentaram uma tendência de valores de CTC superiores a 1,5. Cabe ainda salientar que todas as amostras analisadas apresentaram CTC diagnóstico de caulinita, argilo-mineral caracterizado pela sua alta estabilidade. Tal constatação é comprovada pelos valores encontrados para os índices de atividade da fração argilosa (Acb), que se situam entre 11,14 e 6,23, valores estes que se encontram nos intervalos inativa e pouco ativa segundo LAUTRIN (1989) *apud* PEJON (1992). Portanto, os valores mais altos da CTC do solo indicam maior teor de argila, refletindo-se em uma maior estabilidade quanto a erosão.

A concentração de pontos que apresenta a Figura 7.5, para as amostras com alta susceptibilidade à erosão, ocorre devido à combinação das variáveis silte+argila (finos) e ρ_s . Tal combinação permite inferir que essas amostras representam solos com alta porcentagem de areia de composição essencialmente quartzosa.

FIGURA 7.5 - Relação entre massa específica dos sólidos, porcentagem de finos e CTC.

7.2.3. PORCENTAGEM DE AREIA X PERDA (P) X MASSA ESPECÍFICA DOS SÓLIDOS

Talvez estes três atributos sejam os mais importantes no comportamento do solo frente a erosão. Como pode ser verificado na Figura 7.6, quando se compara estes três atributos, existe uma grande concentração dos pontos de alta erodibilidade, embora também ocorram muito próximos pontos de solos com comportamento estável.

FIGURA 7.7 - Relação entre porosidade, perda de massa por imersão e massa específica dos sólidos.

Os valores de ρ_s encontram-se intimamente relacionados com a massa específica seca de campo da amostra e sua granulometria. Esses três atributos, por sua vez, estão intimamente relacionados com o *fabric* do solo. O resultado da análise dos valores de porosidade e massa específica seca de campo (ρ_d) pode ser visto na Figura 7.8.

FIGURA 7.8 – Relação entre massa específica seca de campo e porosidade.

Pode-se verificar neste gráfico que estes dois atributos apresentam uma alta correlação e que as amostras 4, 7, 13 e 56, 91 e 80 foram as que saíram desta linha de tendência. Estas seis amostras são caracterizadas por apresentarem, em números relativos, uma alta percentagem de finos e baixa erodibilidade (ver Tabela 7.1). Porém, os pontos próximos da linha de tendência não se encontram separados em relação a erodibilidade.

Isto, pressupõe que, existe uma contribuição para o comportamento de solo frente a erosão dada pelo arranjo das partículas do solo.

7.3. ANÁLISE DAS FEIÇÕES EROSIVAS EM FUNÇÃO DOS RESULTADOS DOS ENSAIOS DE LABORATÓRIO

De acordo com o que foi exposto até o momento, a melhor separação entre os materiais ditos de alta e de baixa erodibilidade foi conseguido quando se cruzou os atributos perda de massa por imersão (P), porcentagem de areia e a massa específica dos sólidos (ρ_s). Na Figura 7.9 pode ser visto um gráfico de contorno montado em função dos três atributos supracitados juntamente com os valores de erodibilidade (E) de cada amostra ensaiada.

FIGURA 7.9 – Gráfico de superfície, em função de massa específica dos sólidos, porcentagem de areia e perda de massa por imersão, plotado os valores de erodibilidade (E).

Como pode ser verificado na Figura 7.9, existe um grupo de amostras de alta erodibilidade ($E < 1$) que ocorre entre as faixas de massa específica dos sólidos 2,65 e 2,70 (g/cm^3). Tais amostras apresentam ainda uma tendência a se dispor em função do

contorno das faixas de ρ_s . Abaixo desta faixa apenas ocorrem amostras com alta erodibilidade. A faixa 2,750 (g/cm³) representa uma zona de transição entre as amostras de alta e baixa erodibilidades. Os valores de ρ_s acima desta faixa apresentam solos estáveis frente ao processo erosivo, porém, não apresentam um aumento gradual em direção aos maiores valores de ρ_s .

As amostras que estão acompanhando a linha de separação 2,650-2,700 (g/cm³) são: 19b, 20, 62, 64, 65, 79, 85 a e 86. Todas estas amostras, sem exceção, foram coletadas em feições erosivas em diferentes fases evolutivas.

Um outro ponto que deve ser considerado é que, de acordo com o mapa de declividade (ANEXO 2), ocorre uma pequena variação entre as faixas de inclinação que compreendem tais feições erosivas. A Tabela 7.2 mostra a relação entre todos os pontos amostrados e a classe de declividade em que eles se encontram.

TABELA 7.2 – Caracterização das amostras submetidas ao ensaios de erodibilidade em relação a declividade.

Amostra nº	Unidade	Erodibilidade	Declividade
4	1	O	3% - 5%
7	3	O	10% - 30%
9	13	O	3% - 5%
11	10	Δ	10% - 30%
13	10	O	3% - 5%
18	7	O	3% - 5%
19a	14	O	10% - 30%
19b	14	Δ	10% - 30%
20	18	Δ	5% - 10%
42	12	Δ	10% - 30%
45	12	O	0% - 3%
48	10	Δ	10% - 30%
53	13	O	3% - 5%
54	11	O	3% - 5%
56	10	O	5% - 10%
59	11	O	3% - 5%
62	13	Δ	5% - 10%
64	18	Δ	5% - 10%
65	18	Δ	10% - 30%
70	1	O	3% - 5%
71	8	O	3% - 5%
73	8	O	5% - 10%
75	16	O	3% - 5%
78	3	O	5% - 10%
79	13	Δ	5% - 10%
80	11	O	5% - 10%
84	14	O	3% - 5%
85a	1	Δ	10% - 30%
85b	1	O	10% - 30%
86	13	Δ	5% - 10%
89	3	O	30% - 60%
91	16	O	3% - 5%
92	5	O	3% - 5%

Obs.: Δ – Solos com alta erodibilidade;
O – Solos com baixa erodibilidade.

De acordo com a Tabela 7.2 é possível notar que as feições erosivas verificadas em campo apresentaram uma combinação de alta erodibilidade com declividades que variaram entre 5% e 30%, sendo que cinco das onze amostras com $E < 1$ pertencem à classe de 5% - 10% e seis à classe 10% - 30%. Nestes intervalos foram também encontradas amostras com baixa erodibilidade (7, 19a, 56, 73, 78, 80) porém, todas estas (com exceção do ponto 19a) têm valores de massa específica dos sólidos nunca inferiores à $2,750\text{g/cm}^3$. O ponto 19a é caracterizado por ser um solo transportado laterizado e com baixa erodibilidade (Figura 6.85).

8. GERAÇÃO DA CARTA DE SUSCEPTIBILIDADE À EROSÃO

A Carta de Susceptibilidade à Erosão (CSE) (ANEXO 7) foi confeccionada utilizando-se do programa *Idrisi Version2*. Para a obtenção desta carta foram utilizadas informações contidas no Mapa de substrato rochoso, Mapa de unidades de relevo, Mapa de materiais inconsolidados e Carta de declividade. Cada documento cartográfico utilizado para a realização da CSE foi analisado individualmente, com o objetivo de considerar, de forma mais específica, a potencialidade (ou contribuição) de cada atributo em relação ao processo erosivo.

A ponderação de pesos no Mapa de substrato rochoso levou em consideração os seguintes atributos: litologia e resistência mecânica; para o mapa de materiais inconsolidados foi considerado a textura, a espessura, os resultados dos ensaios (principalmente o de erodibilidade) e a ocorrência de feições erosivas; para o Mapa de unidades de relevo foi considerado o perfil de alteração das unidades, principalmente o grau de intemperismo do substrato rochoso. Serão descritas a seguir, as principais etapas para confecção da carta de susceptibilidade à erosão.

8.1. INSERÇÃO DA IMAGEM VETORIAL NO IDRISI E TRATAMENTOS PRELIMINARES.

Os documentos utilizados como base para a confecção dos mapas e carta utilizados para a geração da CSE foram as folhas topográficas do IBGE SF-23-V-C-II-1 (Altinópolis), SF-23-V-C-II-3 (Cajuru), (SF-23-V-C-II-2 (Itamoji) E SF-23-V-C-II-4 (Mococa), todas em escala 1:50.000 e datadas de 1973.

Para a entrada das informações vetoriais no programa *IDRISI*, é necessário que cada polígono criado na etapa de digitalização (vetorização) esteja fechado. Estes polígonos são então exportados do programa *AutoCad14* com formato .DXF (R12). Depois que o arquivo vetorial (DXF) foi exportado, ele é importado pelo *IDRISI* (Figura 8.1). Em seguida o polígono é importado para o *IDRISI*, onde é convertido para o formato *raster* (Figura 8.2).

FIGURA 8.1 – Comando utilizado na etapa de importação do arquivo .DXF para o *IDRISI*.

FIGURA 8.2 – Comando utilizado para a rasterização dos polígonos (vetores).

Com os polígonos vetorizados, processa-se a aglutinação (ou montagem) dos atributos de cada mapa ou carta (Figura 8.3). Esta etapa se dá a partir da inserção, classe a classe, dos atributos referentes ao documento. Esta inserção é feita por sobreposição (*overlay*) e a cada novo polígono inserido, um novo arquivo é criado (Figura 8.4).

FIGURA 8.3 –Comando utilizado para a inserção de atributos.

FIGURA 8.4 – Etapa de sobreposição (*overlay*) dos atributos.

8.2. PROCESSAMENTO E ANÁLISE DOS DADOS

Após a inserção dos documentos cartográficos no programa *IDRISI*, processou-se a reclassificação e a ponderação relativa de cada unidade contida em cada mapa. Esta classificação se dá de modo subjetivo, que reflete, em última análise, o grau de conhecimento dos processos e condições que ocorrem na área.

Esta classificação é feita por ponderação e se realiza através da análise dos atributos de cada mapa e das condições do meio físico, atribuindo-lhes pesos que variam com o grau de importância em relação ao processo estudado, neste caso, erosão. Esta ponderação é feita através do comando *ASSING* (Figuras 8.5 e 8.6) a partir de um arquivo *.TXT* onde estão contidos os pesos atribuídos a cada unidade.

FIGURA 8.5 – Comando utilizado para a determinação do grau de importância de cada atributo em relação ao processo erosivo.

Depois desta fase, é processando a padronização das informações de cada atributo em uma escala única, através do comando *STRECH* (Figuras 8.6 e 8.7). Esta escala é formada por 255 tons de cinza, sendo cada tonalidade representativa de um determinado intervalo de valores. Está é a fase que antecede a análise multicriterial (MCE).

FIGURA 8.6 – Comando utilizado na padronização das informações contidas em cada mapa.

FIGURA 8.7 – Caixa de diálogo para execução do comando *Stretch*.

8.3. ANÁLISE PONDERADA DOS ATRIBUTOS

A atribuição dos pesos a cada fator é realizada a partir de uma ordenação paritária hierárquica, comparando a importância relativa de cada atributo analisado. Para a Carta de Declividade foi admitido que quanto maior for a declividade do terreno maior a influência do mesmo na instalação de processos erosivos, visto que, analisando este atributo separadamente, quanto maior for a declividades maior será a energia cinética da água no escoamento superficial, logo maior o poder de remoção de partículas. A Tabela 8.1 mostra a reclassificação dos intervalos criados na Carta de Declividade com seus respectivos pesos e graus de influência analisados para a geração da Carta de susceptibilidade à erosão.

TABELA 8.1 – Atributos e pesos adotados na reclassificação da Carta de Declividade em vista à geração da Carta de Susceptibilidade à Erosão

Classes	Pesos atribuídos	Grau de influência
0% - 3%	1	1 – Muito baixo 2 – Baixo 3 – Médio 4 – Alto
3% - 5%	2	
5% - 10%	2	
10% - 30%	3	
30% - 60%	4	
>60%	4	

A ponderação dos pesos relacionados com os materiais inconsolidados (Tabela 8.2), teve com critérios a espessura do pacote e sua textura. Em relação a espessura do material inconsolidado, foi convencionado que quanto mais espesso for o pacote, maior a probabilidade de geração de um processo erosivo linear de maior porte. Em relação à textura do solo, quanto mais arenoso for o material maior sua susceptibilidade à erosão. Os resultados do ensaio de erodibilidade (NOGAMI & VILLIBOR, 1979) auxiliaram na separação dessas classes.

Devido ao fato que seriam analisados dois atributos neste mapa, optou-se em dar pesos separadamente a cada atributo e determinar como peso final a média aritmética.

TABELA 8.2 - Atributos e pesos adotados na reclassificação do Mapa de Materiais Inconsolidados em vista à geração da Carta de Susceptibilidade à Erosão

Classes	Pesos atribuídos à espessura	Pesos atribuídos à textura	Média aritmética
T1SA2	2	1	1.5
T1SA3	3	1	2
R1SA3	3	1	2
R1SA4	4	1	2.5
R2sa1	1	3	2
R2sa2	2	3	2.5
R2sa3	3	3	3
R2sa4	4	3	3.5
R3sa1	1	4	2.5
R3sa2	2	4	3
R3sa3	3	4	3.5
R3sa4	4	4	4
T2sa3	3	3	3
T2sa4	4	3	3.5
T3sa2	2	4	3
Aluvião	-----	-----	1

Grau de influência: 1 – Baixo,
2 – Moderado,
3 – Alto,
4 – Muito Alto.

No mapa de substrato rochoso foi analisado a potencialidade do tipo litológico em sofrer um processo erosivo. A Tabela 8.3 mostra a ponderação dos pesos relacionados a este mapa.

TABELA 8.3 - Atributos e pesos adotados na reclassificação do Mapa de Substrato Rochoso em vista à geração da Carta de Susceptibilidade à Erosão.

Classes	Pesos atribuídos	Grau de influência
Formação Serra Geral	1	1 – Muito baixo 2 – Baixo 3 – Médio 4 – Alto
Suítes Básicas intrusivas	1	
Formação Botucatu	3	
Formação Pirambóia	4	

A utilização do Mapa de Unidades de Relevo como atributo para a análise multicriterial surgiu da necessidade de ter um documento que retratasse os diferentes graus de alteração que foram encontrados nos materiais rochosos presentes na área. Esta abordagem foi possível devido ao fato que ocorreu uma caracterização muito detalhada de cada unidade de relevo. A Tabela 8.4 mostra os pesos empregados nas diferentes unidades de relevo.

TABELA 8.4 - Atributos e pesos adotados na reclassificação do Mapa de Unidades de Relevo em vista à geração da Carta de Susceptibilidade à Erosão.

Unidades	Pesos atribuídos
1	2
2	1
3	2
4	1
5	2
6	4
7	1
8	3
9	4
10	2
11	2
12	3
13	4
14	4
15	2
16	2
17	1
18	2
19	2
20	1
21	3

Grau de influência: 1 – Baixo,
 2 – Moderado,
 3 – Alto,
 4 – Muito Alto.

8.4. ANÁLISE MULTICRITERIAL

Para a obtenção da Carta de Susceptibilidade à Erosão, todos os documentos cartográficos foram combinados através do Módulo de Avaliação Multicriterial (MCE) (Figura 8.8). A atribuição prévia dos pesos a cada fator é realizada através de uma ordenação paritária hierárquica, comparando-se a importância de cada atributo analisado com base em uma escala contínua de comparação paritária (Figura 8.9).

FIGURA 8.8 - Comando utilizado para atribuição prévia dos pesos (*weight*).

FIGURA 8.9 – Definição da matriz de correlação. Notar que os pesos encontrados na figura são os valores atribuídos na realidade.

Os pesos obtidos a partir desta matriz, juntamente com sua razão de consistência podem ser vistos na Tabela 8.5.

TABELA 8.5 – Pesos obtidos e valor de razão de consistência obtidos a partir do cruzamento dos documentos cartográficos individuais.

Fatores	Peso
<i>Mapa de mat. Inconsolidados</i>	0.4902
<i>Mapa de Substrato Rochoso</i>	0.0711
<i>Carta de Declividade</i>	0.2993
<i>Mapa de Unidades de Relevo</i>	0.1394
Taxa de consistência – 0,04	

Com estes valores de pesos obtidos foi possível gerar a Carta de Susceptibilidade à Erosão (Figura 8.10). Teve-se o cuidado de analisar cada parâmetro considerando aspectos teóricos e o conhecimento da área a partir das visitas ao campo e resultados de ensaios. Para a subdivisão da carta em classes de susceptibilidade, dividiu-se os 256 níveis (0 – 255), gerados no *Stretch*, por quatro, gerando unidades que apresentaram o mesmo intervalo de valores.

FIGURA 8.10–Carta de Susceptibilidade à Erosão da área estudada(escala original 1:50.000)

De acordo com a carta gerada pode-se concluir que:

- A classe de susceptibilidade muito baixa à erosão apresenta uma área de 18,55 km² (2,1%) e se caracteriza por apresentar regiões com solos essencialmente argilosos com pequena espessura associados à basaltos (ou diabásios) e arenitos pouco alterados. Tais terrenos apresentam declividades entre 0% e 5%;
- A classe de susceptibilidade baixa à erosão apresenta 212,36 km² (23,7%) de área, sendo representada por regiões com ocorrência de solos argilosos com espessuras que podem atingir até os 3 metros. Pode ocorrer também solos arenosos transportados com espessuras inferiores a 3 metros. Tais regiões apresentam declividades de, no máximo, 10%. Pode apresentar áreas com

declividades superiores a 60%. O substrato rochoso desta classe ocorrem, geralmente, basaltos (ou diabásios) e arenitos pouco alterados;

- A classe de susceptibilidade moderada abrange 521,42 km² (58,3%) representa regiões com textura predominantemente arenosa e espessuras que variam de 3 a 5 metros ou solos argilosos com espessuras superiores a 5 metros. Está geralmente associada a um substrato rochoso formado por arenitos medianamente alterados ou por basaltos (ou diabásios) muito alterados. As declividades desta classe variam de 10% a 30%;
- A classe de susceptibilidade alta abrange 142,7 km² (15,9%) e corresponde a materiais arenoso com espessuras superiores a 5 metros associados a perfis de alteração formados por arenitos alterados. Os valores de declividade estão geralmente entre 10% e 30%.

8.5. IDENTIFICAÇÃO DAS CLASSES DE SUSCEPTIBILIDADE À EROSÃO EM FUNÇÃO DOS TIPOS DE USO E OCUPAÇÃO DA REGIÃO

Quando observam-se as classes de susceptibilidade à erosão obtidas a partir do cruzamento de atributos do meio físico em comparação com os principais tipos de uso e ocupação do solo existente na região, podemos dizer que:

- As regiões que apresentam intenso reflorestamento de eucalipto estão, quase que totalmente, inseridas nas classes de alta susceptibilidade à erosão, devendo-se provavelmente a este fato a não observação de erosões nestas. Caso estas regiões estivessem sendo utilizadas por alguma outra forma de ação antrópica, a tendência de instalação de feições erosivas seria muito grande;
- Áreas com mata ocorrem em regiões com diferentes susceptibilidades à erosão. Torna-se necessária atenção redobrada para a utilização de áreas com mata, seja para pastagem ou lavoura, em domínios com alta susceptibilidade, dando preferência a áreas com baixa susceptibilidade à erosão;
- Nas áreas de pastagem são onde ocorrem preferencialmente feições erosivas. Isto se deve ao fato de que, muitas vezes tais regiões se encontram com pouca proteção nos locais onde esta pastagem não é muito evoluída. Outro fato que contribui para esta constatação é que o gado tende a criar caminhos preferenciais para a sua locomoção o que pode gerar canais de escoamento concentrado de água de chuva. A pecuária deve levar em consideração as

diferentes susceptibilidades à erosão do meio como um dos principais fatores que norteiam a preservação das áreas de pasto;

- Áreas com lavoura são, em geral, ausentes de feições erosivas. Isto se deve a uma tendência cada vez maior a utilização da terra associada á técnicas agrícolas de conservação do solo (plantio em curva de nível, terraços, etc.);
- Nas regiões com solo exposto estão inseridas também, áreas de cultivo que se encontram desnudas, ou pela recém colheita ou pelas primeiras fases de plantio. Qualquer região que não apresenta cobertura vegetal, independentemente da sua susceptibilidade à erosão, merecem atenção no tocante à sua preservação frente aos processos erosivos;
- O aumento populacional e a ocupação de áreas sem planejamento prévio geraram certos problemas ambientais nas regiões urbanas contidas na área estudada. A cidade que mais sente tais impactos é Cajuru. A principal feição erosiva encontrada em toda a região de pesquisa encontra-se próximo à esta cidade. Cajuru apresenta ainda muitos focos de solo exposto devido, principalmente, a novos terrenos voltados a loteamentos para população de baixa renda. Estas áreas já apresentam algumas feições erosivas instaladas e alguns rios assoreados. Devido ao fato de estar inserida numa área considerada de moderada à alta susceptibilidade, o município de Cajuru é o que mais necessita de atenção no sentido de prevenir que o processo erosivo se instale.

9 . CONSIDERAÇÕES FINAIS

O processo erosivo apresenta uma gama de fatores que podem influenciar o seu desenvolvimento. A abordagem metodológica adotada neste trabalho (ZUQUETTE, 1993) se mostrou eficiente, visto que possibilitou estimar as propriedades geológico-geotécnicas da área tratada e visualizar com clareza suas potencialidades e pontos vulneráveis.

A subdivisão preliminar da área em unidades de relevo se mostrou uma forma adequada de subsidiar o planejamento de campo, compartimentando áreas com comportamento similares frente aos agentes modeladores do relevo.

Em relação aos materiais inconsolidados, considera-se essencial a realização de sondagens à trado, pois permitiram a caracterização, de forma prática e expedita, das espessuras e de suas variações em profundidade, além de auxiliar na delimitação das unidades de relevo. A sistemática utilizada por PEJON (1992) para a geração da Carta de Susceptibilidade à Erosão, juntamente com a realização do ensaio de azul de metileno para a caracterização da fração fina do solo, foi amplamente explorada devido à sua facilidade de aplicação e clareza quanto aos atributos do meio físico a serem considerados.

Nos ensaios realizados para a determinação da erodibilidade dos materiais encontrados na área, foram analisados doze atributos, sendo que, os que melhor separaram os solos em alta e baixa erodibilidades foram a massa específica dos sólidos (ρ_s), perda de massa por imersão (NOGAMI & VILLIBOR, 1979) e porcentagem de areia presente no solo. Analisando-se as trinta e três amostras ensaiadas verificou-se que os solos de alta erodibilidade, sem exceção, apresentaram valores de massa específica dos sólidos muito

próximos ao da densidade do quartzo. É certo que, os solos considerados estáveis também foram encontrados neste intervalo (possivelmente devido a uma cimentação epigenética), no entanto, com valores de ρ_s maiores que $2,687 \text{ g/cm}^3$ somente foram encontrados solos de baixa erodibilidade, demonstrando ser este parâmetro um bom indicador do comportamento dos solos da área frente à erosão.

Uma sugestão para a continuidade dos trabalhos, seria dividir a fração areia em fina, média e grossa para se obter mais parâmetros de comparação e verificar, dentre os intervalos arenosos, se existe alguns que indique uma maior predisponência dos solos a se erodir.

Outro aspecto interessante a ser abordado em trabalhos futuros seria uma abordagem integrada, considerando o *fabric* do solo e o seu comportamento frente a erosão no campo. Tal análise poderia permitir a obtenção de pesos a serem atribuídos aos vários tipos de solos e sua correlação em gráficos tridimensionais com outros atributos.

Os materiais inconsolidados presentes na área que apresentaram maior erodibilidade foram os de textura arenosa, residuais associados à Formação Pirambóia, seguidos pelos retrabalhados arenosos e com baixa erodibilidade os solos argilo arenosos associados aos derrames e intrusões de rochas básicas pertencentes à Formação Serra Geral.

A análise do mapa de susceptibilidade à erosão mostrou que 2,1% da área apresenta muito baixa susceptibilidade, 23,7% baixa, 58,3% moderada e 15,9% alta susceptibilidade à erosão.

Considerando-se o uso e ocupação em relação à susceptibilidade à erosão, verificou-se que o uso adequado do solo evitou o aparecimento de erosão em zonas com alta susceptibilidade, como nas áreas com plantio de eucalipto e áreas agrícolas com medidas conservacionistas. As rodovias influenciaram no aparecimento de feições erosivas a partir do fato de que as mesmas concentraram fluxo de água como também serviram de barreira para a infiltração da água no solo.

Em zonas com alta susceptibilidade e uso inadequado as erosões se desenvolveram intensamente.

Em geral, a área pesquisada apresenta baixos valores de declividade. Os maiores valores de declividade são encontrados na regiões de escarpa associado ao contato arenito/basalto. As feições erosivas encontradas na área estão, geralmente, associadas a encostas com inclinações entre 10% e 30%.

10 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS

ABGE (1998) - Geologia de Engenharia. São Paulo, ABGB, 584 p.

ALCÂNTARA, M. A. T. (1996) - Estudo da erodibilidade de alguns solos do Estado de São Paulo. Tese de Mestrado: EESC/USP, 129 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT – Análise granulométrica
Método de ensaio – NBR-7181/84

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT – Grãos de solo que
passam na peneira 4,8 mm – Determinação da massa específica - NBR-6508/84

AUTODESK, Ins. (1996) – Programa AutoCad Release 14. San Rafael – Canada.

BARGUIL, S. R. (1998) - Geoprocessamento aplicado ao monitoramento de cerrado: um
estudo de caso na porção noroeste da APA Corumbataí (SP). Tese de Mestrado:
EESC/USP, 151 p.

BERTONI, J., LOMBARDI NETO, F. (1985) - Conservação do solo. Ed. Ícone, 4 edição, São
Paulo, 355p.

BIGARELLA, J. J. & MAZUCHOWSKI, J. Z. (1985) - Visão integrada da problemática da
erosão. ABGE/ADEA, Maringá, 332 p.

- BETTER SOLUTIONS CONS. (2000) – Programa ENVI 3.4. Colorado – USA.
- BITTAR, O.Y; CERRI, L. F. S.; NAKAZAWA, V. A. (1992) - Carta de risco geológico e carta geotécnica: uma diferenciação a partir de casos em áreas urbanas no Brasil. In: Simpósio Latinoamericano Sobre Risco Geológico Urbano, II. Pereira - Colômbia. V.1.35-41p.
- BURROUGHS, P. A. (1986) - Principles of geographycal information systems for land resources assessment. Oxford, Claredon.
- CÂMARA, G., CASANOVA, M., HEMERLY, Y. A., MAGALHÃES, G., MEDEIROS, C. - (1996) Anatomia de sistemas de informações geográficas. Campinas, Instituto de Computação. UNICAMP, 197 p.
- CARSON, M. A. & KIRKBY, M. J. (1975) - Hillslope form and process. Oxford, Cambridge University Press, 475 p.
- CASTRO, D. M. (1998) - Estudo do potencial a erosão acelerada das áreas urbanas e de expansão do município de Descalvado - SP. Dissertação de mestrado, Dep. de Engenharia Civil, UFSCar. 150 p.
- CAVAGUTI, N. (1994) - Erosões lineares e solos urbanos: estudos, caracterização e análise da degradação do meio físico em Bauru, SP. Tese de Livre-Docência. Faculdade de Engenharia e Tecnologia - UNESP. Departamento de Engenharia Civil, Universidade de São Paulo, v.1 267 p.
- CERRI, C. E. P. (1999) - Mapeamento das áreas de risco à erosão dos solos da bacia do rio Piracicaba, utilizando geoprocessamento. Tese de Mestrado, ESALQ/USP. 89 p.
- CERRI, L.E.; SILVA, J.A. & SANTOS, P.H. (1997) - Erosão do solo - aspectos conceituais. Revista Universidade Guarulhos - Geociências, II(6): 92 - 98 p.
- CLARK UNIVERSITY (1997) – Programa IDRISI Version 2.0. MA – USA.
- CRAVES, H. M. L.; SILVA, P. A.; CARLOS, R. J. (1995) - Aplicação da USLE e SIG predição da erosão atual e potencial a nível regional: O caso do vale do São Francisco. In:

Congresso Brasileiro de Ciência do solo, 25. Viçosa. 1961 - 1963 p.

CHRISTOFOLETTI, A. (1974) - Geomorfologia. 2ª edição. São Paulo. Ed. Edgard Blucher Ltda.

CLAYTON, K. M. (1972) - Slopes. Edinrurgh, Oliva & Boyd, 288 p.

COCH, N. K. (1995) - Geohazards natural and human. Simon & Schuster Company, New Jersey. 481 p.

COLLARES, E.G. (1992) - Princípios, evolução e aspectos metodológicos do mapeamento geotécnico. Revisão bibliográfica, Departamento de Geotecnia - EESC, 50 p.

CROSTA, A. P. (1993) - Processamento digital de imagem de sensoriamento remoto. Instituto de geociências. UNICAMP. 170 p.

DE MELLO, V. F.B. (1972) - Thoughts on soil engineering applicable to residual soil. In:ASCE, 13, SASSE, Hong Kong, 5 –33p.

DOMINGUES, E. N.; ROSSI, M.; MATTOS, I. F. A.; ABE, K. & KITADA, M. (1998) - Tipologia e distribuição dos processos erosivos na microbacia do Ribeirão Água da Cachoeira, Paraguaçu Paulista, SP. Revista Brasileira de Ciências do Solo, 22: 141-149, 1998.

DO REGO, J. J. V. (1978) – Erosão Superficial em taludes de corte em solo residual de gnaiss. Dissertação de Mestrado. COPPE/UFRJ. 125p.

DUPAS, F. A. (1997) - Geoprocessamento aplicado a avaliação da dinâmica ambiental de projeto de mineração na amazônia: estudo do caso da mina pitinga. Tese de Doutorado EESC/USP, 238 p.

ELLISON, W. D. (1947) - Soil erosion studies. Part 1. Agricultural Engineering, v.28, nº 04.145 - 146 p.

EMBRAPA - CENTRO NACIONAL DE PESQUISA DE SOLOS (1999) – Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília: Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro:

Embrapa Solos 412p.

FERRAZ, F. F. B. (1996) - Aplicação de sistema de informações geográficas em estudo de área urbana de Piracicaba sujeita a inundação. Dissertação de Mestrado/ESALQ. 97 p.

FERREIRA PINTO, S.A. (1998) - Geoprocessamento aplicado a caracterização de indicador da erosão do solo: exemplo da bacia hidrográfica do Ribeirão Claro - SP. VI Simpósio Nacional de Controle de Erosão, Presidente Prudente, SP.

FIORI, O. C. ; SOARES P. C. (1976) - Aspectos evolutivos das vossorocas. Notícias Geomorfológicas, Campinas, v.16, nº 32, p.114-124.

FOLQUE, J. (1977) - Erosão interna em solos coesivos. Filtros de proteção. Sociedade Portuguesa de Geotecnia, v.20.

FONTES, S. B. (1998) - Mapeamento geotécnico com ênfase em erosão. Revisão bibliográfica: Departamento de Geotecnia - EESC, 82 p.

FONTES, S. B. (1999) - Mapeamento geotécnico com ênfase em erosões no município de Ouro Preto - MG. Escala 1: 5.000. Dissertação de Mestrado. EESC/USP. 112 p.

FREIRE, E. P. (2001) – Ensaio *Inderbitzen* modificado: um novo modelo para avaliação do grau de erodibilidade do solo. In: VII Simpósio Nacional de Controle de Erosão, GO.

GARCIA, G. 1. (1982) - Sensoriamento remoto - Princípios e interpretação de imagens. Nobel, São Paulo, 357 p.

GEOLOGICAL SOCIETY (1995) The Quartely Journal of Engineering Geology, Volume 28. Londres, Geological Society.

GOLDEN SOFTWARE Ins. (1999) – Programa Surfer 7.0. Colorado – USA.

GUERRA, A. T. & GUERRA A. J. T. (1997) - Novo Dicionário Geológico-Geomorfológico. Bertrand Brasil - Rio de Janeiro, 648p.

HOGG, S. E. (1982) - Sheetflow. Earth Sci. Ver., v.18, 59 - 76p.

HOLMEGREN, G. G. S. & FLANAGRAN, C. P. (1977) – Factors affecting spontaneous dispersion of soil materials as evidenced by the crumb test – Dispersive clays, related piping and erosion in geotechnical projects. ASTM, Special Technical Publication 623: 218-239.

IAEG - INTERNATIONAL ASSOCIATION OF ENGINEERING GEOLOGY (1976)- Engineering geological maps: a guide to their preparation, Paris. Unesco. 79 p.

IBGE-INSTITUTO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA E ESTATÍSTICA (1974 a) – Mapa topográfico: Altinópolis, Folha SF-23-V-C-II-1. Rio de Janeiro, IBGE. (Levantamento aerofotogramétrico topográfico regular aerofotografias de 1965) Escala 1:50.000.

IBGE-INSTITUTO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA E ESTATÍSTICA (1974 a) – Mapa topográfico: Itamoji, Folha SF-23-V-C-II-2. Rio de Janeiro, IBGE. (Levantamento aerofotogramétrico topográfico regular aerofotografias de 1965) Escala 1:50.000.

IBGE-INSTITUTO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA E ESTATÍSTICA (1974 a) – Mapa topográfico: Cajuru, Folha SF-23-V-C-II-3. Rio de Janeiro, IBGE. (Levantamento aerofotogramétrico topográfico regular aerofotografias de 1965) Escala 1:50.000.

IBGE-INSTITUTO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA E ESTATÍSTICA (1974 a) – Mapa topográfico: Mococa, Folha SF-23-V-C-II-4. Rio de Janeiro, IBGE. (Levantamento aerofotogramétrico topográfico regular aerofotografias de 1965) Escala 1:50.000.

IBGE/SEPLAN-MS (1989) - Susceptibilidade à erosão da macrorregião da Bacia do Paraná. Convênio de cooperação técnico-científico. 456 p.

IPT (1981) - Mapa geológico do Estado de São Paulo (escala 1:500.000) - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 125 p.

IPT (1997) - Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo (escala 1:500.000) Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 63 p.

KEHEW, A. E. (1995) - Geology for engineers and environmental scientists. Simon & Schuster Company, New Jersey. 574 p.

- LAWS, J. O. (1941) - Measurements of the fall velocity of water drops and raindrops. TAGU, Washington. 709-721 p.
- LOLLO, J. A. (1996) - O uso da técnica de avaliação do terreno no processo de elaboração do mapeamento geotécnico: sistematização e aplicação na quadrícula de campinas. Tese de Doutorado. São Carlos, EESC. 2 vol.
- LOLLO, J. A.; ZUQUETTE, L. V. (1997) – Avaliação do Terreno Aplicada a Elaboração do Processo de Mapeamento Geotécnico. São Carlos, EESC. 20p.
- LOMBARDO, M. A. & MACHADO, R.P. (1995) - Aplicação das técnicas de sensoriamento remoto e sistemas de informações geográficas nos estudos urbanos. Departamento de Geografia da FFLCH/USP, 5 - 11p.
- MACIEL FILHO, C. L. (1994) – Introdução à geologia de engenharia. Ed. da UFSM, Santa Maria, RS. 284 p.
- MARBLE, D. A. (1984) Geographic information system: an overview. Pecora Symposium on Spatial Information Technologies for Remote Sensing Today and Tomorrow, Sioux Falls, SD. IEEE Computer Society, 18 - 24 p.
- MITCHELL, C. W. (1973) - Terrain Evaluation 2ª ed.. New York, John Wiley & Sons INC.
- MME/FFCLRP – CONVÊNIO MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA E FACULDADE DE FILOSOFIA, CIÊNCIAS E LETRAS DE RIBEIRÃO PRETO-USP (1973 a) – Mapa Geológico da Folha de Altinópolis. Escala 1:50.000.
- MME/FFCLRP – CONVÊNIO MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA E FACULDADE DE FILOSOFIA, CIÊNCIAS E LETRAS DE RIBEIRÃO PRETO-USP (1973 b) – Mapa Geológico da Folha de Itamoji. Escala 1:50.000.
- MME/FFCLRP – CONVÊNIO MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA E FACULDADE DE FILOSOFIA, CIÊNCIAS E LETRAS DE RIBEIRÃO PRETO-USP (1973 c) – Mapa Geológico da Folha de Mococa. Escala 1:50.000.

- MOORE, W. L. & MASCH, F. D. (1962) - Experiments on the scour resistance of cohesive sediments. J. Geophys. Res., vol.67.
- NASCIMENTO, U. & CASTRO, E. (1976) - Erosão. Critérios de seleção de solos. Geotecnia, 20.17 - 33 p.
- NISHIVAMA, L. (1995) - Erosão do solo: uma visão integrada dos fatores e processos que condicionam o seu desenvolvimento. São Carlos 95 p. Seminários Gerais em Geotecnia-SGS - 833, EESC/USP.
- NOGAMI, J. S. & VILLIBOR, D. F. (1981) - Uma nova classificação de solos para finalidades rodoviárias. In: Simpósio Brasileiro de Solos Tropicais em Engenharia, V.01 COPPEIUFRJ, 30-41 p.
- NOGAMI, J. S. & VILLIBOR, D. F. (1995) - Pavimentação de baixo custo com solos lateríticos. São Paulo. Ed. Villibor. 240 p.
- OLIVEIRA, M. A. T.; COELHO NETTO, A. L.; AVELAR, A. S. (1994) – Morfometria de encostas e desenvolvimento de boçorocas no médio vale do rio Paraíba do Sul. Revista Geociências, São Paulo, 13 (1): 9-23p.
- OLIVEIRA, M. A. T. & MEIS, M. R. (1985) - Relações entre geometria do relevo e formas de erosão acelerada (Bananal, SP). Goeciências, São Paulo, nº 4. 221 - 238 p.
- PEJON, O. J. (1992) Mapeamento geotécnico regional da folha Piracicaba - SP escala 1:10.000): estudo de aspectos metodológicos, de caracterização e de apresentação de atributos. Dissertação de Doutorado. EESC/USP, São Carlos, 224 p.
- PRANDINI, F. L. (1974) - Condicionantes geológicos e geotécnico da degradação ambiental. ABGE. São Paulo. Boletim n ° 01 - 12 p.
- PRICE, D. G. (1993) - A suggested method for the classification of rock mass weathering by a rating system. Quarterly Journal of Engineering Geology. v.26.
- RAMALHO, G. G. C. (1994) - Mapeamento geotécnico de Viçosa com o Uso de sistemas de informações geográficas. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Viçosa. 110

p.

REICHE, PARRY (1945) - Survey of weathering processes and products. Univ. of New Mex. Pub. in Geology, nº 01.

RICHARDS, J. A. (1986) - Remote sensing digital image analyses and introduction. Berlim, Spring-Verlag. 281 p.

RODRIGUES, J. E. (1982) - Estudo de fenômenos erosivos acelerados - Boçorocas. Tese de Doutorado – EESC/USP. Departamento de Vias de Transporte e Topografia, 162 p.

RODRIGUES, M. (1990) - Introdução ao geoprocessamento. Simpósio Brasileiro de Geoprocessamento, São Paulo, USP. Escola Politécnica, 1 - 26 p.

RUFINO, R. L. (1986) - Avaliação do potencial erosivo da chuva para o Estado do Paraná: Segunda aproximação. Ver. Bras. Ci. Solo, v.10, 279 - 281 p.

SALOMÃO, F. X. & IWASA, O. Y. (1995) - Erosão e ocupação rural e urbana. In: Curso de geologia aplicada ao meio ambiente. São Paulo. ABGB/IPT.

SANTOS, A. R. (1994) – Fundamentos filosóficos e metodológicos da geologia de engenharia. In. Comunicação técnica IPT, SP. 5p.

SARAIVA (1995) - Mapeamento geotécnico da folha de Socorro com base na análise das formas de relevo (*landforms*). Tese de Mestrado. EESC/USP, v.1.

SILVA, M. L. N.; FREITAS, P. L.; BLANCANEUX, P.; CURI, N & LIMA, J. M. (1997) - Relação entre parâmetros da chuva e perdas de solo e determinação da erodibilidade de um latossolo vermelho escuro em Goiânia (GO). Revista Brasileira de Ciências do Solo, 21.131-137 p.

SOUZA, M. L. (1996) – Mapeamento Geotécnico da cidade de Ouro Preto, escala 1:10.000. Susceptibilidade aos movimentos de massa e processos correlatos. Dissertação de Mestrado, EESC-USP, 2v.

SUAREZ & CASTRO, F. (1956) - Conservación de suelos. Madrid, Salvat, 298 p.

- SUGUIO, K. (1980) - Rochas Sedimentares. São Paulo, Ed. Edgard Blücher Ltda., 500 p.
- TEIXEIRA, A. L. A.; MORETTI, A.;CHRISTOFOLETTI, A. (1992) - Introdução aos sistemas de informações geográficas. Edição do Autor, Rio Claro, 1992, 80 p.
- TROEH, F. R. (1965) - Landform equations fitted to contour maps. American Journal of Science, New York, 263.616 627 p.
- VARGAS, M. (1953) - Some engineering properties of residual clay soils occurring in southern Brasil. In: ICSMFE, 3 th, v.1, Zurich.
- VARNES D. J. (1974) - Landslides hazard zonation: a review of principles and practice. UNESCO; Paris, 63 p.
- VILAR, O. M. (1987) - Formulação de um modelo matemático para erosão dos solos pela chuva. Tese de Doutorado, EESC/USP. 196 p.
- WILKINSON, G.E. (1975) - Rainfall characteristics and soil erosion in the rainforest area of western Nigeria. Expl. Agr. II, 247-255 p.
- WISCHMEIER W. H.(1958) – Rainfall energy and its relationship to soil loss. Transactions American Geophysical Union, v. 39 p285-291.
- WISCHMEIER W. H.(1959) – A rainfall erosion index for a universal soil loss equation. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 23:246-249
- WISCHMEIER W. H.(1973) - Conservation tillage to control water erosion. In; National Conservation Tillage Conference, Ankeny, Soil Conservation Society of America, 133-141 p.
- WOLLE, C. M. (1985) - Peculiarities of "in situ" behavior of tropical soils: slope stability. Committee on tropical soils, In: ICCTLSS, 1 th, ISSMFE, Brasília.
- ZACHAR, D. (1982) - Soil Erosion, Elsevier Scientific Pubi, Co. 547 p.

ZUQUETTE, L. V. (1987) - Análise crítica da cartografia geotécnica e proposta metodológica para as condições brasileiras. São Carlos. 3 v. Tese (Doutorado) – EESC - USP.

ZUQUETTE, L. V. (1993) - Importância do mapeamento geotécnico no uso e ocupação do meio físico: fundamentos e guia para elaboração. São Carlos, 2v. Tese (Livre Docência) - EESC - USP.

- CÂMARA, G., CASANOVA, M., HEMERLY, Y. A., MAGALHÃES, G., MEDEIROS, C. - (1996) Anatomia de sistemas de informações geográficas. Campinas, Instituto de Computação. UNICAMP, 197 p.
- CARSON, M. A. & KIRKBY, M. J. (1975) - Hillslope form and process. Oxford, Cambridge University Press, 475 p.
- CASTRO, D. M. (1998) - Estudo do potencial a erosão acelerada das áreas urbanas e de expansão do município de Descalvado - SP. Dissertação de mestrado, Dep. de Engenharia Civil, UFSCar. 150 p.
- CAVAGUTI, N. (1994) - Erosões lineares e solos urbanos: estudos, caracterização e análise da degradação do meio físico em Bauru, SP. Tese de Livre-Docência. Faculdade de Engenharia e Tecnologia - UNESP. Departamento de Engenharia Civil, Universidade de São Paulo, v.1 267 p.
- CERRI, C. E. P. (1999) - Mapeamento das áreas de risco à erosão dos solos da bacia do rio Piracicaba, utilizando geoprocessamento. Tese de Mestrado, ESALQ/USP. 89 p.
- CERRI, L.E.; SILVA, J.A. & SANTOS, P.H. (1997) - Erosão do solo - aspectos conceituais. Revista Universidade Guarulhos - Geociências, II(6): 92 - 98 p.
- CRAVES, H. M. L.; SILVA, P. A.; CARLOS, R. J. (1995) - Aplicação da USLE e SIG predição da erosão atual e potencial a nível regional: o caso do vale do São Francisco. In: Congresso Brasileiro de Ciência do solo, 25. Viçosa. 1961 - 1963 p.
- CHRISTOFOLETTI, A. (1974) - Geomorfologia. 2ª edição. São Paulo. Ed. Edgard Blucher Ltda.
- CLAYTON, K. M. (1972) - Slopes. Edinrurgh, Oliva & Boyd, 288 p.
- COCH, N. K. (1995) - Geohazards natural and human. Simon & Schuster Company, New Jersey. 481 p.
- COLLARES, E.G. (1992) - Princípios, evolução e aspectos metodológicos do mapeamento geotécnico. Revisão bibliográfica, Departamento de Geotecnia - EESC, 50 p.

- CROSTA, A. P. (1993) - Processamento digital de imagem de sensoriamento remoto. Instituto de geociências. UNICAMP. 170 p.
- DE MELLO, V. F.B. (1972) - Thoughts on soil engineering applicable to residual soil. In:ASCE, 13, SASSE, Hong Kong, 5 –33p.
- DOMINGUES, E. N.; ROSSI, M.; MATTOS, I. F. A.; ABE, K. & KITADA, M. (1998) -Tipologia e distribuição dos processos erosivos na microbacia do Ribeirão Água da Cachoeira, Paraguaçu Paulista, SP. Revista Brasileira de Ciências do Solo, 22: 141-149, 1998.
- DO REGO, J. J. V. (1978) - Erosão superficial em taludes de corte em solo residual de gnaiss. Dissertação de Mestrado. COPPE/UFRJ. 125 p.
- DUPAS, F. A. (1997) - Geoprocessamento aplicado a avaliação da dinâmica ambiental de projeto de mineração na amazônia: estudo do caso da mina pitinga. Tese de Doutorado EESC/USP, 238 p.
- ELLISON, W. D. (1947) - Soil erosion studies. Part 1. Agricultural Engineering, v.28, n^o 04.145 - 146 p.
- FERRAZ, F. F. B. (1996) - Aplicação de sistema de informações geográficas em estudo de área urbana de Piracicaba sujeita a inundação. Dissertação de Mestrado/ESALQ. 97 p.
- FERREIRA PINTO, S.A. (1998) - Geoprocessamento aplicado a caracterização de indicador da erosão do solo: exemplo da bacia hidrográfica do Ribeirão Claro - SP. VI Simpósio Nacional de Controle de Erosão, Presidente Prudente, SP.
- FIORI, O. C. ; SOARES P. C. (1976) - Aspectos evolutivos das vossorocas. Notícias Geomorfológicas, Campinas, v.16, n^o 32, p.114-124.
- FOLQUE, J. (1977) - Erosão interna em solos coesivos. Filtros de proteção. Sociedade Portuguesa de Geotecnia, v.20.
- FONTES, S. B. (1998) - Mapeamento geotécnico com ênfase em erosão. Revisão bibliográfica: Departamento de Geotecnia - EESC, 82 p.
- FONTES, S. B. (1999) - Mapeamento geotécnico com ênfase em erosões no município de Ouro

Preto - MG. Escala 1: 5.000. Dissertação de Mestrado. EESC/USP. 112 p.

GARCIA, G. 1. (1982) - Sensoriamento remoto - Princípios e interpretação de imagens. Nobel, São Paulo, 357 p.

GEOLOGICAL SOCIETY (1995) The Quartely Journal of Engineering Geology, Volume 28. Londres, Geological Society.

GUERRA, A. T. & GUERRA A. J. T. (1997) - Novo Dicionário Geológico-Geomorfológico. Bertrand Brasil - Rio de Janeiro, 648p.

HOGG, S. E. (1982) - Sheetflow. Earth Sci. Ver., v.18, 59 - 76p.

IAEG - INTERNATIONAL ASSOCIATION OF ENGINEERING GEOLOGY (1976)- Engineering geological maps: a guide to their preparation, Paris. Unesco. 79 p.

IBGE/SEPLAN-MS (1989) - Susceptibilidade à erosão da macrorregião da Bacia do Paraná. Convênio de cooperação técnico-científico. 456 p.

IPT (1981) - Mapa geológico do Estado de São Paulo (escala 1:500.000) - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 125 p.

IPT (1997) - Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo (escala 1:500.000) Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 63 p.

KEHEW, A. E. (1995) - Geology for engineers and environmental scientists. Simon & Schuster Company, New Jersey. 574 p.

LAWS, J. O. (1941) - Measurements of the fall velocity of water drops and raindrops. TAGU, Washington. 709-721 p.

LOLLO, J. A. (1996) - O uso da técnica de avaliação do terreno no processo de elaboração do mapeamento geotécnico: sistematização e aplicação na quadrícula de campinas. Tese de Doutorado. São Carlos, EESC. 2 vol.

LOLLO, J. A.; ZUQUETTE, L. V. (1997) – Avaliação do Terreno Aplicada a Elaboração do Processo de Mapeamento Geotécnico. São Carlos, EESC. 20p.

LOMBARDO, M. A. & MACHADO, R.P. (1995) - Aplicação das técnicas de sensoriamento remoto e sistemas de informações geográficas nos estudos urbanos. Departamento de Geografia da FFLCH/USP, 5 - 11p.

MACIEL FILHO, C. L. (1994) – Introdução à geologia de engenharia. Ed. da UFSM, Santa Maria, RS. 284 p.

MARBLE, D. A. (1984) Geographic information system: an overview. Pecora Symposium on Spatial Information Technologies for Remote Sensing Today and Tomorrow, Sioux Falls, SD. IEEE Computer Society, 18 - 24 p.

MITCHELL, C. W. (1973) - Terrain Evaluation 2ª ed.. New York, John Wiley & Sons INC.

MOORE, W. L. & MASCH, F. D. (1962) - Experiments on the scour resistance of cohesive sediments. J. Geophys. Res., vol.67.

NASCIMENTO, U. & CASTRO, E. (1976) - Erosão. Critérios de seleção de solos. Geotecnia, 20.17 - 33 p.

NISHIVAMA, L. (1995) - Erosão do solo: uma visão integrada dos fatores e processos que condicionam o seu desenvolvimento. São Carlos 95 p. Seminários Gerais em Geotecnia- SGS - 833, EESC/USP.

NOGAMI, J. S. & VILLIBOR, D. F. (1981) - Uma nova classificação de solos para finalidades rodoviárias. In: Simpósio Brasileiro de Solos Tropicais em Engenharia, V.01 COPPEIUFRJ, 30-41 p.

NOGAMI, J. S. & VILLIBOR, D. F. (1995) - Pavimentação de baixo custo com solos lateríticos. São Paulo. Ed. Villibor. 240 p.

OLIVEIRA, M. A. T.; COELHO NETTO, A. L.; AVELAR, A. S. (1994) – Morfometria de encostas e desenvolvimento de boçorocas no médio vale do rio Paraíba do Sul. Revista Geociências, São Paulo, 13 (1): 9-23p.

OLIVEIRA, M. A. T. & MEIS, M. R. (1985) - Relações entre geometria do relevo e formas de erosão acelerada (Bananal, SP). Goeciências, São Paulo, nº 4. 221 - 238 p.

PEJON, O. J. (1992) Mapeamento geotécnico regional da folha Piracicaba - SP escala 1:10.000): estudo de aspectos metodológicos, de caracterização e de apresentação de atributos. Dissertação de Doutorado. EESC/USP, São Carlos, 224 p.

PRANDINI, F. L. (1974) - Condicionantes geológicos e geotécnico da degradação ambiental. ABGE. São Paulo. Boletim n º 01 - 12 p.

PRANDINI, F. L. *et al* (1974) - Study of a Boçorocas: possibilities of control. In: International Congress of IAEG, 2, São Paulo. ABGE, v.01, tema 03 (publicação IPT nº 1035)

SUGUIO, K. (1980) - Rochas Sedimentares. São Paulo, Ed. Edgard Blücher Ltda., 500 p.

TEIXEIRA, A. L. A.; MORETTI, A.;CHRISTOFOLETTI, A. (1992) - Introdução aos sistemas de informações geográficas. Edição do Autor, Rio Claro, 1992, 80 p.

TROEB, F. R. (1965) - Landform equations fitted to contour maps. American Journal of Science, New York, 263.616 627 p.

VARGAS, M. (1953) - Some engineering properties of residual clay soils occurring in southern Brasil. In: ICSMFE, 3 th, v.1, Zurich.

VARNES D. J. (1974) - Landslides hazard zonation: a review of principles and practice. UNESCO; Paris, 63 p.

VILAR, O. M. (1987) - Formulação de um modelo matemático para erosão dos solos pela chuva. Tese de Doutorado, EESC/USP. 196 p.

WILKINSON, G.E. (1975) - Rainfall characteristics and soil erosion in the rainforest area of western Nigeria. Expl. Agr. II, 247-255 p.

WISCHMEIER W. H.(1973) - Conservation tillage to control water erosion. In; National Conservation Tillage Conference, Ankeny, Soil Conservation Society of America, 133-141 p.

WOLLE, C. M. (1985) - Peculiarities of "in situ" behavior of tropical soils: slope stability. Committee on tropical soils, In: ICCTLSS, 1 th, ISSMFE, Brasília.

ZACHAR, D. (1982) - Soil Erosion, Elsevier Scientific Pubi, Co. 547 p.

ZUQUETTE, L. V. (1987) - Análise crítica da cartografia geotécnica e proposta metodológica para as condições brasileiras. São Carlos. 3 v. Tese (Doutorado) – EESC -USP.

ZUQUETTE. L. V. (1993) - Importância do mapeamento geotécnico no uso e ocupação do meio físico: fundamentos e guia para elaboração. São Carlos, 2v. Tese (Livre Docência) - EESC - USP.

PRICE, D. G. (1993) - A suggested method for the classification of rock mass weathering by a rating system. Quarterly Journal of Engineering Geology. v.26.

RAMALHO, G. G. C. (1994) - Mapeamento geotécnico de Viçosa com o Uso de sistemas de informações geográficas. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Viçosa. 110 p.

REICHE, PARRY (1945) - Survey of weathering processes and products. Univ. of New Mex. Pub. in Geology, nº 01.

RICHARDS, J. A. (1986) - Remote sensing digital image analyses and introduction. Berlin, Spring-Verlag. 281 p.

RODRIGUES, J. E. (1982) - Estudo de fenômenos erosivos acelerados - Boçorocas. Tese de Doutorado – EESC/USP. Departamento de Vias de Transporte e Topografia, 162 p.

RODRIGUES, M. (1990) - Introdução ao geoprocessamento. Simpósio Brasileiro de Geoprocessamento, São Paulo, USP. Escola Politécnica, 1 - 26 p.

RUFINO, R. L. (1986) - Avaliação do potencial erosivo da chuva para o Estado do Paraná: Segunda aproximação. Ver. Bras. Ci. Solo, v.10, 279 - 281 p.

SALOMÃO, F. X. & IWASA, O. Y. (1995) - Erosão e ocupação rural e urbana. In: Curso de geologia aplicada ao meio ambiente. São Paulo. ABGB/IPT.

SARAIVA (1995) - Mapeamento geotécnico da folha de Socorro com base na análise das formas de relevo (*landforms*). Tese de Mestrado. EESC/USP, v.1.

SILVA, M. L. N.; FREITAS, P. L.; BLANCANEUX, P.; CURI, N & LIMA, J. M. (1997) - Relação entre parâmetros da chuva e perdas de solo e determinação da erodibilidade de um latossolo vermelho escuro em Goiânia (GO). Revista Brasileira de Ciências do Solo, 21.131-137 p.

SUAREZ & CASTRO, F. (1956) - Conservación de suelos. Madrid, Salvat, 298 p.