UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
CAMPUS DE SÃO CARLOS

Jocy Gonçalo de Miranda

Mapeamento geotécnico e estudo da susceptibilidade à erosão na bacia do Ribeirão Ponte de Pedra (MT), escala: 1:100.000.

V.I

Tese apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para a obtenção do Título de Doutor em Geotecnia.

Orientador: Prof. Dr. Nilson Gandolfi

São Carlos
2005

Livros Grátis

http://www.livrosgratis.com.br

Milhares de livros grátis para download.

Jocy Gonçalo de Miranda

Mapeamento geotécnico e estudo da susceptibilidade à erosão na bacia do Ribeirão Ponte de Pedra (MT), escala: 1:100.000.

V.I

Tese apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para a obtenção do Título de Doutor em Geotecnia.

Orientador: Prof. Dr. Nilson Gandolfi

São Carlos

2005

Data da Defesa: 28/10/2005

A Marileuza, Lucas Gabriel, Mateus e Maria Gabriela.

AGRADECIMENTOS

Ao Departamento Nacional de Produção Mineral - DNPM na pessoa do Dr. Marcelo Ribeiro Tunes (ex - Diretor Geral do DNPM), Dr. Miguel Antonio Cedraz Nery (Diretor Geral do DNPM) e Dr. José da Silva Luz (ex-Chefe do Distrito em Mato Grosso), pelo apoio oferecido à participação no curso de Doutorado.

Ao CNPq - Conselho Nacional de Desenvolvimento e Científico e Tecnológico, pela concessão de bolsa de estudos e de auxílio à pesquisa.

Ao professor Nilson Gandolfi, pelas orientações e sugestões na elaboração da Tese.

Ao professor Lázaro Valetim Zuquette, pelo apoio de nossa vinda a São Carlos e suas recomendações ao trabalho final, aos professores Antenor Braga Paraguassu, José Carlos A. Cintra, José Eduardo Rodrigues e Osni José Pejon, do Departamento de Geotecnia, nossos agradecimentos pelos conhecimentos adquiridos nas aulas proferidas.

Aos amigos deste Departamento, pela harmoniosa convivência durante o período em que aqui estivemos e também pelas contribuições nesta dissertação, em especial a Basílio, Célio, Dirlene, Domingos, Fábio, Gracinete, Gisele, Gilvana, Helano Fonteles, Holden, Indira Macambira, Ivan, Jânio, Juliana, Kleber, Leonardo, Luiz Baras, Marcilene, Maurício, Nívia, Paulo Maurício, Sandra Fernandes, Sara Fernandes, Silvana Brandão, Rogério, Vinícius e Wilson Cartaxo.

A TD – Engenharia Ltda, pelos dados e informações da Bacia e de Projetos de PCHs em estudos na região.

Ao Álvaro, a Maristela e Neiva, pelo atendimento prestativo junto à secretaria e aos demais funcionários Antônio, Herivelto, José Luiz e Oscar ao apoio técnico em informática e nos ensaios laboratoriais.

A todos que contribuíram para realização desta tese, os nossos sinceros agradecimentos.

SUMÁRIO

Lista de Figuras..... vi
Lista de Tabelas..... xii
Resumo..... xiv
Summary/Abstract..... xv

Capítulo 1. Introdução e objetivos..... 1
Capítulo 2. Revisão bibliográfica..... 4
2.1. A Questão Ambiental..... 4
2.2. Meio Ambiente..... 7
2.3. Problemas Ambientais Ocasionados pelo Uso Inadequado do Solo no Meio Urbano e Rural..... 14
2.3.1. Introdução..... 14
2.3.2. Meio Urbano..... 16
2.3.3. Meio Rural..... 21
2.4. Ocupação do Cerrado no Centro Oeste Brasileiro..... 24
2.5. O Solo e Suas Propriedades..... 27
2.5.1. Perfis de Intemperismos..... 29
2.5.1.1. Fatores que Controlam o Intemperismo..... 30
2.5.1.2. Intemperismo Físico..... 34
2.5.1.3. Intemperismo Químico..... 36
2.6. Erosão..... 41
2.6.1. Fatores Controladores dos Processos Erosivos..... 52
2.6.1.1. Fatores Naturais..... 53
2.6.1.2. Fatores Antrópicos ou Aceleradores..... 66
2.6.2. Estudos para determinação da Erodibilidade dos Solos..... 67
2.6.3.Técnicas de Controle de Erosão..... 77

a. Práticas de Caráter Vegetal..... 80

b. Práticas de Caráter Edáfico..... 81

c. Práticas de Caráter Mecânico..... 81

2.6.3.1. Controle de Erosões Causadas por Estradas..... 83

2.7. Principais Metodologias de Mapeamento Geotécnico..... 87

2.7.1.Metodologia da International Association of Engineering Geology (IAEG, 1976)..... 87

2.7.2. Metodologia Francesa (SANEJOUND, 1972)..... 89

2.7.3. Metodologia PUCE (*Pattern, Unity, Component, Evaluation*)…..... 91

2.7.4. Metodologia de COTTAS (1983)..... 92

2.7.5. Metodologia da EESC-USP…….. 96

2.7.6. Metodologia Empregada por CENDRERO (1975)…… 102

2.7.7. Metodologia de SOBREIRA (1995)…… 103

2.7.8. Metodologia do IPT (PRANDINI et al., 1993) e DINIZ et al. (1999)..... 105

2.7.9. Metodologia de GRECHI (1998)..... 106

2.8. Técnica de Avaliação de Terreno em Mapeamento Geotécnico..... 108

2.9. Sistema de Informação Geográfica (SIG)..... 112

Capítulo 3. Materiais e Métodos..... 119

3.1. Revisão Bibliográfica..... 119

3.2 Etapas de Campo..... 121

3.3 Ensaios de Laboratório..... 122

3.4. Análise, Avaliação, Cruzamento dos Dados e Documentos Cartográficos Produzidos..... 122

Capítulo 4. Características Gerais da Área..... 130

4.1. Aspectos Fisiográficos..... 131

4.1.1. Clima..... 131

4.1.2.Vegetação..... 133

4.2. Solos..... 133

4.2.1. Latossolo Vermelho-Escuro Álico..... 134

4.2.2. Podzólico Vermelho-Amarelo..... 134

4.2.3. Areias Quatzosas Álicas..... 135

4.2.4. Areias Quartzosas..... 135
4.3. Geomorfologia..... 135
4.4. Geologia..... 139
4.4.1. Formação Furnas..... 142
4.4.2. Formação Ponta Grossa..... 143
4.4.3. Formação Aquidauana..... 144
4.4.4. Formação Palermo..... 145
4.4.5. Formação Botucatu..... 146
4.4.6. Grupo Bauru (Indiviso)..... 147
4.4.7. Formação Cachoeirinha..... 148
4.4.8. Aluviões Recentes..... 149
4.4.9 Aspectos Estruturais..... 149

Capítulo 5. Documentos Cartográficos Produzidos..... 152
5.1. Mapa de Documentação (Anexo 1)..... 152
5.2. Carta de Declividade (Anexo 2)..... 154
5.3 Mapa de *Landforms* (Anexo 3)..... 157
5.3.1. *Landform* 1..... 158
5.3.2. *Landform* 2..... 162
5.3.3. *Landform* 3..... 162
5.3.4. *Landform* 4..... 164
5.3.5. *Landform* 5..... 165
5.3.6. *Landform* 6..... 166
5.3.7. *Landform* 7..... 166
5.3.8. *Landform* 8..... 168
5.3.9. *Landform* 9..... 169
5.3.10. *Landform* 10..... 170
5.3.11. *Landform* 11..... 170
5.3.12. *Landform* 12..... 171
5.3.13. *Landform* 13..... 171
5.3.14. *Landform* 14..... 172
5.3.15. *Landform* 15..... 173
5.3.16. *Landform* 16..... 175

5.3.17. *Landform* 17..... 176
5.3.18. *Landform* 18..... 177
5.3.19. *Landform* 19..... 178
5.3.20. *Landform* 20..... 178
5.3.21. *Landform* 21..... 181
5.3.22. *Landform* 22..... 182
5.3.23. *Landform* 23..... 183
5.3.24. *Landform* 24..... 184
5.3.25. *Landform* 25..... 186
5.3.26. *Landform* 26..... 188
5.3.27. *Landform* 27..... 189
5.3.28. *Landform* 28..... 190
5.4. Mapa de Substrato Rochoso (Anexo 4)..... 192
5.5. Mapa de Materiais Inconsolidados (Anexo 5)..... 194
5.6. Mapa de Uso e Ocupação (Anexo 6)..... 211
5.6.1. Reflorestamento (eucaliptos)..... 218
5.6.2. Pastagem..... 219
5.6.3. Solo Exposto/Extração Mineral..... 220
5.6.4. Planície de Inundação/Represa/Várzea/Rio..... 221
5.6.5. Lavoura (soja, algodão, milho, sorgo)..... 222
5.6.6. Cerrado/Campo Cerrado..... 224
5.6.7. Mata de Galeria/Floresta..... 225
5.6.8. Outros Tipos de Uso..... 227
a. Áreas de Disposição de Lixo Irregulares..... 228
b. Áreas de Assentamento Rural..... 229
c. Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs)..... 231

Capítulo 6. Susceptibilidade à Erosão da Bacia do Ribeirão Ponte de Pedra (Anexo 7)..... 232

7. Conclusões..... 251

8. Bibliografia..... 255

ANEXO 1 – MAPA DE DOCUMENTAÇÃO

ANEXO 2 – CARTA DE DECLIVIDADE

ANEXO 3 – MAPA DE *LANDFORMS*

ANEXO 4 – MAPA DE SUBSTRATO ROCHOSO

ANEXO 5 – MAPA DE MATERIAIS INCONSOLIDADOS

ANEXO 6 – MAPA DE USO E OCUPAÇÃO

ANEXO 7 – CARTA DE SUSCEPTIBILIDADE À EROSÃO

ANEXO 8 – ENSAIOS LABORATORIAIS DAS AMOSTRAS DE MATERIAIS INCONSOLIDADOS

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1	Sistema de gestão ambiental (Souza, 2000).....	13
Figura 2.2	Representação esquemática do uso agrícola do recurso do solo (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2000).....	23
Figura 2.3	Cerrados no Brasil (modificado de BACARRO, 1999).....	25
Figura 2.4	Diagrama mostrando a formação do manto de intemperismo em áreas tectonicamente inativas, em função das variações climáticas (TOLEDO et al., 2000).....	31
Figura 2.5	Influência da topografia na intensidade do intemperismo (TOLEDO et al., 2000).....	33
Figura 2.6	Processos de intemperismo físico (GEOLOGICAL SOCIETY ENGINEERING GROUP WORKING PARTY REPORT, 1995)…….....	36
Figura 2.7	Processo de intemperismo químico (GEOLOGICAL SOCIETY ENGINEERING GROUP WORKING PARTY REPORT, 1995)……....	37
Figura 2.8	Erosão linear (boçoroca) em área de cultivo agrícola (KARMANN, 2000), Foto IPT - SP.....	43
Figura 2.9	Estágios do desenvolvimento de uma ravina (CARSON ; KIRKBY, 1975)…….....	44
Figura 2.10	Agentes causadores de erosão (LAL, 1990, modificado por ALCANTARA (1997)…….....	45
Figura 2.11	Morfologia de sulcos e boçorocas KARMANN, 2000)…….	49
Figura 2.12	Modelo de evolução de voçorocas (RUHE (1975) apud OLIVEIRA (1999)…….....	51
Figura 2.13	Principais rotas de fluxo no momento da integração entre voçorocas conectadas e desconectadas (Adaptado de OLIVEIRA, 1999)…….	52
Figura 2.14	Componentes do balanço hidrológico (CARSON ; KIRKBY , 1975, modificado por NISHIYAMA, 1998).....	55
Figura 2.15	Comparação entre precipitação anual (mm/ano) e Mapa de Erosividade anual (MJ mm /ha.h.ano) e posicionamento da área estudada, modificado de SILVA, 2004).....	58
Figura 2.16	Mapa de curvas de iso-erosividade da porção nordeste da bacia do Alto Paraguai, modificado de RISSO et al., (1997)….....	59
Figura 2.17	Efeito do tipo de uso do solo sobre as perdas por erosão. Médias ponderadas para três tipos de solo do Estado de São Paulo (BERTONI ; LOMBARDI NETO, 1999)…….....	61
Figura 2.18	Curva de fator LS da equação de predição de perdas por erosão (BERTONI ; LOMBARDI NETO, 1999)…….....	63
Figura 2.19	Classificação das formas de encostas (TROEH, 1965).....	64
Figura 2.20	Nomograma de WISCHMEIER et al. (1971), conforme VILAR ; PRANDI (1993).....	68
Figura 2.21	Mapa de zonas de erosão e depósitos de sedimentos da bacia do Alto Paraguai (modificado de RISSO, 1997).....	73

Figura 2.22	Esquema do instrumento para execução do ensaio de absorção de água.....	75
Figura 2.23	Assoreamento de curso de água e entupimento de bueiro (INTERNATIONAL EROSION CONTROL ASSOCIATION, 2001).....	79
Figura 2.24	Boçorocas em área urbana de Bauru (SP), (KARMANN, 2000).....	80
Figura 2.25	Tipos de terraços (BERTONI ; LOMBARDI NETO, 1999)…..……....	82
Figura 2.26	Estabilização de margem de rio utilizando técnicas de bioengenharia - tela biodegradável e vegetação. (INTERNATIONAL EROSION CONTROL ASSOCIATION, 2001).....	85
Figura 2.27	Gabiões em canais e canaletas (RAZZO, 1997).....	86
Figura 2.28	Reforço de solo com grama armada para aumentar a resistência à erosão, usando três camadas de material para reforçar o crescimento de raízes em canal fluvial (geotêxtil, pedra de mão e geogrelha) (INTERNATIONAL EROSION CONTROL ASSOCIATION, 2001).....	86
Figura 2.29	Principais atributos que devem ser levantados durante o processo de Mapeamento Geotécinco, da proposta metodológica de ZUQUETTRE (1997).....	101
Figura 2.30	Aplicação da técnica de avaliação do terreno, modificado de COOKE ; DOORKAMP (1990) por LOLLO ; ZUQUETTE (1997).....	110
Figura 2.31	Estrutura geral de sistema de informação geográfica (CÂMARA, 1996).....	114
Figura 2.32	Componentes de um sistema de informação geográfica, segundo EASTMAN (1997).....	115
Figura 3.1	Procedimento metodológico empregado no estudo	120
Figura 3.2	Coleta de amostra indeformada em anel.....	122
Figura 3.3	Modelo de ficha de campo utilizado no trabalho.....	123
Figura 4.1	Localização da área de estudo.....	131
Figura 4.2	Unidades de relevo do Estado de Mato Grosso (adaptado de ROSS, 2001).....	136
Figura 4.3	Unidades de relevo brasileiro.....	137
Figura 4.4	Esboço geológico do Estado de Mato Grosso (RAJAB, 1998).....	141
Figura 4.5	Contato entre a Formação Furnas e cobertura silte-argilosa da Formação Cachoeirinha, nas proximidades do Aeroporto de Rondonópolis (ponto 9).....	143
Figura 4.6	Afloramento da Formação Ponta Grossa nas proximidades da Serra da Jibóia.....	144
Figura 4.7	Ocorrência de sílex com estratificação ondulada da Formação Palermo (ponto 127, MT-040) Norte de Itiquira.....	146
Figura 4.8	Brecha conglomerática de matriz arenosa bastante silicificadas do Grupo Bauru, aflorantes no *Graben* da Jibóia.(Anexo 1).....	148
Figura 4.9	Sedimentos inconsolidados areno-argilosos da Formação Cachoeirinha no topo da Serra de São Jerônimo.....	149
Figura 5.1	Mapa de Documentação.....	153

Figura 5.2	Modelo digital de terreno (MDT) das folhas topográficas que compreendem a região sul e leste de Rondonópolis e a bacia do Ribeirão Ponte de Pedra.....	156
Figura 5.3	Classes de Declividades da bacia do Ribeirão Ponte de Pedra.....	157
Figura 5.4	Modelo digital de Terreno da área de estudo. Notar a delimitação das 28 unidades compartimentadas de terreno, identificadas dentro da bacia estudada.....	159
Figura 5.5	Relevo típico do *Landform* 1: platôs amplos com baixa declividade (Ponto 8).....	160
Figura 5.6	Material inconsolidado típico do *Landform* 1 (Ponto 21).....	160
Figura 5.7	Erosão de pequeno porte gerada pelo fluxo concentrado causado pela estrada de terra (Ponto 21).....	161
Figura 5.8	Feição erosiva desenvolvida em material arenoso encontrado no limite deste *landform* (Ponto 48).....	161
Figura 5.9	Vista parcial da unidade 2. Notar a alta declividade das encostas (Ponto 25).....	162
Figura 5.10	Terreno típico do *Landform* 3 (Ponto 25).....	163
Figura 5.11	Corte de drenagem contendo material arenoso típico do *Landform* 3 (Ponto 7a).....	163
Figura 5.12	Boçoroca de mais de 2 Km de extensão encontrada no *Landform* 4. (Ponto 29).....	164
Figura 5.13	Erosão desenvolvida em material residual da Formação Furnas. Notar que o substrato rochoso está sendo entalhado pelo agente erosivo, Pedreira EMAL (Ponto 50).	165
Figura 5.14	Vista geral do *Landform* 6 (Ponto 14).....	166
Figura 5.15	Perfil típico do *Landform* 7. Notar nível de concreções lateríticas (próximo do Ponto 32).....	167
Figura 5.16	Arenito cinza, comum no *Landform* 7 (próximo do Ponto 32).....	167
Figura 5.17	Forma e encosta típica do *Landform* 8 (Ponto 14).....	168
Figura 5.18	Topo de encosta do *Landform* 8, com solo e/ou rocha expostos (Ponto 18).....	168
Figura 5.19	Detalhe da figura anterior mostrando blocos de arenito silicificado em meio a concreções lateríticas (Ponto 18).....	169
Figura 5.20	Presença de seixos e matações ao longo do leito do Ribeirão Ponte de Pedra, comum no *Landform* 11 (Ponto 20).....	171
Figura 5.21	Vista parcial do *Landform* 14, o qual encontra-se limitado pelo *Landform* 2 (Ponto 14).....	172
Figura 5.22	Perfil de alteração típico do *Landform* 14, formado por arenito medianamente alterado e solo laterítico de pequena espessura.....	173
Figura 5.23	Forma de encosta comum no *Landform* 15 (primeiro plano).....	174
Figura 5.24	Material inconsolidado arenoso pouco espesso, sobre arenito friável, comum no *Landform* 15 (Ponto 19).....	174
Figura 5.25	Forma de relevo típica do *Landform* 16 (Ponto 34).....	175
Figura 5.26	Arenitos finos muito alterados, comuns no *Landform* 16 (Ponto 35).....	176
Figura 5.27	Planície de inundação pertencente ao *Landform* 17 (Ponto 38).....	176
Figura 5.28	Perfil de alteração comum no *Landform* 17 (Ponto 7).....	177
Figura 5.29	Limite entre o *Landform* 1 e 18, ao fundo vê-se o 17 e as encostas do 24 (Ponto 78).....	178
Figura 5.30	Forma de encosta típica do *Landform* 20 (Ponto 57).....	179

Figura 5.31 Perfil de alteração muito comum no *Landform* 20. Notar a continuidade lateral do nível de concreções lateríticas (Ponto 62a)..... 179
Figura 5.32 Feições erosivas instaladas sobre o material exposto (Ponto 81)... 180
Figura 5.33 Boçoroca desenvolvida em material arenoso com ausência da camada laterítica (Ponto 58)..... 180
Figura 5.34 Feição erosiva encontrada em um pequeno açude (Ponto 48)..... 181
Figura 5.35 Ocorrência de arenito conglomerático (Ponto 68)..... 181
Figura 5.36 Aspecto de encosta do *Landform* 21..... 182
Figura 5.37 Forma de relevo típico do *Landform* 22 (Ponto 131)..... 182
Figura 5.38 Relevo representativo do *Landform* 23 (Ponto 128)..... 183
Figura 5.39 Boçoroca desenvolvida em arenito completamente alterado da Formação Aquidauana (Ponto 118)..... 184
Figura 5.40 Porção aplainada de terreno contido no *Landform* 24 (Ponto 89).. 185
Figura 5.41 Perfil pouco evoluído, rico em seixos e concreções lateríticas. Terreno típico das porções basais do *Landform* 24 (Ponto 115).... 185
Figura 5.42 Forma de encosta típica do *Landform* 25 (Ponto 105)..... 186
Figura 5.43 Material transportado, pouco espesso. Notam-se seixos arredondados na base do depósito (próximo do Ponto 111)..... 187
Figura 5.44 Brecha de falha tectônica (Ponto 111)..... 187
Figura 5.45 Feição erosiva de médio porte desenvolvida em material contendo concreções lateríticas (Ponto 100)..... 188
Figura 5.46 Formas de relevo típico do *Landform* 26 (Ponto 110)..... 189
Figura 5.47 Topo da encosta do *Landform* 27, material arenoso coberto por seixos de quartzo e concreções lateríticas (Ponto 132)..... 190
Figura 5.48 Forma de encosta típica do *Landform* 28 (Ponto 121)..... 191
Figura 5.49 Afloramento de arenito Botucatu pouco alterado, exibindo o desenvolvimento de sulcos em material exposto (Ponto 121)..... 191
Figura 5.50 Feição erosiva ativa no *Landform* 28 (Ponto 120)..... 192
Figura 5.51 Mapa de Substrato Rochoso 193
Figura 5.52 Dendograma mostrando análise de agrupamentos entre 81 amostras de materiais inconsolidados conforme os resultados dos ensaios de granulometria conjunta..... 196
Figura 5.53 Gráfico utilizado para classificar os materiais inconsolidados através do ensaio por adsorção de azul de metileno em função da porcentagem de argila presente na amostra, LAUTRIN (1987 e. 1989), apud PEJON (1992)..... 197
Figura 5.54 Diagrama utilizado para conhecer a atividade e o tipo das argilas presentes nas amostras de Material Inconsolidado, através do ensaio pelo método do azul de metileno LAUTRIN (1989), apud PEJON (1992)..... 197
Figura 5.55 Gráfico utilizado para determinação do potencial expansivo das amostras ensaiadas pelo método de azul de metileno, PEJON (2000)..... 198
Figura 5.56 Gráfico SxP utilizado para classificação da erodibilidade de amostras de ensaios de materiais inconsolidados..... 200
Figura 5.57 Material muito arenoso da Classe 1 (ponto 5)..... 200
Figura 5.58 Exemplo de boçoroca verificada no domínio dos Materiais Inconsolidados da Classe 1 (ponto 28a)..... 200

Figura 5.59	Boçoroca existente no domínio dos Materiais Inconsolidados da Classe 1 (Ponto 97).....	202
Figura 5.60	Material areno-argiloso da classe 2, sob saprolitos laterizados da Formação Furnas (Ponto 81).....	204
Figura 5.61	Terreno areno-siltoso mediamente espesso da Classe 3 (em primeiro plano), (Ponto 130).....	205
Figura 5.62	Boçoroca kilométrica existente no domínio dos Materiais Inconsolidados da Classe 4 (Ponto 26).....	207
Figura 5.63	Erosão marginal desenvolvida as margens do Córrego Buriti, em Materiais Inconsolidados da Classe 4 (Ponto 51).....	207
Figura 5.64	Terreno de ocorrência de Materiais muito argilosos da Classe 5 (Ponto 11).....	209
Figura 5.65	Mapa de Materiais Inconsolidados.....	210
Figura 5.66	Imagem do satélite LANDSAT – TM, nas composições coloridas (RGB) da bacia estudada de junho /2002.....	212
Figura 5.67	Uso e ocupação da bacia em 1982, conforme LOUREIRO et. al. (1982).....	217
Figura 5.68	Uso e ocupação da bacia estudada pela imagem de 2002.....	218
Figura 5.69	Porção de terreno ocupada por eucalipto (em vermelho).....	219
Figura 5.70	Visão em campo de uma área de reflorestamento de eucalipto.....	219
Figura 5.71	Porção de terreno ocupada por pastagem (tonalidade azul claro)..	220
Figura 5.72	Vista panorâmica com ocorrência de pastagem.....	220
Figura 5.73	Área exposta devido à remoção de cascalho (proximidades da Fazenda Sementes Mônica), Ponto 62a).....	221
Figura 5.74	Ocorrência de substrato rochoso exposto, arenito silicificado da Formação Furnas (Pedreira Emal Ltda.).....	221
Figura 5.75	Ocorrência de várzea.....	222
Figura 5.76	Visualização de áreas inundáveis com vegetação típica de várzea.....	222
Figura 5.77	Área com agricultura mecanizada de grande porte (cabeçeira da bacia do Ribeirão Ponte de Pedra).....	223
Figura 5.78	Visão de terreno essencialmente agrícola (soja na colheita).....	223
Figura 5.79	Área de plantio de soja (pulverização de herbicida).....	223
Figura 5.80	Visão da ocupação por lavoura da Serra de São Jerônimo e foz do Ribeirão Ponte de Pedra (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 2005).....	224
Figura 5.81	Porção da imagem mostrando ocorrência de vegetação de cerrado de porte médio (tonalidade verde escuro).....	224
Figura 5.82	Visão da vegetação representativa desta classe.....	225
Figura 5.83	Ocorrência de áreas preservadas na foz da bacia vista em imagem de satélite (tonalidade marrom).....	226
Figura 5.84	Visão de terreno ocupado por mata densa (próximo à foz do Ribeirão Ponte de Pedra).....	226
Figura 5.85	Mata ciliar acompanhando principais canais de drenagem.....	227
Figura 5.86	Mata de galeria presente no baixo curso do Ribeirão Ponte de Pedra.....	227
Figura 5.87	Restos animais em lixo irregular, nos fundos da Faz. Maggi Ltda.....	228
Figura 5.88	Disposição de restos vegetais e bota fora próximo à Fazenda Sementes Mônica.....	228

Figura 5.89	Disposição de recipientes de produtos agrícolas (defensivos), em voçoroca próximos ao Ponto 29. (20.06.2002).....	229
Figura 5.90	Local da imagem anterior (Ponto 29), nota-se que os recipientes de defensivos e produtos agrícolas na voçoroca foram encobertos por camada de solo (11.02.2003).....	229
Figura 5.91	Visão, na imagem de satélite, do Assentamento Carimã, notar a heterogeneidade do uso da terra.....	230
Figura 5.92	Visão, na imagem de satélite do Assentamento Santa Luzia (Pioneira), na porção central da Bacia.....	230
Figura 6.1	Etapas e procedimentos na geração do Mapa de Susceptibilidade à erosão da área estudada.....	233
Figura 6.2	Pesos adotados na reclassificação dos tipos de Materiais Inconsolidados para geração do Mapa de Susceptibilidade à Erosão.....	235
Figura 6.3	Reclassificação do Mapa de Uso e Ocupação para geração da Carta de Susceptibilidade à Erosão.....	237
Figura 6.4	Reclassificação da Carta de Declividades para geração da Carta de Susceptibilidade à Erosão da Bacia do Ribeirão Ponte de Pedra.....	238
Figura 6.5	Reclassificação das espessuras dos Materiais Inconsolidados para geração da Carta de Suscetibilidade à erosão.....	240
Figura 6.6	Reclassificação do Mapa de Substrato Rochoso para Geração da Carta de Suscetibilidade à erosão.....	242
Figura 6.7	Comandos utilizados para atribuição de pesos (*weight*) aos atributos de cada documento cartográfico analisado.....	244
Figura 6.8	Matriz de comparação relativa entre os atributos do meio físico considerado para cruzamentos e geração da Carta de Susceptibilidade à Erosão.....	245
Figura 6.9	Método de apoio à decisão utilizado para geração da Carta de Susceptibilidade à Erosão (Avaliação por Critérios Múltiplos, do tipo, Combinação Linear Ponderada).....	246
Figura 6.10	Terreno em área de susceptibilidade média, com surgimento de sulcos devido rompimento de plantio em nível (próximo ao Ponto 27.....	248
Figura 6.11	Carta de Susceptibilidade à Erosão da Bacia do Ribeirão Ponte de Pedra (Anexo 7).....	250

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1	Fator LS da equação de previsão de perdas de solo para várias combinações de grau de declive e comprimento de rampa, segundo (BERTONI . LOMBARDI NETO, 1999).....	63
Tabela 2.2	Valor de P da equação de perda do solo; para algumas práticas conservacionistas, SEGUNDO (MARQUES ; BERTONI ; BARRETO, 1961).....	70
Tabela 4.1	Precipitação anual na região de Rondonópolis entre 1992 a 2002.	132
Tabela 5.1	Classes de declividades.....	155
Tabela 5.2	Caracterização das amostras dos materiais inconsolidados da Classe 1.....	199
Tabela 5.3	Textura, resultado de ensaio de erodibilidade e existência de feições erosivas em ponto de amostra de material inconsolidado da Classe 1.....	201
Tabela 5.4	Caracterização das amostras dos materiais inconsolidados da Classe 2.....	203
Tabela 5.5	Texturas, resultados dos ensaios de erodibilidade e presença de feições erosivas nos locais de amostragem de materiais inconsolidados da Classe 2.....	203
Tabela 5.6	Caracterização das amostras dos materiais inconsolidados da Classe 3.....	204
Tabela 5.7	Texturas e resultados dos ensaios de erodibilidade em amostras de materiais inconsolidados da Classe 3.....	205
Tabela 5.8	Caracterização das amostras dos materiais inconsolidados da Classe 4.....	206
Tabela 5.9	Composições granulométricas, erodibilidade e presença de feições erosivas em materiais inconsolidados da Classe 4.....	208
Tabela 5.10	Caracterização das amostras dos materiais inconsolidados da Classe 5.....	209
Tabela 5.11	Composições granulométricas, erodibilidade e não ocorrências de feições erosivas em materiais inconsolidados da Classe 5.....	209
Tabela 5.12	Qualidade da classificação e valores da estatística *Kappa*. (conforme LANDIS ; KOCH, (1977).....	215
Tabela 5.13	Classes de Uso e Ocupação classificadas e delimitadas na área estudada.....	216
Tabela 6.1	Atributos e pesos adotados na reclassificação do Mapa de Materiais Inconsolidados em vista à geração da Carta de Susceptibilidade à Erosão.....	235
Tabela 6.2	Atributos e pesos adotados na reclassificação do Mapa de Uso e Ocupação para geração da Carta de Susceptibilidade à Erosão.....	237
Tabela 6.3	Pesos atribuídos na reclassificação da Carta de Declividade para geração da Carta de Susceptibilidade à Erosão.....	238

Tabela 6.4	Pesos adotados na reclassificação da espessura dos Materiais inconsolidados para geração da Carta de Susceptibilidade à Erosão.....	239
Tabela 6.5	Atributos e pesos adotados na reclassificação do Mapa de Substrato Rochoso com vistas à geração da Carta de Susceptibilidade à Erosão.....	242
Tabela 6.6	Pesos e índice de consistência obtida para cruzamento dos documentos cartográficos e seus atributos.....	246
Tabela 6.7	Atributos do meio físico que ponderados e comparados através do processo analítico hierárquico (AHP) e através do método de apoio à decisão foi utilizado para geração da Carta de Susceptibilidade à Erosão.....	249

RESUMO

MIRANDA, Jocy Gonçalo de. **Mapeamento geotécnico e estudo da susceptibilidade à erosão na bacia do Ribeirão Ponte de Pedra (MT), escala: 1:100.000.** 2005. 278p. Tese (Doutorado em Geotecnia). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

Este trabalho envolve o estudo dos solos de cerrado, formação savânica existente no Brasil, da borda ocidental do Planalto Central Brasileiro, baseado no uso e ocupação e suas conseqüências ao meio ambiente, na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Ponte de Pedra, que drena os municípios de Rondonópolis, Pedra Preta e Itiquira, sul do Estado de Mato Grosso, região Centro Oeste do Brasil. Objetivou-se identificar os atributos do meio físico através de mapeamento geotécnico, tais como, substrato rochoso, *landforms*, materiais inconsolidados, topografia, rede de drenagem e outros de natureza antrópica que influenciam na mudança das características ambientais desse importante ecossistema rico em biodiversidade, utilizando como base a metodologia proposta pela Escola de Engenharia de São Carlos (USP), da Técnica de Avaliação de Terreno, tendo como ferramenta, diversos programas de geoprocessamento para geração de mapas e cartas, dando subsídios ao estudo, avaliação e análise dos graus de susceptibilidade à erosão de seus terrenos.

Palavra-chave: Mapeamento geotécnico, Susceptibilidade à Erosão, Geoprocessamento, Bacia do Ribeirão Ponte de Pedra (MT).

SUMMARY/ABSTRACT

MIRANDA, Jocy Gonçalo de. **Geotechnical Mapping and study of the susceptibility to erosion of the basin of Ribeirão Ponte de Pedra (MT), scale: 1:100.000.** 2005. 278p. Thesis (Doctorate in Geotechnical Sciences). Escola de Engenharia de São Carlos, University of São Paulo, São Carlos.

This paper involves the study of the "cerrado" soils, a savannah-like formation found in Brazil, at the Western border of the Brazilian Central Plain, based on its use and occupation and the impacts thereof on the environment, in the Water Basin of Ribeirão Ponte de Pedra, which drains the municipalities of Rondonópolis, Pedra Preta and Itiquira, in the South of the State of Mato Grosso, in the Center-West region of Brazil. The purpose of this paper was to identify the physical characteristics through geotechnical mapping, such as, the rock substrate, landforms, unconsolidated materials, topography, the drainage network and other anthropic features that influence changes in the environmental characteristics of this important ecosystem, rich in biodiversity, based on the methodology proposed by Escola de Engenharia de São Carlos (USP) and on the Land Evaluation Technique, by means of various geoprocessing models, to produce maps and charts, to subsidize the study, evaluation and examination of the susceptibility levels of the soils to erosion.

Keywords: Geotechnical mapping, Susceptibility to Erosion, Geoprocessing, Physical Basin of Ribeirão Ponte de Pedra (MT).

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

A urbanização acelerada por que passa o Brasil, atingindo nas últimas décadas índices em torno de 70% e conforme os últimos levantamentos do IBGE ocasionaram a demanda por novas terras e fronteiras de ocupação rumo ao meio Oeste brasileiro. Nos últimos 20 anos, a utilização dos cerrados para atividades agropecuárias acarretou incremento na agricultura, o surgimento de novos municípios e o crescimento de aglomerados urbanos, cuja atividade econômica principal está diretamente relacionada com a exploração mecanizada do solo.

Nos cerrados ou savanas tropicais do Brasil, predominam solos de baixa fertilidade, ácidos e com altos teores de saturação em alumínio, que passaram a ser aproveitáveis com a utilização de corretivos e fertilizantes, com destaque para a região Centro-Oeste do Brasil, principalmente no Estado de Mato Grosso. Neste desenvolve-se uma agricultura altamente mecanizada e técnica, para o cultivo de algodão e grãos, transformando o Estado no maior produtor nacional dessas culturas, atingindo a safra de 123 milhões de toneladas em 2003, segundo dados do INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE, 2004).

O grande domínio morfoclimático das áreas no cerrado brasileiro caracteriza-se pela presença de pequenas árvores e arbustos com troncos retorcidos, distribuição espaçada,

em meio a vegetações rasteiras e ralas, típicas de savanas. Possui rica fauna e flora e os solos são em sua maioria ácidos, muito intemperizados e com baixa disponibilidade de nutrientes para desenvolvimento de vegetação de grande porte. A precipitação pluvial total pode variar de 250 mm/ano até 1.300 mm/ano, sempre com uma estação seca prolongada. No Estado de Mato Grosso, a região de cerrado adquire importância porque nela estão as principais nascentes de inúmeros rios que drenam a bacia do Alto Paraguai e a porção sul da bacia Amazônica.

A ação antrópica desordenada, visando à substituição da vegetação típica de cerrado por culturas de grãos e pecuária, vem causando desgastes e destruição dos sistemas naturais, como erosão contínua do solo em faixas de terra situadas às margens dos córregos e em zonas com declividades acima de 15% (vinte por cento). Nestas, verifica-se, a aptidão para a pecuária, acarretando o assoreamento de rios, diminuindo o potencial hidráulico da bacia inviabilizando o aproveitamento para geração de energia elétrica, diminuindo a vida útil desses empreendimentos.

Esta pesquisa caracterizou o uso e ocupação do solo e os tipos de materiais inconsolidados e susceptibilidade à erosão, tendo como referência a bacia do Ribeirão Ponte de Pedra situada nos limites dos ecossistemas de cerrado e o Pantanal Mato-grossense, utilizando como ferramenta o mapeamento geotécnico e a técnica de avaliação de terreno, para produzir os seguintes documentos cartográficos: Mapa de Documentação, Carta de Declividade, Mapa de *Landforms*, Mapa de Substrato Rochoso, Mapa de Materiais Inconsolidados, Mapa de Uso e Ocupação e Carta de Susceptibilidade à Erosão, este último apresentado subsídios à ocupação e ordenamento territorial da região estudada.

Com o objetivo de levantar e de organizar as informações (referências bibliográficas) sobre o uso e ocupação do solo e seus problemas ambientais decorrentes de ação antrópica, pela má utilização, são aqui apresentadas as principais definições inerentes ao

assunto, com destaque para o detalhamento para o estudo do solo e suas propriedades, a dinâmica dos processos erosivos, fatores e técnicas de controle de erosão, metodologias de mapeamento geotécnico e de avaliação de terreno e o uso de SIG (Sistema de Informação Geográfica) em mapeamento.

CAPÍTULO 2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. A QUESTÃO AMBIENTAL

Somente na década de 80 cresceu a conscientização dos problemas ambientais no Brasil, com surgimento de movimentos ecológicos (Organizações Não-governamentais - ONG) e de partidos com bandeira à causa ecológica e imposição por parte de entidades de investimentos de projetos aos países do terceiro mundo. Em atenção a isso, foi criada pela Lei 6.938/81 o Sistema Nacional de Meio Ambiente (SISNAMA) e instituiu o Cadastro de Defesa Ambiental e o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), com objetivo de: "preservação, melhoria e recuperação da qualidade ambiental propícia à vida, visando assegurar, no País, condições ao desenvolvimento sócioeconômico, aos interesses da segurança nacional e à proteção da dignidade da vida humana". Foi o primeiro passo dado pelo governo ao clamor da sociedade brasileira em relação à preservação ambiental.

Seus princípios são:

I - ação governamental na manutenção do equilíbrio ecológico, considerando o meio ambiente como um patrimônio público a ser necessariamente assegurado e protegido, tendo em vista o uso coletivo;

II - racionalização do uso do solo, do subsolo, da água e do ar;

III - planejamento e fiscalização do uso dos recursos ambientais;

IV - proteção dos ecossistemas, com a preservação de áreas representativas;

V - controle e zoneamento das atividades potencial ou efetivamente poluidoras;

VI - incentivos ao estudo e à pesquisa de tecnologias orientadas para o uso racional e a proteção dos recursos ambientais;

VII - acompanhamento do estado da qualidade ambiental;

VIII - recuperação de áreas degradadas;

IX - proteção de áreas ameaçadas de degradação;

X - educação ambiental a todos os níveis do ensino, inclusive a educação da comunidade, objetivando capacitá-la para participação ativa na defesa do meio ambiente.

Conforme o Art. 8° da Lei 6.938/81 são competências do CONAMA:

I – estabelecer normas para o Licenciamento Estadual;

II – estudos de alternativas (EIA/RIMA);

III – decidir sobre recursos, mediante depósito prévio;

IV – estabelecer normas, critérios e padrões relativos ao controle e à manutenção da qualidade do meio ambiente, com vistas ao uso racional dos recursos ambientais, principalmente os hídricos.

No Art. 9º da referida Lei assinalamos os itens II, III e IV dos instrumentos da Política Nacional do Meio Ambiente:

II - o zoneamento ambiental;

III - a avaliação de impactos ambientais;

IV - o licenciamento e a revisão de atividades efetiva ou potencialmente poluidoras;

A Resolução n° 001/86 do CONAMA foi de grande valor à política ambiental brasileira, ao instituir a obrigatoriedade da elaboração de estudos de impactos ambientais para atividades potencialmente causadoras de danos ambientais, associando a avaliação de impacto ambiental ao sistema de licenciamento ambiental, descentralizada aos órgãos estaduais de meio ambiente.

O debate mundial sobre a questão ambiental teve marco principal com a realização em 1992 no Rio de Janeiro, da Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento – ECO/92. Foram realizadas convenções sobre mudanças climáticas (efeito estufa) e sobre a biodiversidade, embora houve grande pressão da opinião pública internacional, muitos governantes não assinaram os acordos em vista a interesses políticos e econômicos, resultando-os em meras “cartas de intenções” (ALMEIDA, 1998).

As cartas de princípios, a Agenda 21 (Programa 21 para a ONU) – aprovados antes e durante a Conferência do Rio – aponta para a necessidade de uma revisão das ações antrópicas a fim de que estas considerem as especificidades do meio ambiente para sua implementação, trazendo recomendações de novas práticas econômicas, sociais e de implementação política (SOUZA, 2000).

A afirmação definitiva do meio ambiente enquanto questão legitimamente norteadora de decisões políticas e econômicas, bem como a adaptação do arcabouço institucional brasileiro a esse contexto, levaria ainda algum tempo BURSZTYZ (1993).

A Constituição de 1988 foi um avanço para a questão ambiental, favorecendo a criação em 1989 de uma agência governamental para a condução da política ambiental, o

Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA, fusão da SEMA (Secretaria Especial do Meio Ambiente) com o IBDF (Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal), a SUDHEVEA (Superintendência de Desenvolvimento da Borracha) e a SUDEPE (Superintendência de Desenvolvimento da Pesca). Em 1990, com o governo Collor, é criada a SEMAM (Secretaria do Meio Ambiente) da Presidência da República, à qual ficava subordinado o IBAMA.

Atualmente o IBAMA é o órgão governamental em esfera federal que dita as regras da política de meio ambiente no Brasil em consórcio com instituições estaduais através de convênios, tais como CETESB, FEEMA-RJ, SEMA/MT, etc.

2.2. MEIO AMBIENTE

Nos entendimentos da Lei n° 6.938/1981, meio ambiente é o conjunto de condições, leis, influências e interações de ordem física, química e biológica, que permite, abriga e rege a vida em todas as suas formas.

Em BRASIL (1986), meio ambiente é conjunto de todas as condições e influências externas que afetam a vida e o desenvolvimento de um organismo.

Segundo a ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT (1989), o meio ambiente é "determinado espaço onde ocorre a interação dos componentes biótico (fauna e flora) abióticos (água, rocha e ar) e biótico-abiótico (solo). Em decorrência da ação humana, caracteriza-se também o componente cultural".

Meio ambiente segundo GRINOVER (1989), é um jogo de interações complexas entre o meio suporte (elementos abióticos), os elementos vivos (elementos bióticos) e as práticas sociais produtivas do homem. O todo ambiental compreende: flora, fauna, processos físicos naturais, utilização do espaço pelo homem, etc. A apreciação da importância desses

elementos está, segundo o mesmo autor, diretamente ligada à cultura, à classe social e às atividades de cada indivíduo.

Segundo SACHS (1986), meio ambiente inclui o natural, as tecno-estruturas criadas pelo homem (ambiente artificial) e o ambiente social (ou cultural). Inclui todas as interações entre os elementos naturais e a sociedade humana. Assim, meio ambiente inclui os domínios ecológicos, sociais, econômicos e político.

O conjunto de condições que afetam a existência, desenvolvimento e bem-estar dos seres vivos. Não se trata, pois, apenas de um lugar no espaço, mas de todas as condições físicas, químicas e biológicas que favorecem ou desfavorecem o desenvolvimento. É também conhecido como sistema ecológico (BRANCO, 1978, apud MOTA, 1997).

Para o INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO - IBRAM (1992) há uma forte tendência a se associar o conceito de meio ambiente somente à flora. Assim, são deixados de lado elementos essenciais e indissociáveis, próprios do ser humano, cuja subsistência está intrinsecamente vinculada tanto ao meio social, como aos elementos sócio-econômicos, históricos, culturais, bem como aos recursos naturais, entre os quais são considerados: fauna, flora, solo, ar, água, minérios e outros.

Nesse estudo do IBRAM é analisado o conceito de meio ambiente na legislação de diversos estados da federação, como citado a seguir. A legislação fluminense considerou como meio ambiente "*todas as águas interiores ou costeiras, superficiais ou subterrâneas, o ar e o solo*" (art. 1º, parágrafo único, do Decreto-lei 134/75). Para o Estado do Alagoas, "compões o Meio Ambiente os recursos hídricos, a atmosfera, o solo, o subsolo, a flora e a fauna, sem exclusão do ser humano" (art. 3º, da Lei 4.090/79). O Maranhão conceituou o meio ambiente como "o espaço físico composto dos elementos naturais (solo, água e ar) obedecidos os limites desse Estado" (art. 2º parágrafo único, alínea "a" da Lei 4.154/80.

Para OLIVEIRA et al. (1993) o meio ambiente também contempla a indissociável relação entre os componentes naturais e a ação do homem e a ação do homem, estabelecendo uma dinâmica própria. É neste quadro de relações entre os diversos componentes de um determinado ambiente que as intervenções do homem e as suas conseqüências são analisadas, sob a ótica do meio físico.

Sobre o meio físico pode ser entendido como o conjunto do meio ambiente definido pela interação de componentes predominantemente abióticos, quais sejam, materiais terrestres (solos, rochas, água, ar) e tipos naturais de energia (gravitacional, solar, energia interna da Terra e outras), incluindo suas modificações decorrentes da ação biológica e humana (FORNASARI FILHO et al., 1992).

Os processos do meio físico referem-se aos fenômenos potencializados pela interação de componentes materiais e tipos de energia, podem ser deflagrados, acelerados ou retardados por agentes físicos, químicos, biológicos ou humanos, em um determinado ambiente. FORNASARI FILHO op. cit. (1992) subdivide os elementos destes processos em essenciais (ou passivos) e reguladores (ativos ou desencadeadores).

As atividades modificadoras do meio ambiente referem-se a todas as atividades humanas que modificam as características físicas, químicas ou biólogicas, ou interferem em usos preexistentes de um determinado ambiente. Assim, os processos tecnológicos correspondem ao conjunto de técnicas e operações que caracterizam a implantação, funcionamento ou desativação de uma atividade modificadora do meio ambiente, produzindo alterações no meio físico que podem levar à degradação de uma área.

Meio físico é a parcela do meio ambiente constituída pelos materiais rochosos e inconsolidados, as águas e o relevo que estão combinados e arranjados de diversas maneiras em espaços tridimensionais, com diferentes níveis de heterogeneidade em uma região. (ZUQUETTE, 1993).

A respeito da caracterização do meio físico, AB' SABER (1994) apud SOUZA (2000), salienta que a produção de um espaço humanizado não é realizada no ar. Muito pelo contrário: campos cultivados, cidades, metrópoles, estabelecimentos industriais, rodovias e caminhos são implantados sobre um suporte territorial, ou seja, sobre um suporte físico e ecológico que possui uma compartimentação topográfica, projetando-se por um chão dotado de rochas alteradas, formações superficiais e um mosaico de solos.

Quando se trata do meio ambiente são abordados temas a respeito de sustentabilidade ambiental e gestão ambiental, a respeito do primeiro, GUIMARÃES (1997) apud MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (2000a), relaciona à capacidade de suporte dos ecossistemas associados de absorver ou se recuperar das agressões derivadas da ação humana (ação antrópica), implicando um equilíbrio entre as taxas de emissão e/ou produção de resíduos e taxas de absorção e/ou regeneração da base natural de recursos.

No dicionário básico de meio ambiente, organizado por VEROCAI (2001), sustentabilidade ambiental tem as seguintes definições:

"*Melhoria da qualidade da vida humana, respeitando a capacidade de assimilação dos ecossistemas que a suportam*", "A sustentabilidade ambiental define-se por duas funções (*services*) fundamentais do meio ambiente - fonte e receptor - que se devem manter inalteradas durante o período em que se requer a sustentabilidade(...) Assim, a sustentabilidade ambiental é um conjunto de restrições de quatro atividades fundamentais que regulam a escala do subsistema econômico do homem: a assimilação da poluição e dos resíduos, no que se refere à função "receptor", e o uso dos recursos renováveis e dos não renováveis, no que se refere à função "fonte". O ponto fundamental a ser observado nesta definição é que a sustentabilidade ambiental é um conceito da ciência natural e obedece a leis biofísicas, mais do que às leis humanas. Esta definição geral parece ser válida, qualquer que seja o país, o setor ou a época por vir."

CHADWICK (1971) e LEE (1975) apud LOPES (2000), conceituam gestão ambiental como sendo a continuidade do planejamento, onde se inclui toda ação antrópica capaz de alterar essencialmente o ambiente humano em relação com o cumprimento dos objetivos de um sistema específico, que via de regra, passa pelas seguintes etapas:

- Identificação e descrição do sistema;
- definição dos objetivos com base nos problemas atuais, futuros e suas inter-relações;
- geração de soluções que satisfaçam os objetivos, sem violar as restrições do sistema;
- seleção da solução mais adequada;
- execução e controle.

VEROCAI (2001), diz que o conceito original de gestão ambiental diz respeito à administração, pelo governo, do uso dos recursos ambientais, por meio de ações ou medidas econômicas, investimentos e providências institucionais e jurídicas, com a finalidade de manter ou recuperar a qualidade do meio ambiente, assegurar a produtividade dos recursos e o desenvolvimento social. Este conceito, entretanto, tem se ampliado nos últimos anos para incluir, além da gestão pública do meio ambiente, os programas de ação desenvolvidos por empresas para administrar suas atividades dentro dos modernos princípios de proteção do meio ambiente.

Para ZUQUETTE (1993), gestão ambiental trata se da administração integrada da região (ambiente) com critérios de equilíbrio, promovendo o desenvolvimento e bem estar harmonioso dos seres humanos (melhorar a qualidade de vida, manter a disponibilidade dos recursos) sem esgotar e/ou deteriorar os recursos renováveis e sem destruir (dilapidar) os não renováveis.

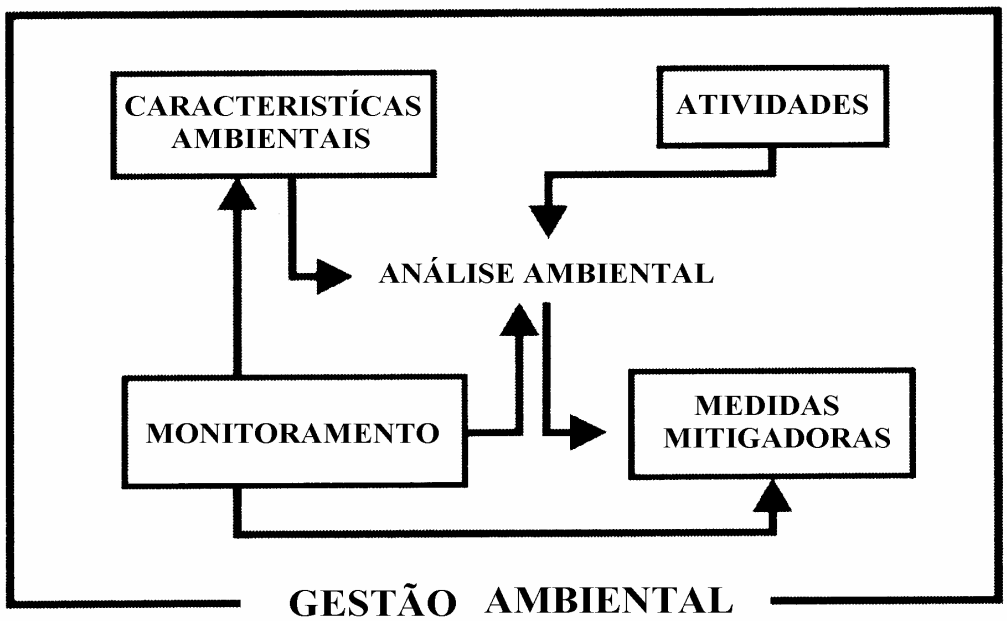
No entendimento de TOLBA (1987) apud SOUZA (2000), a gestão ambiental refere-se ao gerenciamento de todas as atividades humanas que tem significante impacto sobre o meio ambiente. Essa nova forma de gerir alarga o conceito de processo de desenvolvimento, ao incluir como objetivo maior a qualidade ambiental, e ao permitir que ele se dê por um longo prazo e em bases sustentáveis.

Para o MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (2000) gestão ambiental entende-se o conjunto de princípios, estratégias e diretrizes de ações e procedimentos para proteger a integridade dos meios físicos e bióticos, bem como a dos grupos sociais que deles dependem. Esse conceito inclui, também, o monitoramento e o controle de elementos essenciais à qualidade de vida, em geral, e à salubridade humana, em especial. Suas atividades envolvem o monitoramento, o controle e a fiscalização do uso dos recursos naturais, bem como o processo de estudo, avaliação e eventual licenciamento de atividades potencialmente poluidoras. Envolvem também, a normatização de atividades, definição de parâmetros físicos, biológicos e químicos dos elementos naturais serem monitorados, assim como os limites de sua exploração e/ou as condições de atendimento dos requerimentos ambientais em geral.

Segundo SOUZA (2000) o método de execução da gestão ambiental deve seguir as seguintes etapas:

- elaboração da caracterização ambiental e da atividade;
- realização de uma análise ambiental;
- estudo e adoção de ações mitigadoras e proposição e operação de uma rede de monitoramento.

A Figura 2.1 mostra a relação entres essas etapas.



Fonte: SOUZA (1996) *apud* SOUZA (2000)

Figura 2.1. Sistema de gestão ambiental.

Para o mesmo autor, a caracterização ambiental é responsável pela determinação das vocações e suscetibilidades naturais dos fatores ambientais, que podem ser subdivididos em meios físico, biológico e antrópico. Os fatores físicos do meio ambiente devem ser entendidos como toda a estrutura abiótica. Alguns desses importantes fatores são: os recursos hídricos, a caracterização hidrogeológica, a pedologia, a descrição geomorfológica, os estudos geológicos e geotécnicos e os estudos climatológicos.

Os fatores relativos ao meio biológico constituem a estrutura biótica do meio ambiente. Inserindo a rede trófica, que é entendida como fração de um universo do qual se compõe o meio físico e sobre o qual o ser humano intervém (ecossistemas terrestre e aquático).

O meio antrópico, de acordo com LAMB (1980) apud MOTA (2000), envolve o ser humano e suas relações sociais, culturais e econômicos com os fatores ambientais.

O mesmo autor cita trabalhos de AD'SABER (1994), que afirma que a etapa da caracterização ambiental é de grande interesse para a previsão de impactos, pois, além de fornecer dados sobre sítios de implantação, fornece informações sobre uma determinada região, delineando a área de influência a ser afetada direta ou indiretamente pelas atividades. Sendo assim, é indispensável o conhecimento da estrutura, da composição e da dinâmica dos fatos que caracteriza o espaço total da região escolhida.

2.3. PROBLEMAS AMBIENTAIS OCASIONADOS PELO USO INADEQUADO DO SOLO NO MEIO URBANO E RURAL

2.3.1. Introdução

DERISIO (2000) enfatiza a importância do solo na natureza e sua utilização pelo homem:

- como elemento de fixação e nutrição da vida vegetal;
- como fundação para edificações, aterros, estradas, sistemas de disposição de resíduos;
- como elemento a ser extraído e utilizado na área da construção em geral e na manufatura de objetos diversos;
- como elemento de armazenamento de combustíveis fósseis e
- como elemento de armazenamento de água para fins diversos com destaque para o uso como manancial de abastecimento público.

Em MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (2000), são apresentados os seguintes usos do solo pelo homem para suprir suas necessidades: na produção de alimentos, de fibras e

de madeiras para finalidades urbanas e industriais; em transportes rodoviários, ferroviários e aéreos; na extração de minérios e de materiais de construção; na distribuição de energia e na disposição de resíduos.

Segundo DERISIO op.cit., cada um destes usos provocam alterações no meio ambiente; assim, a construção civil reflete-se na urbanização e na ocupação do solo; a explotação do solo resulta na remoção de grandes quantidades de materiais e alteração da topografia. Como conseqüência da atividade agrícola, ocorre a aplicação de nutrientes e defensivos agrícolas no solo e a remoção sazonal da cobertura vegetal.

Do ponto de vista do solo, o principal dano decorrente da sua utilização é o aumento da suscetibilidade à erosão, causando alterações no relevo, riscos às obras civis, remoção da camada superficial e fértil do solo, e o assoreamento dos rios. Como conseqüência indireta, ocorrem as inundações e alterações dos cursos d'água. A erosão do solo está principalmente associada a fatores como clima, tipo de solo e relevo.

Como fontes de poluição do solo, DERISIO op. cit. cita as de origem natural, associadas a catástrofes tais como terremotos, vendavais e inundações e enfatiza aquelas derivadas da atividade humana:

- poluição devido à disposição de resíduos sólidos domésticos, hospitalares e industriais;
- poluição devido a resíduos líquidos e industriais;
- poluição devido a resíduos líquidos sanitários e industriais;
- poluição devido à urbanização e ocupação do solo;
- poluição devido às atividades agropastoris;
- poluição devido às atividades extrativas; e
- poluição devido a acidentes no transporte de cargas.

Os resíduos sólidos podem ser agrupados de acordo com a sua origem em:

- resíduos sólidos domésticos;
- resíduos sólidos de serviços de saúde; e
- resíduos sólidos industriais.

2.3.2. Meio Urbano

Da análise da sustentabilidade das cidades produzida na AGENDA 21 BRASILEIRA (2000), deduz-se que o processo de expansão urbana ocorrida nas últimas quatro décadas, fruto de um intenso êxodo rural e de disparidades regionais de renda, determinou a ocupação desordenada do solo pelas populações de baixa renda migrante, que, em seguida, passaram a pressionar o governo pela implantação de todas as infra-estruturas sociais (educação, saúde, habitação, abastecimento de água, saneamento, transporte, drenagem, limpeza urbana, segurança, lazer).

Segundo OLIVEIRA et al. (1993), tendo em vista a crescente consciência da questão ambiental, a IAEG conclamou os geólogos de engenharia a dar toda atenção a esse assunto e minimizar os efeitos da construção e da operação das obras. No Brasil, esse direcionamento se iniciou nos meados da década de 70, propiciando um esforço em estabelecer previsões sobre as conseqüências das atividades humanas de uso do solo e dos processos naturais em termos de espaço, tempo, modo e intensidade.

A Constituição Federal de 1988 tornou obrigatório, em seu Artigo 182 (BRASIL, 1988), que cada cidade com mais de 20.000 habitantes tenha um Plano Diretor aprovado pela Câmara Municipal, que seja um instrumento de política de desenvolvimento e de expansão urbana.

Para FRANCO (1999), esses planos devem apresentar-se coerentes e sinérgicos com os planos de gestão ambiental, pois é impossível considerar as perspectivas e propostas para uma área urbana abstraindo-se de suas variáveis ambientais. Em especial, o planejamento que leva em conta o meio ambiente deverá detectar os pontos de vulnerabilidade e as áreas de riscos ambientais para assentamento da população e dos empreendimentos, as áreas vocacionadas para atividades que, por sua vez, podem determinar distintos graus de adensamento, as descontinuidades no tecido urbano, os eixos de expansão e de restrições devidas a fatores ambientais como, por exemplo, cursos d'água ou direções predominantes dos ventos, entre tantos outros.

Sobre o Plano Diretor, MILARÉ (1999) diz que as conseqüentes leis de uso do solo são instrumentos excelentes e expressivos para efetivar a proteção ambiental no âmbito municipal, de forma articulada e coordenada com as demais matérias de interesse local, especialmente porque tal plano não se limita ao espaço urbano, mas considera todo o espaço municipal, com seus diversos componentes (ecológico, econômico, sociais, sanitários, culturais, etc.).

A discussão sobre cidades sustentáveis só tomou vulto nos últimos dez anos, graças aos impulsos dados pelo Rio-92 e pela Conferência Habitat II (Istambul, 1996). A necessidade de inserir o maio ambiente nas políticas urbanas, ou de construir cidades com estratégias ecológicas, passaram a serem postuladas. Nas discussões foram recomendadas políticas de fixação da população no campo para evitar o êxodo rural e, por conseguinte, o inchaço das cidades. As estatísticas atestam que mais de 60% do PIB dos países desenvolvidos são produzidos em áreas urbanas e que, em 1990, havia 2,4 bilhões de habitantes urbanos em todo o Planeta e, em apenas oito anos, este número saltou para 3,2 bilhões, com tendência de mais crescimento (AGENDA 21 BRASILEIRA, 2000).

Contrastando com os 37,73% da população mundial que, em 1975, habitavam em centros urbanos, em torno do ano de 2005, com o salto estatístico da urbanização, esse percentual ultrapassará os 50% e, em 2025, será de 61,07% (cerca de seis bilhões de habitantes do globo). Na América Latina, o percentual já era de 61,32 em 1975, saltou para 76,51% no ano 2000 e deverá atingir, vinte anos depois, perto de 84, 67%. No Brasil, os dados foram de 61,15% (1975), 81,21% (2000) e prevê-se 88,94% (2020) (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2000a).

São discussões sobre quais estratégias devem ser consideradas prioritárias aos macroobjetivos do desenvolvimento sustentável em qualquer das escalas consideradas (global, nacional ou local), que assim podem ser discriminadas:

- busca do equilíbrio dinâmico entre uma determinada população e a sua base ecológico-territorial, diminuindo significativamente a pressão sobre os recursos disponíveis;
- ampliação da responsabilidade ecológica, aumentando a capacidade dos atores sociais de identificar as relações de interdependência dos fenômenos e aceitar o princípio da co-responsabilidade de países, grupos e comunidades na gestão dos recursos dos ecossistemas compartilhados, como o ar, os oceanos, as florestas e as bacias hidrográficas;
- busca da eficiência energética, implicando redução significativa nos níveis de consumo atual, sobretudo dos combustíveis fósseis e busca de fontes energéticas renováveis;
- desenvolvimento e utilização de tecnologias brandas ou ecocompatíveis, alterando progressiva e significativamente os padrões atuais do setor produtivo;
- alteração nos padrões de consumo e diminuição significativa na produção de resíduos e uso de bens ou materiais não recicláveis;

- recuperação de áreas degradadas e reposição do estoque dos recursos estratégicos (solo, água, cobertura vegetal) e
- manutenção da biodiversidade existente.

Para ANDRADE (1994), apud SOUZA (2000) a origem da degradação ambiental está diretamente ligada aos interesses políticos e econômicos que determinam a ocupação do território e torna-se mais ou menos intensa conforme a orientação dessa ocupação, que é formulada pelo governo e pelos interesses do modo de produção.

WEDDLE (1973), apud AGUIAR (1994) subdivide o termo "Planejamento Ambiental" em cinco formas, as quais são:

- planejamento da paisagem (*Landscape Planning*): refere-se à preservação e conservação da paisagem, onde estão embutidas conotações ecológicas, significando a execução e/ou aplicação de um enfoque de sistemas (dinâmicos) ao conjunto de elementos naturais introduzidos em uma área;
- conservação e gestão de recursos (*Conservation and Resources Management*): os objetivos embutidos nestes conceitos vão muito além do proposto anteriormente, no que se refere à proteção e à preservação, chegando ao conceito de utilização racional ótima do território;
- planejamento do uso do solo (*Land Use Planning*): apresenta uma forte ligação com urbanismo, aplicando-se a estudos de ordenação territorial de áreas urbanas e rurais;
- planejamento de recursos (*Resources Planning*): são considerados a interdependência dos recursos naturais e os relacionados, no que diz respeito a sua explotação ou preservação; e

- planejamento ambiental (*Environmental Planning*): neste conceito estão embutidos os termos considerados nos primeiro e segundo títulos e é caracterizado como o processo onde são fixados os usos ótimos do território, em relação a atividade humana presente no mesmo.

Segundo o MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (2000a), há um generalizado e oneroso agravamento dos chamados problemas urbanos, ocasionados por:

a) crescimento desordenado e, por vezes, fisicamente concentrado;
b) ausência ou carência de planejamento;
c) demanda não atendida por recursos e serviços de toda ordem;
d) obsolescência da estrutura física existente;
e) padrões ainda atrasados de gestão;
f) agressões ao ambiente urbano.

A publicação citada acima, sugere os novos marcos da gestão urbana, tais como:

- **mudança de escala**, incentivando o surgimento de cidades menores ou de assentamentos menores dentro da grande cidade; preferência pelos pequenos projetos, de menor custo e de menor impacto ambiental; foco na ação local;
- **incorporação da dimensão ambiental nas políticas setoriais urbanas** (habitação, abastecimento, saneamento, ordenação do espaço, etc.) pela observância dos critérios ambientais para preservar recursos estratégicos (água, solo, cobertura vegetal) e proteger a saúde humana;
- **integração das ações de gestão**, para a criação de sinergias, a redução de custos e a ampliação dos impactos positivos;

- **necessidade do planejamento estratégico**, colocando sérias restrições ao crescimento não-planejado ou desnecessário;
- **descentralização das ações administrativas e dos recursos**, contemplando prioridades locais e combatendo a homogeneização dos padrões de gestão;
- **incentivo à inovação**, ao surgimento de soluções criativas; abertura à experimentação (novos materiais, novas tecnologias, novas formas organizacionais);
- **inclusão dos custos ambientais e sociais** no orçamento e na contabilidade dos projetos de infra-estrutura;
- **indução de novos hábitos de moradia, transporte e consumo**;
- **fortalecimento da sociedade civil e dos canais de participação**.

2.3.3. Meio Rural

Segundo o IBGE (1993), apud AGENDA 21 BRASILEIRA (2000), mais de um terço (35,3%) do território nacional é totalmente desaconselhável para qualquer tipo de atividade agrícola. Essa porcentagem eleva-se para 50% se forem acrescentadas às áreas que sofrem algum tipo de restrição mais séria, salvo mediante elevadíssimos investimentos. Apenas 4,2% são solos de boas características, ou seja, "solos profundos, bem drenados, predominantemente de textura média ou argilosa, com fertilidade natural variando de alta a média". Esses percentuais representam cerca de 35 milhões de hectares, que se distribuem irregularmente no território nacional.

A mecanização intensiva na camada superficial do solo, com o uso de implementos para revolvê-lo, incorporação de insumos e nivelamento da superfície do

terreno, propicia a. destruição dos agregados do solo, a formação de camadas compactas, o decréscimo de permeabilidade e o aumento do escoamento superficial da água.

Essas práticas agrícolas associadas, às condições climáticas, são as principais causas de erosão e de degradação do solo no Brasil; as perdas ambientais, associadas ao recurso do solo para uso agrícola e florestal, causadas por processos de erosão são estimadas em 5,9 bilhões de dólares ou 1,4% do PIB brasileiro. O MMA estima que se perca anualmente, um bilhão de toneladas de solo, por causa da erosão. AGENDA 21 BRASILEIRA (2000).

Há quem afirme que, no Brasil, para cada tonelada de grãos produzida por métodos convencionais de preparo de solos (uma aração de disco e duas ou mais gradagens), 10 toneladas de terra são carregadas pelas águas das chuvas. O Instituto Agronômico de Campinas estima que cada hectare cultivado no País, haja perca em média, 25 toneladas de solo por ano. Isto significa perda anual é de um bilhão de toneladas de terra ou aproximadamente um centímetro da camada superficial de solo (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2000b).

O material erodido é carreado para corpos d´água como rios, várzeas e represas, provocando assoreamento, o que diminuindo a disponibilidade de água para os agroecossistemas e para o consumo humano. Em vários estados do País, a falta de água já é um problema grave. Nas represas, o assoreamento reduz em 30 a 40% a "vida útil" das usinas hidrelétricas, afetando a produção de energia. Preocupação com a conservação dos solos teve início nas décadas de 60 e 70, porém só no final da década de 80, diante das evidências dos problemas econômicos e ambientais provocados pela erosão, o debate se ampliou. Nos anos noventa, essa preocupação já se traduzia em resultados práticos. Nos anos setenta, 5% das áreas cultivadas em São Paulo eram "terraceadas" e hoje essa prática atinge cerca de 70% (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, op.cit.).

O solo, quando em seu estado natural, tem um equilíbrio dinâmico, com interações contínuas entre seus componentes físicos, químicos e biológicos. Em geral, o uso do solo, para qualquer finalidade, resulta, na quebra desse equilíbrio. No entanto, quando usado racionalmente, de acordo com sua aptidão e com técnicas apropriadas, o solo atinge um novo estado de equilíbrio que pode ser estável e produtivo, conforme esquematizado na Figura 2.2. Seu uso inadequado, por outro lado, resultará em instabilidade e degradação, com perda parcial ou total de sua capacidade produtiva. A recuperação dessa capacidade é por vezes possível, mas implica em custos elevados para a sociedade (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2000).

A degradação dos solos nem sempre decorre da atividade agrícola; um desenvolvimento urbano mal localizado, sistemas rodoviários mal planejados e assentados, má conservação florestal e muitos outros aspectos da extensa atividade humana podem causar a instabilidade e a degradação (DOWNES, 1983 apud MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2000).

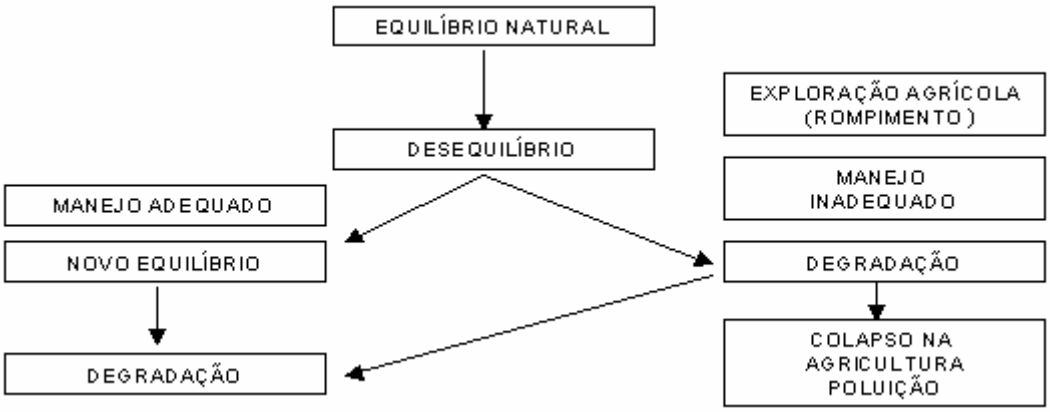


Figura 2.2. Representação esquemática do uso agrícola do recurso do solo (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2000).

O modelo agrícola ainda predominante no País tem fortes conexões com o modelo conhecido como Revolução Verde, fortemente embasado no uso de energia fóssil, de

agroquímicos e na mecanização intensiva. A principal preocupação é a produtividade, em sua dimensão econômica, com utilização intensiva da camada superficial do solo, o envolvimento do uso de implementos (principalmente de arado e grades) para revolver o solo, incorporar insumos (calcários e fertilizantes) e nivelar a superfície do terreno. Essa pratica contínua tem-se mostrado ineficiente resultando, entre outras situações, na destruição dos agregados do solo, na formação de camadas compactadas, no decréscimo da permeabilidade e, por conseqüência, no aumento do escorrimento da água pela superfície do terreno (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2000).

2.4. OCUPAÇÃO DO CERRADO NO CENTRO OESTE BRASILEIRO

Considerados improdutivos até o final dos anos 60, os solos dos cerrados respondem hoje por 30% dos principais cultivos brasileiros, além de abrigar 40% do rebanho bovino e 20% do suíno do País. Apenas 7% dos cerrados, entretanto, não sofreram algum tipo de exploração intensiva ou extensiva. (ASSAD ; LOPES ASSAD, 1999).

Os cerrados ocupam cerca de um quarto do território brasileiro, com mais de 2 milhões de km^2 (conforme mostra a Figura 2.3.) e que, nas últimas décadas, vem sendo utilizado na expansão da fronteira agropecuária, principalmente na região Centro Oeste e ao aumento da produção de grãos e de carnes, voltada principalmente para a exportação. Estudos do IBGE/INPE atestam que pouco mais de 5% da vegetação originária dos cerrados ainda estão preservados, segundo AGENDA 21 BRASILEIRA (op. cit.) e um dos problemas ocasionados por essa ocupação é o da erosão. Levantamento produzido pelo WWF/Brasil (*World Wildlife Fund*) e outras organizações, em 1994, mostraram que a perda média de solos nas culturas de grãos nos cerrados está em torno de 10 quilos por quilo de grãos, pela erosão – com um custo brutal de reposição e insustentabilidade à vista. Em relação à degradação de

pastagens, o mesmo estudo apontava que 25% das mesmas estavam degradadas, pela ocupação de solos impróprios associada a técnicas inadequadas. O desmatamento e o manejo inadequado dos solos levam à sua degradação e facilitam processos de erosão; uma das principais conseqüências da perda de solos é a necessidade cada vez maior de fertilizantes, que nem sempre conseguem nutrir adequadamente as plantas e as deixam suscetíveis a pragas; daí o uso intenso de agrotóxicos em doses crescentes, que eliminam também os predadores naturais das pragas; as espécies que sobrevivem acabam se tornando extremamente resistentes, o que reduz progressivamente a eficiência dos defensivos.

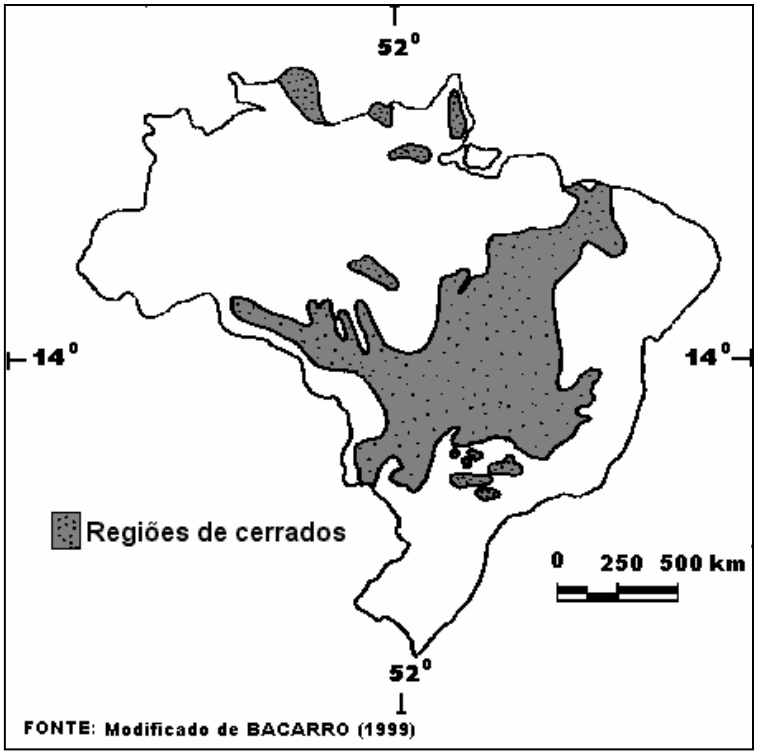


Figura 2.3. Cerrados no Brasil.

Para HERMANN (1995), o uso inadequado do meio físico, dentre os quais o solo das regiões de cerrado vem causando as seguintes alterações ao meio ambiente: supressão de vegetação; reconfiguração da superfície topográfica; impacto visual; aceleração dos processos erosivos, indução ao escorregamento; modificação de cursos d'água; aumento da

turbidez e dos sólidos em suspensão; assoreamento e entulhamento de cursos d'água; intercepção do nível freático.

As bacias hidrográficas dos cerrados enfrentam também o problema de mudança de regime das águas e escassez, em função da substituição da vegetação originária por culturas de ciclo curto, o problema se agrava quando se considera a irrigação que, além de altamente desperdiçadora (um pivô central consome um litro de água por segundo por hectare irrigado), altera o regime de dispersão e acumulação de águas, gerando conflitos com outros usuários da água (abastecimento urbano, saneamento, pesca etc.) (AGENDA 21 BRASILEIRA, 2000).

O destino do cerrado, a integridade de seus ecossistemas naturais e a continuidade da exploração das áreas já incorporadas pela agropecuária, depende de decisões a serem tomadas proximamente: a aceleração do ritmo da ocupação humana está relacionada, de forma direta, com políticas públicas que encaram o cerrado, antes de tudo, como uma fronteira agrícola. Ao mesmo tempo, emerge na população e nos representantes políticos locais em geral, assim como nas instituições de pesquisa e em organizações da sociedade civil, a consciência de que a produção indiferenciada de *commodities* tem papel relevante para o desenvolvimento econômico dessa região, que não esgota as possibilidades de uso sustentável do solo do cerrado.

Para MOTA (1997), a ocupação humana a esse ecossistema tem ocasionado impactos ambientais como indicados nas seguintes ações:

- **grandes projetos agropecuários:** desmatamento de áreas nativas e grandes queimadas; drenagens – erosão; alteração da vazão dos cursos d'água; assoreamento; monocultura extensiva – desequilíbrios ecológicos; uso de grandes quantidades de agrotóxicos – poluição das águas; uso da mecanização intensiva – compactação dos solos;

- **expansão urbana desordenada**: desordenada destruição de nascentes de cursos d'água que formam a bacia do Pantanal; destruição da paisagem; poluição por falta de saneamento; destruição da rede de drenagem; abertura de cascalheira; áreas decapeadas; áreas de extração de areia, estradas, cortes de morros, aterros e drenagens, voçorocas; desmatamento para obtenção de lenha e escoras para construção e fornos; aumento da poluição das águas com esgoto e do solo com lixo; expansão do tráfego de veículos e conseqüente poluição atmosférica e sonora; intensificação da descaracterização da paisagem e biota nativa, pela expansão de áreas ocupadas com plantas e animais exóticos;
- **invasão de reservas indígenas**: impacto cultural e social sobre populações indígenas; desmatamento;
- **olarias, fábricas de tijolos**: demanda de carvão vegetal; desmatamento;
- **garimpo de ouro e pedras preciosas**: erosão, assoreamento e contaminação dos cursos d'água; impactos sócio-econômicos; e
- **indústria de transformação**: destruição de cavernas calcárias para a produção de cimento e calcário agrícola; desmatamento para produção de carvão vegetal.

2.5. SOLO E SUAS PROPRIEDADES

DERISIO (2000) cita que o solo é formado a partir da interação da litosfera, da atmosfera, da biosfera e de suas matérias respectivas por meio da combinação de dois processos fundamentais: a alteração da rocha-mãe ou material original e a contribuição da matéria orgânica dos seres vivos.

O solo pode ser considerado como a resultante da ação conjunta dos agentes intempéricos sobre os restos minerais depositados e enriquecidos de detritos orgânicos (ANDRADE ; SOUZA, 1998).

Para SALOMÃO ; ANTUNES (1998), dependendo do enfoque e objetivo, o solo tem sido interpretado de maneira diversa:

- em geologia, como produto do intemperismo físico e químico das rochas;
- em engenharia civil, como material escavável, que perde sua resistência quando em contato com a água e
- em agronomia, como camada superficial de terra arável, possuidora de vida microbiana.

O mecanismo de formação dos solos se dá a partir de processos físico-químicos de fragmentação e decomposição das rochas, através de transporte, sedimentação e evolução pedogênica.

Quanto à formação podemos classificar os solos em quatro grupos principais:

- **solos residuais ou autóctones:** são aqueles em que o produto do processo de decomposição permanece no próprio local em que se deu o fenômeno;
- **solos transportados ou alóctones:** são aqueles que, em seguida à sua formação, são carregados pela ação fluvial, eólica, marinha etc.;
- **solos coluvionais:** são formados pela movimentação lenta da parte mais superficial do manto de intemperismo sob a ação de agentes diversos, principalmente da gravidade; e
- **solos orgânicos:** que são aqueles formados principalmente pela fração mineral argilosa adicionada de uma proporção variada de matéria orgânica predominantemente vegetal.

2.5.1. PERFIS DE INTEMPERISMO

O intemperismo é o conjunto de modificações de ordem física (desagregação) e química (decomposição) que as rochas sofrem ao aflorar na superfície da Terra (TOLEDO et al., 2000).

PASTORE ; FONTES (1998) abordam o intemperismos caracterizando o perfil de alteração como seqüência de camadas resultantes da decomposição das rochas, e ainda ressaltam a padronização nas descrições e nas classificações de perfis como sendo "*de fundamental importância para haver uma linguagem comum na Geologia de Engenharia que possibilite a correlação entre as camadas e as suas propriedades de modo mais preciso"*.

REICHE (1943) apud (ANDRADE ; SOUZA, 1998), definiu intemperismo como *"resposta dos materiais, que estavam em equilíbrio no interior da litosfera, às condições no contato ou próxima ao seu contato com a atmosfera e ainda com a biosfera"*

Para SELBY (1993), o intemperismo relaciona-se aos processos de alteração e desagregação de materiais de solo e de rocha próximo à superfície da Terra por processos químicos, físicos e biológicos.

A GEOLOGICAL SOCIETY ENGINEERING GROUP WORKING PARTY REPORT (1995) define o intemperismo como: processo de alteração e colapso da rocha e materiais do solo, próximos à superfície da Terra por decomposição e desintegração física.

O processo de formação do solo, conhecido como pedogênese, foi expresso semi-quantitativamente por JENNY (1941) apud SELBY (1993), pela seguinte expressão:

$$\boxed{S = f(cl, o, r, p, t, ...)}$$

onde, o solo (**S**) é função do clima (**cl**), dos organismos (**o**), do relevo (**r**), do material de origem (**p**), do tempo (**t**), além de outras variáveis independentes.

Os fatores de formação, para TOLEDO et al. (2000), são: o clima, que se expressa na variação sazonal da temperatura e na distribuição das chuvas, o relevo, que influi no regime de infiltração e drenagem das águas pluviais, a fauna e flora, que fornecem matéria orgânica para reações químicas e remobilizam materiais, a rocha de origem, que, segundo sua natureza, apresenta resistência diferenciada aos processos de alteração intempérica e, finalmente, o tempo de exposição da rocha aos agentes intempéricos.

2.5.1.1. Fatores que controlam o intemperismo.

Segundo TOLEDO et al. (2000) e JENNY (1941) apud SELBY (1993), são fatores de controle do intemperismo:

Clima

O clima determina as condições de temperatura e umidade nas quais os processos de intemperismo atuam. Sob condições de baixa pluviosidade, há o predomínio de processos físicos, englobados sob a denominação de intemperismo físico, e que levam à quebra mecânica do material rochoso, com pouca alteração na composição dos minerais presentes. Com um aumento na precipitação toma lugar à dissolução dos minerais, de maneira que a decomposição química dos minerais e a síntese de argilas torna-se mais importante. A temperatura altera a estabilidade dos minerais e aumenta a velocidade das reações. O clima tem também influência sobre a produção de *litter* (termo utilizado para se referir à camada de material orgânico, como restos de folhas, galhos, cascas, etc., não decomposto, que recobre o solo. É bastante expressa em regiões onde a cobertura vegetal é expressiva), fazendo com que,

em regiões quentes e úmidas, a disponibilidade de matéria orgânica e a degradação da mesma no solo aumentem o que leva à formação de uma maior quantidade de ácidos húmicos e, conseqüentemente, a um aumento na efetividade do intemperismo químico. As mudanças na espessura e na composição do manto de intemperismo, condicionadas pelo clima, podem ser vistas na Figura 2.4, onde se observa uma espessa camada de alteração em condições de clima quente e úmido das regiões tropicais e subtropicais, podendo atingir espessuras da ordem de 80 a 100 metros, em contraste com as pequenas espessuras nas regiões de climas desérticos a semidesérticos.

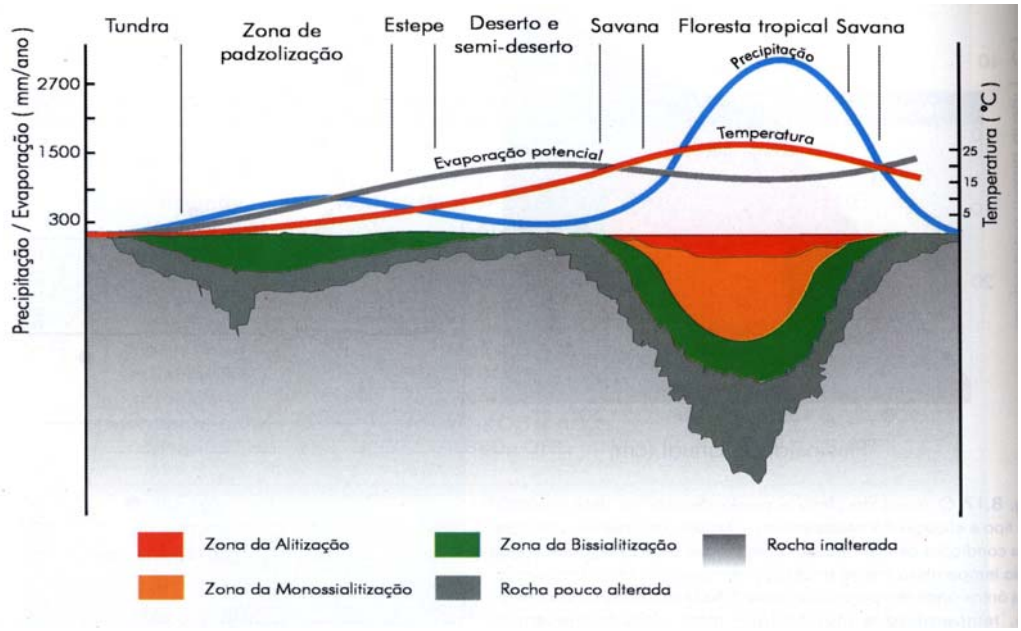


Figura 2.4. Diagrama mostrando a formação do manto de intemperismo em áreas tectonicamente inativas, em função das variações climáticas (TOLEDO et al., 2000).

Material de origem

As características físicas da rocha-mãe, como a mineralogia, o tamanho das partículas, a dureza dos minerais presentes, a permeabilidade e o grau de cimentação, influenciam os processos de intemperismo. O tamanho da partícula é importante uma vez que as reações químicas são, principalmente, os resultados das reações superficiais entre as

soluções e os grãos minerais. Assim sendo, a velocidade do intemperismo será largamente dependente da superfície areal dos grãos, sendo relativamente lenta em areias e rápidas em siltes. A dureza, mineralogia e o tipo de cimento afetam a velocidade com que o intemperismo reduz a rocha a partículas menores. Entretanto, a permeabilidade é provavelmente o fator mais importante, pois controla tanto a velocidade com que a água migra para o interior da rocha, como a área da superfície em que atua.

Relevo

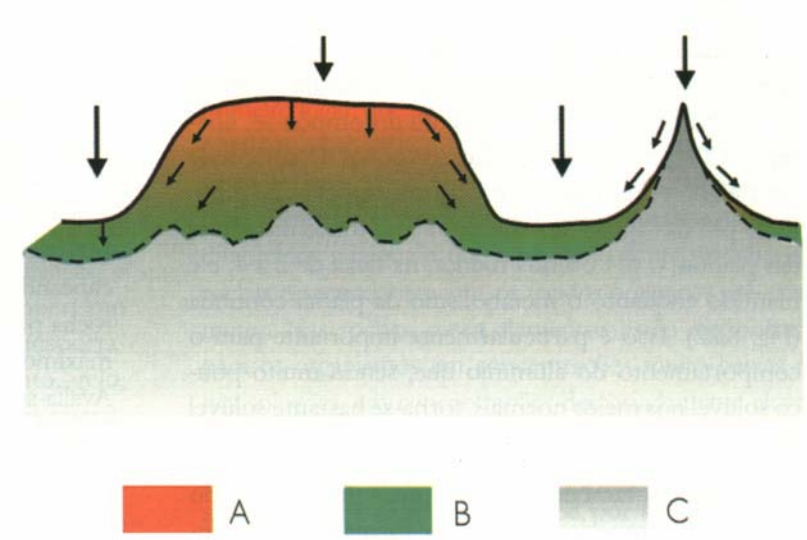
A topografia tem uma influência marcante no intemperismo químico, uma vez que controla:

a) a velocidade de escoamento superficial e conseqüentemente a quantidade de água disponível para infiltração;
b) a velocidade de drenagem subsuperficial, portanto a velocidade de lixiviação dos constituintes solúveis e,
c) a velocidade de erosão dos produtos intemperizados, portanto a velocidade de exposição das superfícies minerais frescas.

As condições topográficas ideais para a atuação do intemperismo químico se relacionam a relevos suaves, onde o escoamento superficial não é excessivo e a drenagem subsuperficial é livre. Nas regiões íngremes, a infiltração é baixa e a taxa de escoamento alta, o que proporciona uma maior desintegração mecânica e uma acumulação apenas superficial dos produtos secundários provenientes do intemperismo químico. Por outro lado, em regiões de relevo muito plano a drenagem é lenta, o que leva a uma persistência em suspensão dos produtos de hidrólise, inibindo a continuação dos processos de transformação (Figura 2.5).

Tempo

O tempo necessário ao desenvolvimento de mantos de alteração mais ou menos espessos e de perfis de solos maduros depende dos outros fatores que controlam o intemperismo, principalmente da susceptibilidade à alteração dos constituintes minerais e do clima. Entretanto, para uma dada condição ideal de alteração, quanto maior o tempo de atuação do intemperismo, mais espessos e mais maduros será os perfis produzidos.



A: Boa infiltração e boa drenagem favorecem o intemperismo químico;
B: Boa infiltração e má drenagem desfavorecem o intemperismo químico;
C: Má infiltração e má drenagem desfavorecem o intemperismo químico e favorecem a erosão.

Figura 2.5. Influência da topografia na intensidade do intemperismo (TOLEDO et al., 2000).

Organismos

São processos relacionados às atividades de organismos que compreendem a fauna, flora e o homem. Atuam nos processos de decomposição dos restos vegetais e animais e na liberação do húmus, provendo a natureza com elementos como carbono e nitrogênio, os quais normalmente não ocorrem nas rochas. Eles também agem no perfil do solo por meio de atividades de escavação, aeração, oxidação, entre outras. A matéria orgânica morta no solo

decompõe-se, liberando CO_2, cuja concentração nos poros do solo pode ser 100 vezes maior que na atmosfera, diminuindo o pH das águas de infiltração. Os ácidos orgânicos produzidos pelos microorganismos são capazes de extrair até mil vezes mais ferro e alumínio dos silicatos que as águas da chuva.

As ações do homem no perfil de solo em práticas de manejo, como: drenagem, adubação, uso de herbicidas, calagem, uso de produtos químicos, irrigação, queima e cultivo, pode acelerar os processos intempéricos.

2.5.1.2. Intemperismo Físico

As rochas quando estão expostas ou próximas à superfície da Terra são submetidas a condições ambientais bem diferentes daquelas onde se formaram, entrando em contato como novos processos físicos e químicos, que diferem em muito das condições originais Em resposta a estas mudanças, os processos de intemperismo físico criam micro e macrofraturas nas rochas, originando cavidades que vão facilitar e acelerar a infiltração de soluções aquosas e a ação de organismos vivos (animais e vegetais). Inicia-se, assim, uma série de reações químicas (hidrólise, hidratação, dissolução, carbonatação, oxigenação e redução) e a predominância de cada uma delas varia em função das condições ambientais e da composição mineralógica das rochas (SALOMÃO ; ANTUNES, 1998), como já descrito anteriormente.

O intemperismo físico ou mecânico é constituído por todos os processos que causam desintegração de uma rocha, com separação dos grãos minerais antes coesos, transformando-a em material descontínuo e friável. (TOLEDO et al., 2000), tornando-o mais susceptível ao ataque químico.

Para a GEOLOGICAL SOCIETY ENGINEERING GROUP WORKING PARTY REPORT (1995) e TOLEDO et al.(2000), os principais processos físicos são descritos e esquematizados na Figura 2.6.

1. **descarregamento**: com o soerguimento e a exposição superficial de uma rocha através da erosão, ocorre uma redução drástica da pressão antes elevada, suficiente para ocorrer expansão, produzindo fraturamentos, (juntas de alívio);
2. **expansão** e contração térmica: quando submetidas a intensas variações de temperatura, a porção externa da rocha torna-se mais aquecida; com o contraste térmico e o fato das rochas não serem bons condutores de calor, pode haver uma rápida expansão da crosta externa da rocha, culminando com desplacamento em lâminas ou fragmentos;
3. **descongelamento e congelamento**: com o congelamento da água, ocorre um aumento de aproximadamente 9% em seu volume; se confinada, a expansão pode exercer forte pressão contra as paredes da rocha; o intemperismo por congelamento pode ser provocado pelo efeito de separação em cunha das paredes da rocha.
4. **pressão de cristalização**: com a evaporação da água no solo ou próximo de afloramentos, pode ocorrer a formação de cristais de gelo no solo ou rocha; fendas e fraturas podem ser causadas pela precipitação de sulfatos, cloretos e carbonatos com íons de K^{+}, Na^{+} e Mg^{+2};
5. **hidratação e secagem:** os folhelhos são rochas relativamente resistentes ao ataque químico, porém ocorre expansão dos argilo-minerais quando hidratados e concentrados na secagem, promovendo a fragmentação da rocha; siltitos argilosos e arenitos também podem passar por tais processos; a facilidade de

secagem e hidratação dos argilo-minerais deve-se a mudanças de volume por suas propriedades expansivas;

6. **Atividade orgânica**: as raízes das plantas crescem e se estendem ao longo de planos de fraturas ou estratificação, atuando como alavanca.

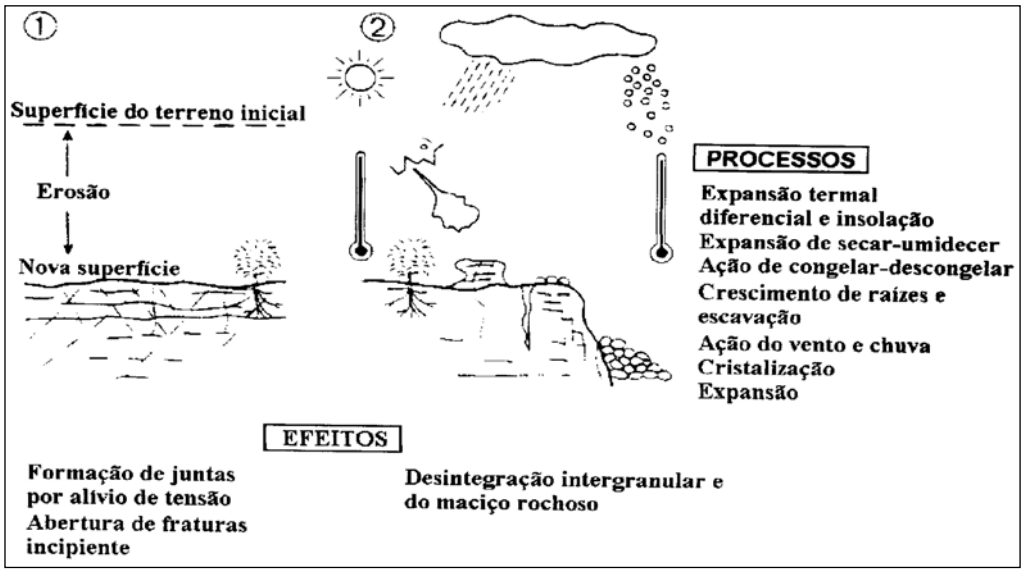


Figura 2.6. Processos de intemperismo físico (GEOLOGICAL SOCIETY ENGINEERING GROUP WORKING PARTY REPORT, 1995).

2.5.1.3. Intemperismo Químico

O ambiente da superfície da Terra, caracterizado por pressões e temperaturas baixas e riqueza de água e oxigênio, é muito diferente daquele onde a maioria das rochas se formou. Quando as rochas afloram à superfície, seus minerais entram em desequilíbrio e, através de uma série de reações químicas, transforma-se em outros minerais, mais estáveis nesse novo ambiente TOLEDO et al.(2000).

O principal agente do intemperismo químico é a água da chuva, que infiltra e percola as rochas. Essa água, rica em O_2, em interação com o CO_2 da atmosfera, adquire caráter ácido. Em contato com o solo, a respiração das plantas pelas raízes e a oxidação da

matéria orgânica enriquecem o ambiente em CO_2 e tem seu pH ainda mais diminuído. As equações abaixo representam o equilíbrio de H_2O com CO_2:

Os fatores que promovem o intemperismo formado nos trópicos são primariamente climáticos. As temperaturas altas produzem rápidas de reações químicas e, além disso, processos fundamentais como a hidrólise, aumentam três vezes a cada 10°C. Alto índice de precipitação pluviométrico nas áreas mais úmidas é importante por aumentar a disponibilidade de água.

Os principais processos do intemperismo químico são mostrados na Figura 2.7 e enumerados abaixo, segundo TOLEDO et al. (2000) e a GEOLOGICAL SOCIETY ENGINEERING GROUP WORKING PARTY REPORT (1995):

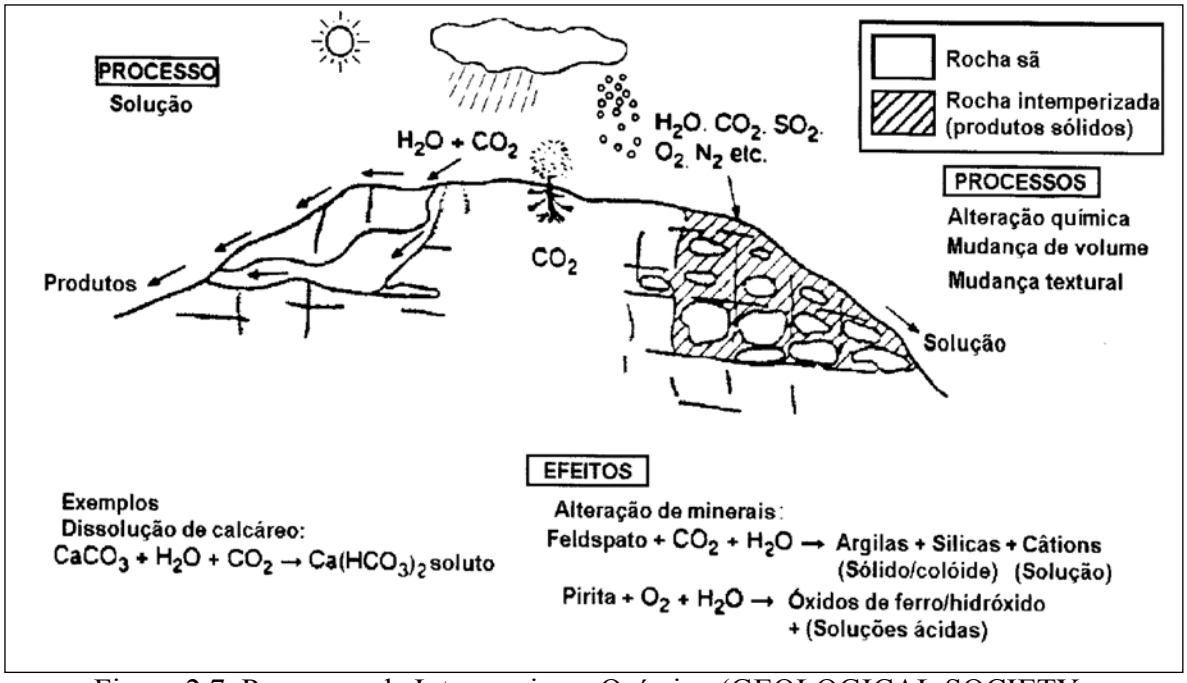


Figura 2.7. Processos de Intemperismo Químico (GEOLOGICAL SOCIETY ENGINEERING GROUP WORKING PARTY REPORT, 1995).

Os processos relacionados com o intemperismo químico podem ser resumidos às seguintes reações químicas: oxidação, hidratação, dissolução e hidrólise. Em condições de pH inferiores a 5, ao invés da hidrólise, a reação predominante é a acidólise.

De maneira simplificada, as reações do intemperismo químico podem ser representadas pela seguinte equação genérica:

Mineral I + solução de alteração → Mineral II + solução de lixiviação

1. **Hidrólise:** é o mais importante processo de decomposição química das rochas e o principal formador dos argilo-minerais, atuando principalmente nas rochas cristalinas pela reação de íons e OH^- dissociados da água. O íon H^+ é capaz de substituir outros cátions, como K^+, Na^+, Mg^{+2}, Ca^{+2}, sendo o processo acelerado pela presença de CO_2 dissolvido na água e pelo aumento da temperatura, enquanto o íon OH^- pode substituir outro ânion. A seguir, é dado exemplo da hidrólise de um feldspato potássico (microclínio), segundo SALOMÃO ; ANTUNES (1998):

$$\mathbf{KAlSi_3O_8 + H_2O \rightarrow HAlSi_3O_8 + K^+ + OH^-}$$

$$\mathbf{2HAlSi_3O_8 + 14\ H_2O \rightarrow Al_2O_3 \,.\, 3\ H_2O + 6\ H_4SiO_4}$$

Os seguintes fatores influem na hidrólise:

- natureza da água;
- efeito do pH sobre as solubilidades do Al_2O_3 e SiO_2;
- ação das plantas.

Para TOLEDO et al. (2000), a hidrólise ocorre na faixa de pH de 5 a 9 e pode ser parcial ou total, dependendo do grau de eliminação dos elementos ou substâncias dissolvidos. Na hidrólise total, ocorre a eliminação de 100% da sílica e das bases; os elementos envolvidos na reação aparecem sob a forma de hidróxidos independentes, dissociados ou não. A hidrólise total ocorre em condições de alta pluviosidade e de drenagem eficiente dos perfis, uma vez

que, na faixa de pH de hidrólise, a sílica é pouco solúvel, só podendo ser totalmente eliminada se as soluções de alteração que permanecerem diluídas. O alumínio e o ferro ficam retidos no perfil na forma de oxi-hidróxidos. A este processo dá-se o nome de alitização ou ferralitização.

Na hidrólise parcial, em função da drenagem menos eficiente, parte da sílica permanece no perfil e as bases podem ser totalmente ou parcialmente eliminadas, dependendo da velocidade de sua eliminação. A reação desses elementos com o alumínio forma argilominerais (aluminossilicatos hidratados). A este processo denomina-se de sialitização, falando-se em monossialitização quando os argilominerais produzidos forem do tipo 1:1 (caulinita) e de bissialitização no caso de formarem-se argilominerais do tipo 2:1 (esmectitas).

A formação de caulinita se dá quando 100% do potássio e 66% de sílica são eliminados da solução e há permanência de todo alumínio.

2. **Oxidação**: processo que envolve perda de elétrons em uma reação química. Qualquer elemento da rocha, como o Fe, Mg, etc., ao se combinar com o oxigênio, se oxida. Alguns minerais como a pirita, podem oxidar diretamente na presença de soluções ácidas. A remoção de eventuais minerais cimentantes no interior da rocha, por soluções ácidas, pode levar ao aumento da porosidade e colapso da estrutura cristalina. Como exemplo, tem-se o ferro, que se encontra nos minerais ferro-magnesianos primários como a biotita, anfibólios, piroxênios e olivinas sob a forma de Fe^{+2}. Liberado em solução, oxida-se a Fe^{+3} e precipita como um novo mineral, a goethita, que é um óxido de ferro hidratado.

$$\mathbf{2\,FeSiO_3 + 5H_2O + \tfrac{1}{2}O_2 \rightarrow 2FeOOH + H_4SiO_4}$$

A goethita pode transformar-se em hematita por desidratação:

$$2FeOOH \rightarrow Fe_2O_3 + H_2O$$

3. **carbonatação**: os íons carbonatados (CO_3^{-2}) e bicarbonatados (HCO_3^-) se combinam com o Ca, Mg e Fe da rocha, alterando-os. Os bicarbonatados são solúveis e removem esses cátions. O aparecimento de íons CO_3^{-2} e HCO_3^- é devido principalmente à dissolução do gás carbônico do ar na água;
4. **hidratação:** Consiste na combinação da água com outros compostos químicos e a importância da hidratação para o intemperismo químico das rochas é limitada pela abundância de minerais susceptíveis à hidratação. Podemos citar, como exemplos deste tipo de reação, a transformação da anidrita em gipso ou da hematita em limonita, conforme abaixo:

$$CaSO_4 + 2H_2O \rightarrow CaSO_4 . 2H_2O$$

$$Fe_2O_3 + nH_2O \rightarrow Fe2O3 . nH_2O$$

5. **quelação**: consiste na retenção de íon, usualmente metálico, em uma estrutura em anel de um composto químico quelante. Os processos biológicos formam os agentes quelantes, que normalmente são excretados por líquens que se desenvolvem sobre as rochas; o húmus é provavelmente o composto quelante mais freqüente nos solos;
6. **troca iônica:** envolve a substituição de íons (geralmente cátions) em minerais por íons em solução sem arranjo da estrutura mineral. Os cátions móveis mais comuns são: H^+, K^+, Na^+, Ca^{+2}, Mg^{+2}, Fe^{+2}, Si^{+3}. A habilidade de um cátion para substituir outro depende do raio iônico e da CTC.

2.6. EROSÃO

A erosão foi um dos fatores mais importantes que causaram a queda das primeiras civilizações e impérios, cujas cidades arruinadas estão agora como despojos estéreis das terras mais férteis do mundo. Os desertos do Norte da China, Pérsia (Irã), Mesopotâmia e Norte da África, contam todos a mesma história do gradual esgotamento do solo à medida que as exigências crescentes, relativamente a ele, pela progressiva civilização, excediam seu poder recuperativo. A decadência do Império Romano também pode ser contada como uma história de desflorestamento do solo e da erosão.

Erosão vem do Latin *"erosio"*, que significa, corroer, separar. Em termos gerais, erosão do solo significa a remoção física do topo do solo por vários agentes, incluindo a queda de pingo de chuva, escoamento da água na superfície e no interior do perfil do solo, vento, gelo e arraste gravitacional (LAL, 1990).

Erosão é o processo, ou conjunto de processos, de que resulta a destruição dos relevos e a remoção progressiva dos detritos ou resíduos produzidos. Os agentes responsáveis pela erosão são diversos: meteóricos (vento, chuva, calor e frio, etc.), mecânicos (correntes hídricas, corrosão devido ao transporte dos materiais, etc.), biológicos (ação de seres vivos), etc. (GLOSSÁRIO GEOLÓGICO, 2001).

Para LEINZ ; LEONARDOS (1977), no sentido lato, erosão é o efeito combinado de todos os processos degradacionais terrestres, incluindo intemperismo, transporte, ação mecânica e química da água corrente, vento, gelo, etc.; no sentido estrito, é o desgaste gradativo das rochas sólidas pela ação dos rios, ventos, geleiras e mar.

A erosão é constituída por um conjunto de processos pelos quais os materiais da crosta terrestre são desagregados, dissolvidos ou desgastados e transportados. A gota de água

que precipita e o escoamento superficial conseqüente são considerados como agentes da erosão pluvial (VILAR, 1987).

Para designar diferentes tipos de feições erosivas, são utilizados os seguintes termos e definições:

- **Erosão laminar:** feições erosivas oriundas de escoamento difuso das águas, resultando na remoção progressiva e relativamente uniforme dos horizontes superficiais do solo;
- **Erosão linear:** conjunto de feições erosivas causadas pela concentração de linhas de fluxo das águas de escoamento superficial podendo ser de três tipos conforme (FOURNIER, 1960 apud SOUZA, 2001):
  - **Sulcos:** pequenos canais resultantes da concentração de escoamentos superficiais concentrados;
  - **Ravinas:** feições erosivas resultantes do aprofundamento dos sulcos, oriundos da concentração do escoamento superficial;
  - **Boçorocas:** constituem feições de erosão mais complexa e destrutiva no quadro evolutivo da erosão linear e são originadas por dois tipos de escoamento que podem atuar em conjunto ou separadamente: o superficial e o subsuperficial. São erosões de grande porte, de formas variadas e de difícil controle (Figura 2.8);
- **Intersulco:** Tipo de feição erosiva que é causada pelo escoamento superficial que pode se dar em uma lâmina de água de pequena espessura e extensão e que se concentra em determinadas áreas como, por exemplo, entre os sulcos já formados pelos processos erosivos (MEYER et al.,1975 apud SOUZA, 2001);

- ***Piping*:** Termo utilizado para designar erosão interna ou tubular, que provoca a remoção de partículas no interior do solo, formando canais que evoluem em sentido contrário ao do fluxo da água (CARSON ; KIRKBY, 1975); e
- **Erosão Marginal:** Formas erosivas causadas pelo escoamento concentrado nos curso d`água, dispõem-se transversais ao eixo do fluxo.

Figura 2.8. Erosão linear (boçoroca) em área de cultivo agrícola (KARMANN, 2000), Foto IPT-SP.

Para CARSON ; KIRKBY (1975), no escoamento concentrado em solos finos, estes sulcos formam um conjunto de canais bem definidos e sub-paralelos, que se estende para as partes mais baixas da encosta. Se estes sulcos convergirem para um ponto específico, podem formar um canal permanente ou ravina; este processo está mais bem explicado na Figura 2.9.

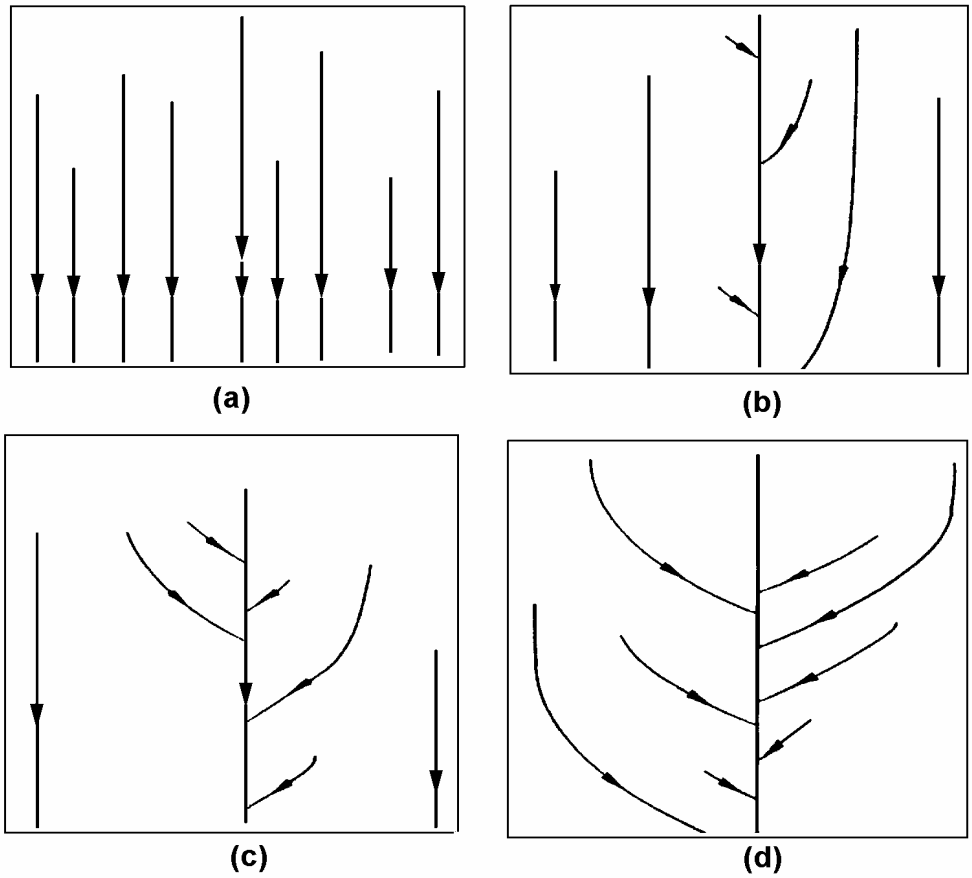


Figura 2.9. Estágios do desenvolvimento de uma ravina (CARSON ; KIRKBY, 1975).

LAL (1990) classifica os diferentes tipos de erosão, que podem ser gerados por diversos agentes, conforme mostrados na Figura 2.10.

Conforme GUERRA (1999), a dinâmica erosiva começa com as gotas da chuva batendo nos solos, com o *splash*, que pode causar a ruptura dos agregados, selando o topo do solo, seguida pela infiltração de água e a formação de poças (*ponds*), à medida que o solo torna-se saturado. A partir daí, a água começa a escoar na superfície, primeiramente em lençol, depois através de fluxos lineares, que evoluem para microrravinas, podendo algumas formar cabeceiras, e algumas dessas cabeceiras podem bifurcar, formando novas ravinas.

MORGAN (1995) define que a erosão do solo é um processo bifásico de destacamento de partículas individuais do solo e seu transporte pela água e o vento. A

deposição ocorre se a energia é insuficiente para transportar as partículas. Considera ainda dois tipos de agentes erosivos:

- aqueles que atuam realmente e que removem uma espessura relativamente uniforme de solo. O destacamento pelas gotas de chuva e o escoamento superficial como fluxos rasos de largura infinita incluem-se neste caso;
- aqueles que concentram sua ação em canais, como os fluxos de água em pequenos sulcos, os quais podem ser obliterados por intemperismo, ou feições permanentes e de maiores dimensões como ravinas.

<table>
<tr><td>VENTO</td><td colspan="4">EROSÃO EÓLICA</td></tr>
<tr><td rowspan="6">FLUIDOS</td><td rowspan="5">ÁGUA</td><td>CHUVA</td><td colspan="2">EROSÃO POR IMPACTO DAS GOTAS</td></tr>
<tr><td rowspan="4">ÁGUA DE ESCOAMENTO</td><td rowspan="3">ESCOAMENTO SUPERFICIAL</td><td>EROSÃO EM SULCOS</td></tr>
<tr><td>EROSÃO EM RAVINAS E BOÇOROCAS</td></tr>
<tr><td>EROSÃO EM CONDUTOS FLUVIAIS</td></tr>
<tr><td>ESCOAMENTO SUBSUPERFICIAL</td><td>EROSÃO EM CONDUTOS SUBTERRÂNEOS</td></tr>
<tr><td>OCEANO</td><td colspan="2">EROSÃO COSTEIRA</td></tr>
<tr><td>GELO</td><td colspan="3">EROSÃO GLACIAL</td></tr>
<tr><td>GRAVIDADE</td><td>MOVIMENTO DE MASSA</td><td colspan="3">AVALANCHE
ESCORREGAMENTO
SOLIFLUXÃO
RASTEJO</td></tr>
</table>

Figura 2.10. Agentes causadores de erosão (LAL, 1990), modificado por (ALCÂNTARA, 1997).

SALOMÃO ; IWASA (1995), distinguem dois tipos de formas de processos erosivos:

- **Erosão geológica (ou natural)**: processo natural de denudação e evolução da superfície terrestre, caracterizado pela desagregação e transporte de materiais do solo pelos agentes erosivos, de forma lenta e contínua;
- **Erosão acelerada (ou antrópica):** processo rápido e destrutivo, induzido principalmente pela ação humana, gerando desequilíbrio nas fases de erosão natural e sedimentação.

A erosão acelerada é caracterizada como um processo que não permite o desenvolvimento da vegetação, face à alta velocidade de remoção do material (OKA-FIORI ; SOARES, 1976**)**.

Escoamento Superficial

O escoamento superficial tem inicio à medida que a água se infiltra no solo e começa a saturá-lo, formando poças na superfície. Para HORTON (1945) apud GUERRA (1999), quando a precipitação excede a capacidade de infiltração do solo, inicia-se o escoamento superficial. A água acumula-se em depressões (microtopografia) na superfície do solo, até que começa a descer a encosta, através de um lençol (*sheetflow*), que pode evoluir para uma ravina. Nesse processo, esse fluxo passa a ser linear (*flowline*), depois evolui para microrravinas (*micro-rills*), e depois para microrravinas com cabeceiras (*headcuts*). Ao mesmo tempo em que essa evolução vai se estabelecendo na superfície do terreno, pode ocorrer também o desenvolvimento de bifurcações, através dos pontos de ruptura (*knickpoints*) das ravinas.

Dependendo da forma do local em que se dá o escoamento superficial ao longo da vertente, podem-se desenvolver dois tipos de erosão: erosão laminar ou em lençol, quando

causada por escoamento difuso das águas de chuva, resultando na remoção progressiva e relativamente uniforme dos horizontes superficiais do solo, e erosão em sulcos, quando causada por concentração das linhas de fluxo das águas de escoamento superficial, resultando em pequenas incisões na superfície do terreno, que podem evoluir por aprofundamento a ravinas.

Havendo condições favoráveis ao escoamento superficial das águas, observa-se o transporte das partículas liberadas do solo por escoamento laminar ou difuso e concentrado, ou através de pequenos filetes que, num estágio seguinte, por concentração das linhas de fluxo de água na superfície do terreno, dá origem a sulcos. O escoamento superficial é tanto mais intenso quanto menor for a taxa de infiltração das águas pluviais no terreno. Por sua vez, a infiltração relaciona-se diretamente à permeabilidade do terreno, variando tanto pelo efeito da compactação promovida pela ocupação do solo, quanto pela intensidade e freqüência das chuvas, natureza e organização do solo, inclinação, geometria e comprimento das vertentes (BERTONI ; LOMBARDI NETO, 1985 apud SALOMÃO, 1999).

Escoamento Subsuperficial - Ravinas e Boçorocas

A influência dos fluxos de águas subsuperficiais, onde se inclui o lençol freático, configura-se no processo mais conhecido por boçoroca ou voçoroca, com desenvolvimento de *piping* (PICHLER, 1953, apud SALOMÃO,1999).

Para KARMANN (2000), boçorocas são feições erosivas, altamente destrutivas, que rapidamente se ampliam, ameaçando campos, solos cultivados e zonas povoadas. O termo boçoroca (*gully*, em inglês) tem origem do tupi-guarani "*yby*", terra "*sorok*", rasgar ou romper.

O fenômeno de *piping* provoca a remoção de partículas do interior do solo formando canais que evoluem em sentido contrário ao do fluxo de água, podendo dar origem a colapsos do terreno, com desabamentos que alargam a boçoroca ou criam novos ramos. Assim, a boçoroca é acompanhada de erosão superficial, que se conjugam no sentido de dotar essa forma de erosão de elevado poder destrutivo (SALOMÃO, 1999).

Na formação e aprofundamento dos sulcos, interceptando o lençol freático, pode-se observar um somatório de processos erosivos pela ação concomitante das águas superficiais e subsuperficiais, fazendo com que o ravinamento atinja grandes dimensões. É nesse estágio do fenômeno erosivo que se deve aplicar a designação de boçoroca, diferindo, portanto, do que se convencionou chamar de ravina. Como ravinamento, entende-se a erosão causada simplesmente pela concentração do escoamento superficial, processo este que, no mais das vezes, coroa a degradação do solo iniciada pela erosão laminar (INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO, 1986).

SALOMÃO (1999) considera as ravinas profundas como boçorocas, mas na realidade esses dois termos devem ser diferenciados, pois cada um apresenta as suas características próprias. Apenas no início da formação de uma boçoroca haverá dificuldade para separar essas duas formas de erosão.

VIEIRA (1978), apud SALOMÃO (1999), os diferencia da seguinte forma: "*Enquanto o ravinamento se processa em função apenas da erosão superficial, com a linha de água apresentando grandes declives, canal profundo, estreito e longo, as boçorocas formam-se devido tanto à erosão superficial como à erosão subterrânea, com tendência tanto para alargar-se como para aprofundar-se, até atingir o seu equilíbrio dinâmico*". A Figura 2.11 abaixo, mostrada em três dimensões, dá uma idéia da morfologia da evolução da formação de boçorocas.

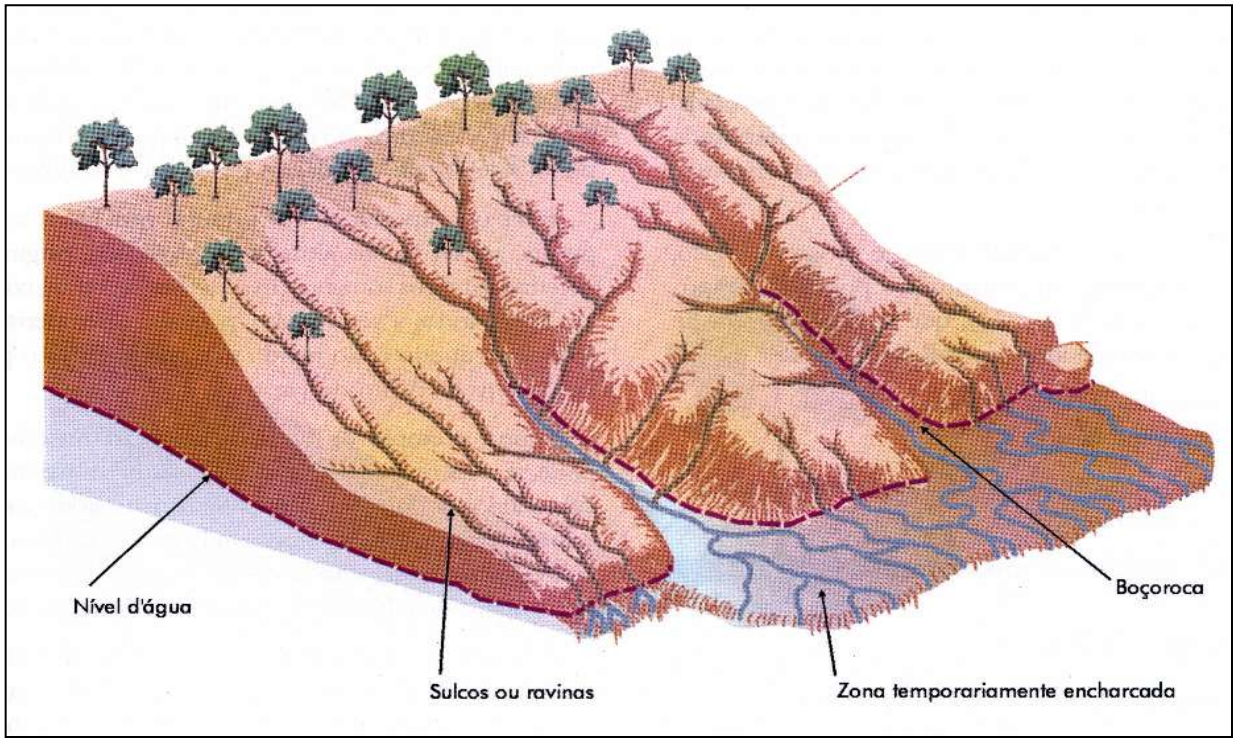


Figura 2.11. Morfologia de sulcos e boçorocas (KARMANN, 2000).

VILAR ; PRANDI (1993) definem boçorocas como ravinas de grandes dimensões, geralmente formadas por grandes concentrações de fluxo e referem-se à sua formação como o estágio menos freqüente, mas provavelmente o mais espetacular do processo erosivo. Para os mesmos, a maior parte das boçorocas está associada a formações arenosas, mas podem ocorrer ainda em solos tendo como rocha original granitos, migmatitos e basaltos.

São fenômenos observados numa boçoroca em atividade, segundo OKA-FIORI ; SOARES (1976):

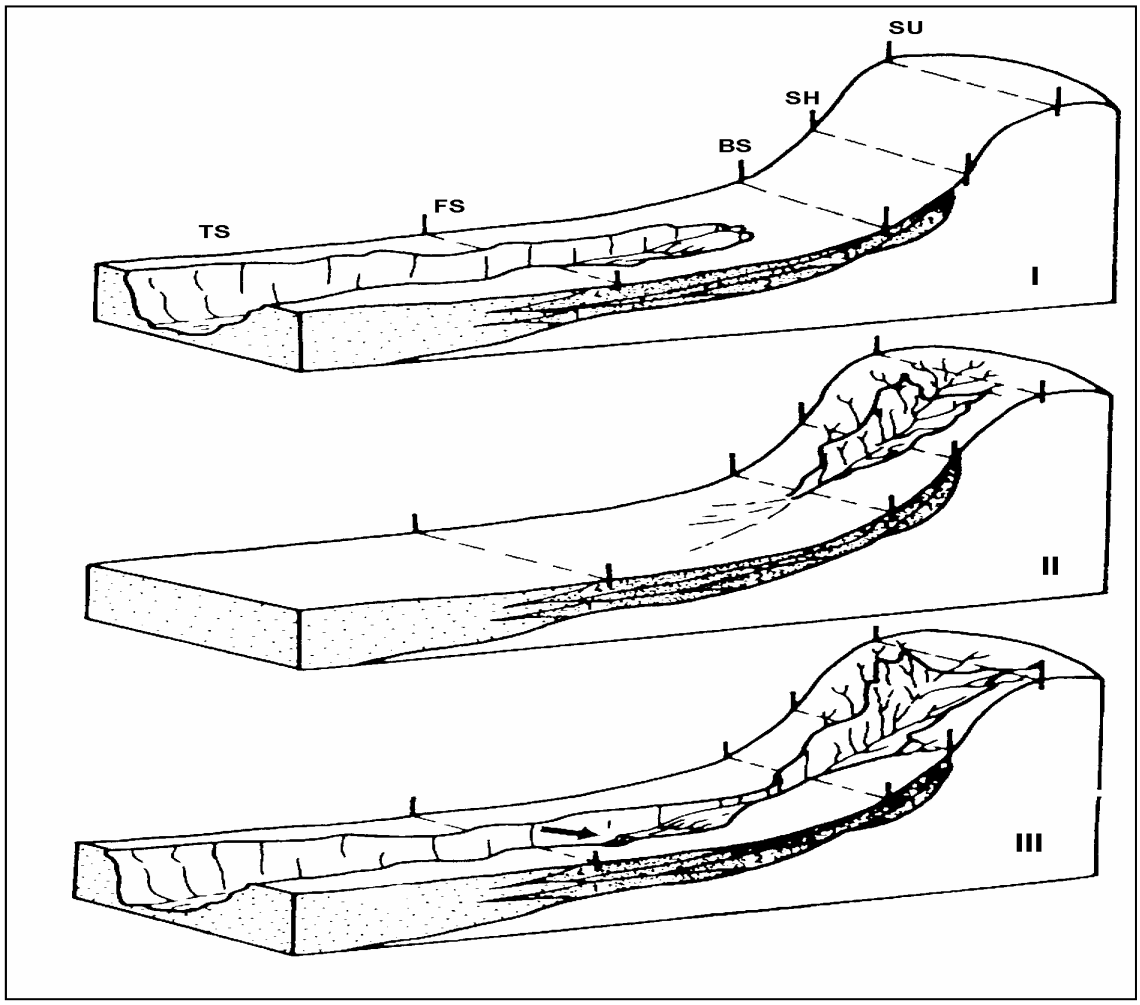
- entalhe vertical para o desenvolvimento do perfil de mínimo trabalho (côncavo);
- migração para a drenagem na encosta;
- alargamento para atender o aumento da vazão; e

- movimentos de massa nas paredes para atingir o talude estável.

O aparecimento de formas erosivas como as boçorocas (erosão acelerada) é regido as vezes unicamente pelo escoamento superficial das águas. Em outras circunstâncias, nas boçorocas que atingem o lençol freático, a ação lenta e contínua da água subterrânea é importante, solapando os pés dos taludes e fluidificando o solo. Nestes casos, a boçoroca pode atingir vastas áreas e remover milhares de metros cúbicos de solo RODRIGUES (1982).

Trabalhos de campo de identificação e do cadastramento de vários casos de incisões erosivas no vale do Rio Paraíba do Sul por OLIVEIRA ; MEIS (1985) apud OLIVEIRA (1999), possibilitaram a elaboração de um modelo para as ravinas e voçorocas da região, assim como a elaboração de uma tipologia para as mesmas (Figura 2.12). Destacam-se três padrões principais de boçorocas tipo: formas conectadas à rede regional de canais onde prevaleceriam os fluxos subsuperficiais; formas desconectadas e que ocorrem nas encostas superiores das cabeceiras de drenagem, com fluxos superficiais dominantes e formas resultantes da junção das duas anteriores, com uma interação de fluxos superficial e subsuperficial.

Para esse modelo conceitual, OLIVEIRA op. cit. prevê que, no momento da integração entre incisões conectadas e desconectadas, se formaria um degrau entre os dois tipos de incisão. Em tese, à extensão regressiva da incisão conectada estaria associada a dissecação linear da incisão desconectada, conforme mostra a Figura 2.13.



I - voçoroca conectada à rede hidrográfica;

II - voçoroca desconectada da rede hidrográfica;

III - integração entre os dois tipos anteriores.

A seta na figura **III** aponta para degrau formado no momento da integração. Na figura **I** a encosta é subdividida em elementos geométricos, tal como proposto por RUHE (1975), apud OLIVEIRA (1999), sendo TS – *toeslope*; FS – *footslope*; BS – *backslope*; HS – *shoude*r; SU –*summit*.

Figura 2.12. Modelo de evolução de voçorocas.

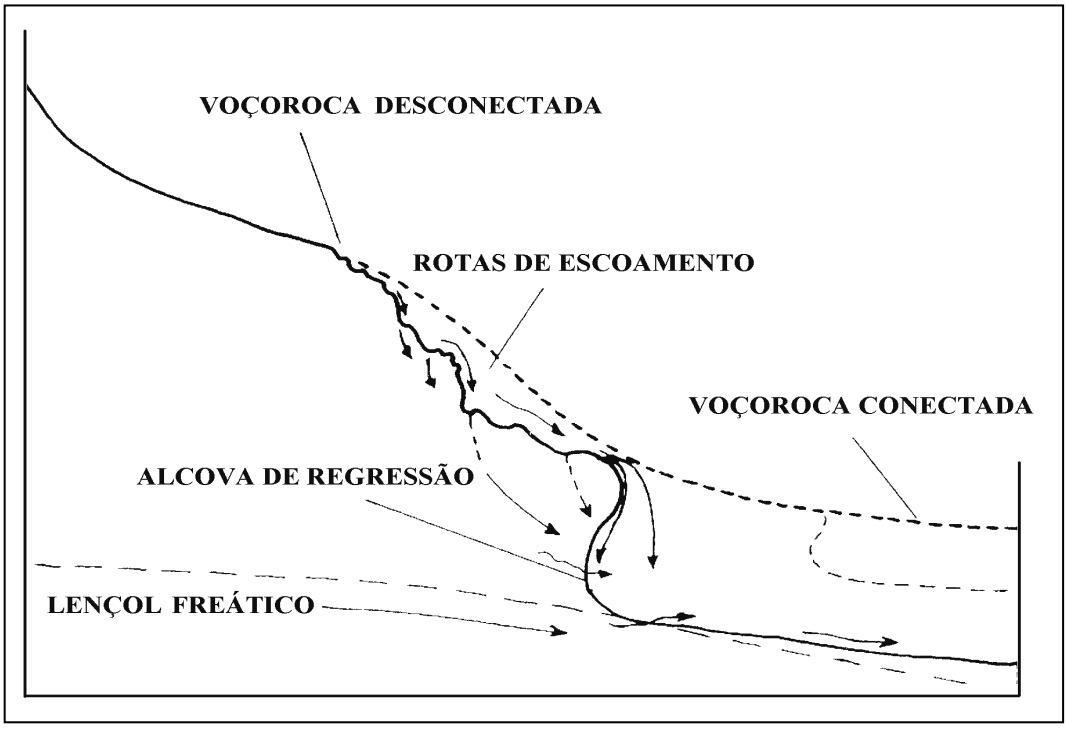


Figura 2.13. Principais rotas de fluxo no momento da integração entre voçorocas conectadas e desconectadas. Adaptado de OLIVEIRA (1999).

2.6.1. Fatores Controladores dos Processos Erosivos

Os problemas advindos do uso irracional do solo sejam, urbanos ou rurais, têm despertado preocupações de estudiosos e governantes no mundo inteiro, devido ao aumento da população e crescente produção de alimentos, constituindo fatores na aceleração dos processos erosivos.

De um modo geral, as pesquisas sobre erosão do solo consideram como sendo fatores dos processos erosivos a erosividade da chuva, as propriedades dos solos (teor e estabilidade de agregados e pH do solo), cobertura vegetal e características das encostas (ELLISON, 193; MORGAN, 1986; BOARDMAN, 1990; GUERRA,1998) apud OLIVEIRA (1999).

SALOMÃO ; IWASA (1995) incluem o desmatamento, cultivo de terras, corte de estradas e expansão de cidades, como algumas das ações antrópicas deflagradoras do processo erosivo, que é então influenciado pela água e pelas seguintes condições naturais do terreno: (cobertura vegetal, topografia e tipo de solo).

Para PEJON (1992), os processos erosivos dependem de uma série de fatores naturais, tais como: clima, geomorfologia, natureza do terreno (substrato rochoso e tipo de solo) e a cobertura vegetal, fatores estes que, modificados pelo homem, podem gerar mudanças nos processos erosivos de uma região.

Segundo BERTONI ; LOMBARDI NETO (1999), 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 a 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.

A erosão de uma superfície de terreno 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 mais sim combinados, para criar um tipo específico de erosão do solo em uma determinada localidade (COOH, 1995).

2.6.1.1. Fatores Naturais

Clima

A água de chuva provoca a erosão laminar por meio do impacto das gotas sobre a superfície do solo, caindo com velocidade e energia variáveis, e por meio do escorrimento da enxurrada.

RODRIGUES (1982) sugere a análise dos seguintes fatores que caracterizam o quadro climático em regiões tropicais e subtropicais:

- volume de precipitação: o estabelecimento dos índices pluviométricos para os meses durante o ano;
- intensidade e duração da precipitação: a intensidade pode variar muito durante uma mesma precipitação. Para chuvas de mesma intensidade, quanto mais longa for a precipitação, maior será a ação erosiva;
- Freqüência de precipitação: o processo erosivo é agravado por chuvas intensas e espaçadas por pequenos intervalos de tempo.

Segundo CARSON ; KIRKBY (1975), a água da chuva, ao alcançar a superfície do terreno, divide-se em vários componentes. Há porção da chuva que é interceptada pela vegetação é 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. Há água da chuva que atinge a superfície do terreno e parte dela preenche irregularidades da superfície, produzindo um armazenamento superficial e outra parte infiltra no solo; e uma parcela pode ser incorporada no solo sob a forma de umidade, ou então continuar percolando até atingir o lençol freático. No entanto, existem situações em que, nos horizontes do solo menos permeáveis ou quando o substrato rochoso está presente, a água de percolação movimenta-se lateralmente formando um fluxo subsuperficial. A Figura 2.14 mostra esquematicamente exemplo do balanço hidrológico.

Conforme ZUQUETTE (1987), erosividade é o índice que expressa a capacidade da chuva de provocar erosão. A erosividade da chuva (R) constitui um índice numérico que expressa a capacidade da chuva, em dado local, de causar erosão em uma área desprovida de proteção e é estimado, segundo WISCHMEIER ; SMITH (1958), pelo produto da energia

cinética total pela intensidade da chuva máxima em trinta minutos, conforme a equação abaixo:

Onde:

E_c = corresponde a energia cinética da chuva, em tonelada/hectare.milímetro e

I_{30} = a intensidade máxima da chuva em intervalo de 30 minutos (mm/h).

Os valores de intensidade máxima da chuva em trinta minutos são determinados pelo diagrama de pluviógrafos.

O índice de erosão EI_{30} é dado pela equação:

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

Sendo:

EI_{30} = índice de erosão em (t.m/ha.mm/h);

E_c = energia cinética da chuva;

I_{30} = intensidade máxima em 30 minutos, em mm/h.

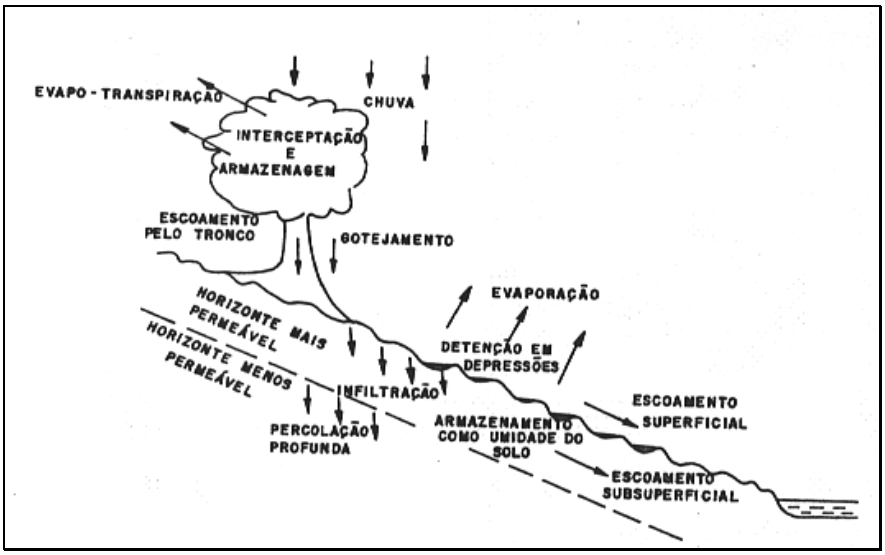


Figura 2.14. Componentes do balanço hidrológico, segundo (CARSON ; KIRKBY, 1975), modificada por NISHIYAMA (1998).

Os cálculos para determinar a erosividade da chuva de uma determinada região, sofreram adaptações devidos os registros pluviográficos serem escassos ou até mesmo inexistentes em alguns países, não sendo diferente para algumas regiões do Brasil, sendo assim a metodologia acima, que se baseiam em dados precisos de precipitação e intensidade de chuva. Alguns pesquisadores procuram estabelecer o fator de erosividade de uma chuva correlacionando as características totais da precipitação com a perda de solo, como: FOURNIER (1960), cuja proposta foi modificada, por LOMBARDI NETO ; MOLDENHAUER (1980) e por trabalhos apresentados por OLIVEIRA JUNIOR ; MEDINA (1990), MORAIS et al. (1991), VAL et al. (1986), OLIVEIRA JR (1988), RUFINO et al. (1993) e por SILVA (2004).

FOURNIER (op. cit.), procurou determinar os fatores que influenciam a erosão normal, conforme a equação a seguir:

$$\log E = 2{,}65 \log [\, p^2/P] + 0{,}46 \log H \,.\, tg\, \Phi - 1{,}56$$

Onde:

E – aporte de material em suspensão (t/km2/p.a);

p = pluviosidade do mês mais chuvoso (mm);

P = pluviosidade média anual (mm);

H = amplitude altimétrica média da bacia (m);

Φ = declividade média da bacia.

A razão p^2/P representa a medida de sazonalidade na precipitação ou incidência da concentração da chuva.

Modificando o coeficiente original proposto por FOURNIER (1960), LOMBARDI NETO ; MOLDENHAUER (1980), com base em 22 anos de registro de

precipitação na região de Campinas, São Paulo, propuseram um ajuste, com um coeficiente de correlação de 99,1%, de uma regressão linear entre o índice médio mensal de erosão e o coeficiente de chuva (RISSO et al., 1997), conforme a equação abaixo:

$$EI = 6{,}886\ [p^2/P]^{0.85}$$

Onde:

EI = média mensal do índice de erosão (tm.mm/ha.h.ano);

p = precipitação média mensal em mm;

P = precipitação media anual em mm.

Assim sendo, o fator de erosividade (R) é a soma dos valores mensais do índice de erosão. Para período de 20 anos ou mais, essa equação estima com relativa precisão os valores médios de EI, usando apenas os totais de chuva, dados estes disponíveis em todo País.

SILVA (2004) investigou a distribuição espacial de erosividade anual das chuvas no Brasil, dividindo o território brasileiro em 8 (oito) regiões. Utilizou uma equação adaptada para aplicar os registros pluviométricos de 1.600 estações meteorológicas. A interpolação desses dados, através de *Geographic Information System* (GIS), possibilitou a geração de um mapa com a variação espacial de erosividade do Brasil (Figura 2.15), com a utilização da equação modificada de FOURNIER (1960) abaixo:

$$Cc = M^2/P$$

Onde Cc é o índice de Fournier (média mensal do índice de erosão), M é valor mensal de precipitação (mm) durante mês x, e P é o valor anual de precipitação (mm).

Com inserção da área da bacia do Ribeirão Ponte de Pedra no mapa de precipitação e erosividade anual proposto por SILVA (2004), percebe-se que ela se situa na região com precipitação anual entre 1.200 a 1.600 mm/ano e erosividade anual entre 8.000 a 10.000 Mj mm /ha.h.ano.

RISSO et al. (1997), utilizaram base de dados pluviométricos de 140 estações distribuídas na região da bacia do Alto Paraguai que, tratados estatisticamente, permitiram calcular o fator de erosividade (R) para executar o Mapa de curvas iso-erosividades da bacia do Alto Paraguai (Figura 2.16), aplicando a equação proposta por (LOMBARDI NETO ; MOLDENHAUER, 1980), que modificou o coeficiente EI_{30} do índice de FOURNIER (1960).

A bacia do Ribeirão Ponte de Pedra acha-se contida nesse mapa, que mostra estar essa região do Estado de Mato Grosso, mais exposta à ação erosiva das chuvas, em zonas de erosividade elevada a muito elevada (7000 < R < 8000 Mj.mm/ha.h.ano).

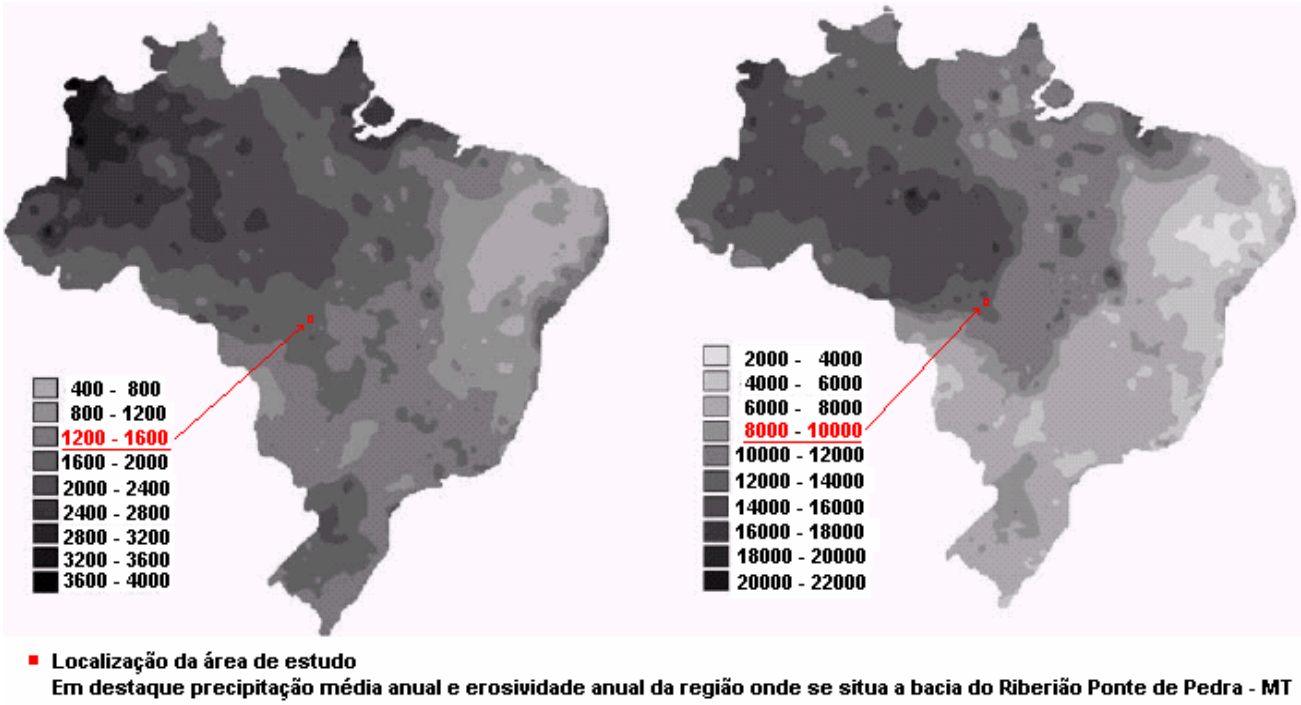


Figura 2.15. Comparação entre precipitação (mm/ano) e Mapa de Erosividade anual Mj mm /ha.h.ano) e posicionamento da área estudada, modificado de SILVA (2004).

Figura 2.16. Mapa de curvas iso-erosividades da Porção Nordeste da Bacia do Alto Paraguai.

Estudos utilizando métodos indiretos de erodibilidade e de susceptibilidade à erosão linear da bacia estudada, serão apresentados no Capítulo 6.

Cobertura Vegetal

A cobertura vegetal é a defesa natural de um terreno contra a erosão. Entre os principais efeitos da cobertura vegetal, BERTONI ; LOMBARDI NETO (1999) destacam:

a) proteção direta contra o impacto das gotas da chuva;
b) dispersão da água, interceptando-a e evaporando-a antes que atinja o solo;
c) decomposição das raízes das plantas que, formando canalículos no solo, aumentam a infiltração da água;
d) melhoramento da estrutura do solo pela adição de matéria orgânica, aumentando assim sua capacidade de retenção de água;
e) diminuição da velocidade de escoamento das enxurrada pelo aumento do atrito na superfície.

Conforme MORGAN (1995), a vegetação atua como uma camada protetora entre o solo e a atmosfera, onde as folhas e tronco (componentes superficiais) absorvem parte da energia do impacto das gotas de chuva e dissipam a energia do escoamento superficial e do vento, reduzindo as respectivas velocidades. Já os componentes subsuperficiais, compreendendo o sistema de raízes, contribui para a resistência mecânica do solo.

Segundo RODRIGUES (1982), a remoção da cobertura vegetal provoca uma série de mudanças, como por exemplo:

- interrupção brusca do efeito estabilizador da floresta, expondo o terreno a novas condições;

- alteração das funções exercidas pela vegetação, como interceptação, retenção, evapotranspiração, etc.;
- desaparecimento do horizonte húmico, aumentando assim a infiltração; e
- diminuição da resistência mecânica do solo pelo enfraquecimento do sistema radicular.

Pode-se observar o resultado da ação das diferentes coberturas vegetais nas perdas de solo e água pela erosão com os dados obtidos pela Seção de Conservação do Solo do Instituto Agronômico de Campinas do Estado de São Paulo, apresentados na Figura 2.17.

Tipo de uso	**Perdas**	
	Solo (t/ha)	**Água** (% da chuva)
Mata	0,004	0,7
Pastagem	0,4	0,7
Cafezal	0,9	1,1
Algodão	26,6	7,2

Figura 2.17. Efeito do tipo de uso do solo sobre as perdas por erosão. Médias ponderadas para três tipos de solo do Estado de São Paulo (BERTONI ; LOMBARDI NETO, 1999).

A influência da cobertura vegetal na determinação das perdas de solo por erosão laminar em áreas cultivadas é definida pelos fatores "uso e manejo do solo" (**C**) e "prática conservacionista (**P**)". O fator uso e manejo do solo (**C**) é a relação entre as perdas de um terreno cultivado em determinadas condições e as perdas correspondentes de um terreno mantido continuamente descoberto. Por outro lado, o fator prática conservacionista (**P**) é a relação entre a intensidade esperada de perdas de solo por erosão, com determinada prática conservacionista, e aquelas quando a cultura está plantada no sentido de declive (morro abaixo). BERTONI ; LOMBARDI NETO (1999) determinaram, a partir de dados

experimentais, valores de perdas de solo por erosão laminar em função dos diferentes fatores uso e manejo do solo (**C**) e prática conservacionista (**P**).

Topografia do Terreno

A influência da topografia do terreno na intensidade erosiva verifica-se principalmente pela declividade e comprimento de rampa (comprimento da encosta). Esses fatores interferem diretamente na velocidade das enxurradas (SALOMÃO, 1999).

As perdas de solo por erosão sob influência da declividade e comprimento de encosta foram determinadas por BERTONI (1959), a partir de experimentos realizados para os principais solos do estado de São Paulo, determinando uma equação que permite calcular as perdas médias de solo para os vários graus de declives e comprimento de rampa:

$$\mathbf{LS} = 0{,}00984\ L^{0,63}\ S^{1,18}$$

onde:

LS: fator topográfico;

L: comprimento de rampa, em metros;

S: grau de declive, em porcentagem.

A Figura 2.18 apresenta as curvas obtidas para o fator LS e a Tabela 2.1 o fator LS da equação de previsão de perdas de solo para várias combinações de grau de declive e comprimento de rampa, obtidas pela equação acima.

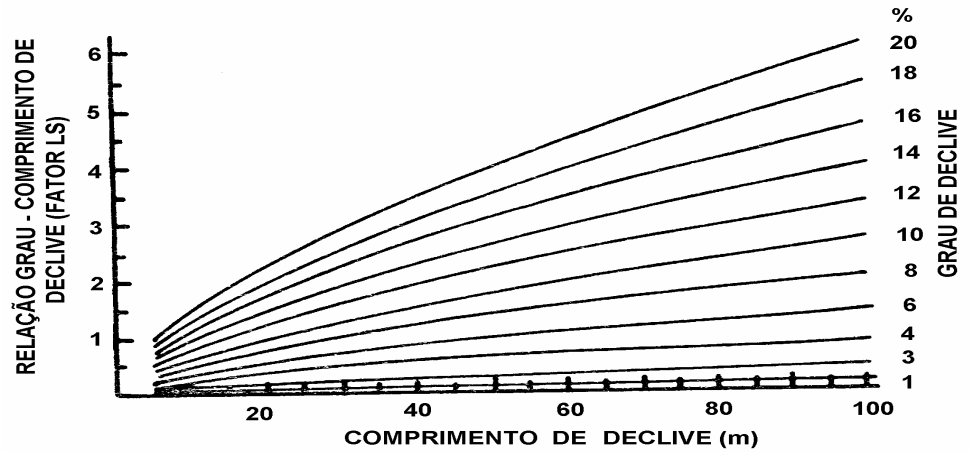


Figura 2.18. Curva de fator LS da equação de predição de perdas por erosão (BERTONI ; LOMBARDI NETO, 1999).

	Comprimento de rampa (metros)													
Declive %	**5**	**10**	**15**	**20**	**25**	**30**	**35**	**40**	**45**	**50**	**55**	**60**	**80**	**100**
1	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,10	0,11	0,12	0,12	0,13	0,16	0,18
2	0,06	0,09	0,12	0,15	0,17	0,19	0,21	0,23	0,25	0,26	0,28	0,29	0,35	0,41
4	0,14	0,22	0,28	0,33	0,38	0,43	0,47	0,51	0,55	0,59	0,63	0,67	0,80	0,92
6	0,23	0,35	0,45	0,54	0,62	0,69	0,77	0,83	0,90	0,96	1,02	1,07	1,29	1,48
8	0,32	0,49	0,63	0,76	0,87	0,98	1,08	1,17	1,26	1,34	1,43	1,51	1,81	2,08
10	0,41	0,64	0,82	0,98	1,13	1,27	1,40	1,52	1,64	1,75	1,86	1,96	2,36	2,71
12	0,51	0,79	1,02	1,22	1,40	1,57	1,73	1,89	2,03	2,17	2,30	2,43	2,92	3,36
14	0,61	0,95	1,22	1,46	1,68	1,89	2,08	2,26	2,43	2,60	2,76	2,92	3,51	4,03
16	0,71	1,11	1,43	1,71	1,97	2,21	2,44	2,65	2,85	3,05	3,23	3,42	4,10	4,72
18	0,82	1,27	1,64	1,97	2,27	2,54	2,80	3,04	3,27	3,50	3,72	3,93	4,71	5,43
20	0,93	1,44	1,86	2,23	2,57	2,88	3,17	3,44	3,71	3,96	4,21	4,45	5,34	6,14

Tabela 2.1. Fator LS da equação de previsão de perdas de solo para várias combinações de grau de declive e comprimento de rampa, segundo (BERTONI ; LOMBARDI NETO, 1999).

Para BERTONI ; LOMBARDI NETO (1999) e NISHIYAMA (1995), o comprimento de rampa é um dos mais importantes fatores na erosão do solo, pois com o aumento do comprimento da rampa, ocorre um aumento no volume de escoamento superficial, produzindo um aumento na intensidade de erosão, principalmente sob a forma de sulcos.

RODRIGUES (1982) utilizou a classificação das formas de encosta de TROEH (1965), mostrados na Figura 2.19, associando-as aos diversos tipos de erosão. Para o mesmo autor, o desenvolvimento das boçorocas ocorre principalmente em encostas convexas coletoras e, secundariamente, em encostas convexas dispersoras, portanto, são menos propensas à erosão por boçorocas as encostas côncavas (dispersoras e coletoras).

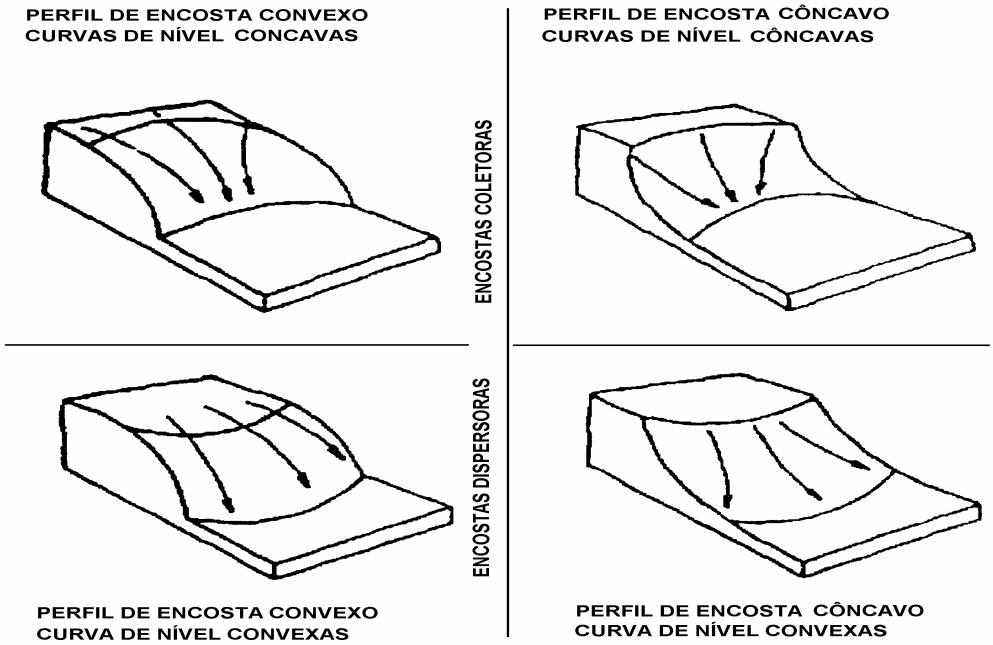


Figura 2.19. Classificação das formas de encostas (TROEH, 1965).

Solo

O solo é o principal fator que influencia e sofre a ação dos processos erosivos. Sua influência deve-se às suas propriedades físicas, principalmente textura, estrutura, permeabilidade e densidade, e às suas propriedades químicas, biológicas e mineralógicas.

As propriedades físicas e químicas do solo conferem maior ou menor resistência à ação das águas, quando exposto as condições semelhantes de topografia, de chuva e de cobertura vegetal (BERTONI ; LOMBARDI NETO, 1999).

Segundo ZUQUETTE (1987), a susceptibilidade do solo à erosão é denominada erodibilidade, a qual depende das características físicas do solo e de seu uso. Pode ser definida como a quantidade de material que é removida por unidade de área quando os demais fatores determinantes dos processos erosivos são mantidos sob condições padrão (SOUZA, 2001).

LAL (1988) define erodibilidade do solo como o efeito integrado dos processos que regulam a infiltração de água e a resistência do solo à desagregação e transporte de partículas, ou seja, a predisposição à erosão.

A erodibilidade dos materiais inconsolidados está relacionada a dois fatores principais, a destacabilidade e a transportabilidade das partículas, bem como às condições da umidade *in situ* e infiltração de água nesses materiais PEJON (1992).

SALOMÃO (1999) caracteriza as principais propriedades físicas e químicas do solo que influenciam nos processos erosivos:

- a **textura**, ou seja, o tamanho das partículas, influi na capacidade de infiltração da água de chuva, interferindo no potencial de escoamento superficial e quantidade de solo arrastado pela erosão, pois solos de textura arenosa são normalmente mais porosos, permitindo rápida infiltração. Entretanto, como possuem baixa proporção de partículas argilosas, que atuam como uma ligação entre as partículas maiores, apresenta maior facilidade para a remoção das partículas, como se que verifica mesmo em pequenas enxurradas;
- a **estrutura**, ou seja, o modo como se arranjam às partículas do solo, influem na capacidade de infiltração e absorção da água de chuva e na capacidade de arraste das partículas do solo. Segundo BERTONI ; LOMBARDI NETO (1999), há dois aspectos de estrutura do solo a ser considerados no estudo da erosão:

a) a propriedade físico-química da argila e

b) a propriedade biológica, causada pela abundância de matéria orgânica em estado de ativa decomposição, incorporada ao solo, que permite maior agregação e coesão entre as partículas.

Solos com estrutura microagregada ou granular, como os latossolos, apresentam alta porcentagem de poros e, conseqüentemente, alta permeabilidade, favorecendo a infiltração das águas de chuva; apresentam também agregação entre partículas, aumentando a resistência do solo ao arraste de partículas pela ação das águas.

- a **permeabilidade** determina a maior ou menor capacidade de infiltração das águas de chuva, estando diretamente relacionada com a porosidade efetiva do solo;
- a **densidade** do solo, relação entre a sua massa total e volume, é inversamente proporcional à porosidade e permeabilidade; o aumento da densidade de um solo, com o efeito de sua compactação, resulta na diminuição dos interstícios, tornando o solo menos erodível.

Conforme o argilo-mineral presente no solo, dará diferentes respostas com relação ao seu comportamento frente aos processos erosivos. As argilas do tipo esmectita são poucas estáveis em presença da água, ao contrário das caulinitas; as ilitas apresentam comportamento intermediário.

2.6.1.2. Fatores Antrópicos ou Aceleradores.

Caracterizam-se pela interferência humana no meio físico, deflagrando e acelerando os processos erosivos, através das seguintes ações:

- desmatamentos;
- núcleos urbanos;
- barragens;
- cortes de taludes;
- mineração; e
- agropecuária.

2.6.2. Estudos para determinação da Erodibilidade dos Solos

Nos estudos de determinação da erodibilidade do solo são utilizados métodos diretos e indiretos. O direto, em campo e através de experimentos em condições de chuvas naturais ou simuladas, já os indiretos tem como base as propriedades físicas e químicas do solo, determinados através de ensaios laboratoriais.

O conhecimento da erodibilidade dos solos faz parte do rol das preocupações do engenheiro e do geólogo em obra de engenharia (rodovias e estradas vicinais, canais de navegação, barragens, taludes de corte, aterros, etc.) e principalmente na ocupação de terrenos no meio rural para atividades agropecuárias.

Para se conhecer a erodibilidade de um determinado solo (fator k) por método indireto, WISCHMEIER et al. (1971), apud NISHIYAMA (1998) e VILAR ; PRANDI (1993) utilizou o nomograma da Figura 2.20, que permite obter o fator k desde que se conheça as seguintes propriedades: porcentagem de matéria orgânica; percentagem de silte mais areia muito fina (faixa granulométrica entre 0,002 e 0,1 mm); percentagem de areia (faixa granulometria entre 0,10 e 2,0 mm); classe de permeabilidade e tipo de estrutura.

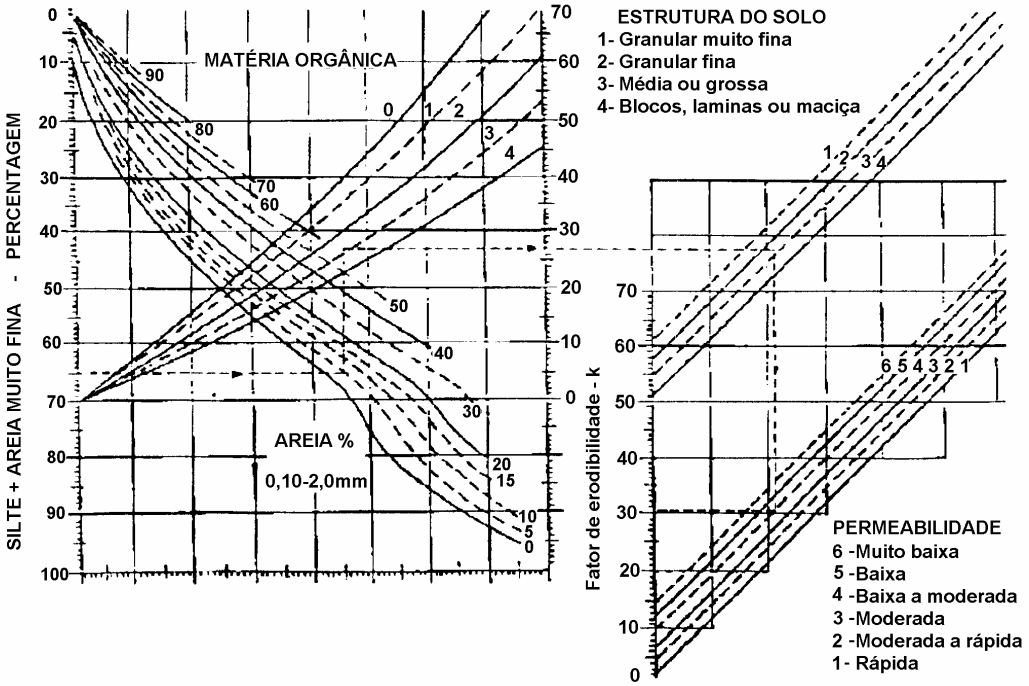


Figura 2.20. Nomograma de WISCHMEIER et al. (1971), apud VILAR ; PRANDI (1993).

BACARRO (1999), sobre os processos erosivos, esclarece que os fluxos superficiais correspondem ao escoamento superficial pluvial e ocorrem em nível das vertentes, na forma de lençol ou laminar, anastomosado (canais difusos e coalescentes) e concentrado (canais profundos e incisos). Os fluxos subsuperficiais ocorrem nas formações superficiais (colúvio e elúvio), nas mais diversas profundidades, acompanhando as descontinuidades pedológicas e/ou geológicas.

A interação ou o desequilíbrio entre os fatores do meio físico e o uso e ocupação de uma região pode ou não resultar numa perda progressiva do solo através de erosão linear, por escoamento concentrado das águas das chuvas ou erosão laminar, por escoamento difuso, de forma lenta e praticamente imperceptível ao homem, porém com uma progressiva perda dos horizontes superficiais do solo.

Estudos para se estimar perda de solo e transporte de sedimentos produzidos por erosão laminar e linear de uma bacia utilizaram equação empírica desenvolvida por

WISCHMEIER ; SMITH (1965) e conhecida como Equação Universal de Perda do Solo (EUPS), a seguir expressa:

$$A = R.K.L.S.C.P$$

Onde:

A = perda de solo em unidade de massa por unidade de área e unidade de tempo (t/ha.ano);

R = índice referente à erosividade das chuvas (MJ/ha.mm/ha);

K = índice de erodibilidade dos solos: intensidade de erosão por unidade de índice de erosão da chuva, para um solo específico que é mantido continuadamente sem cobertura, mas sofrendo as operações culturais normais, em um declive de 9% e comprimento de rampa de 25m, t/ha/ (MJ/ha.mm/ha);

L = índice relativo ao comprimento do declive: relação de perdas de solo entre um comprimento de declive qualquer e um comprimento de rampa de 25 m para o mesmo solo e graus de inclinação;

S = índice relativo ao grau de declividade da encosta: relação de perdas de solo entre um declive qualquer e um declive de 9% para o mesmo solo e comprimento de rampa;

C = índice relativo ao uso e manejo do solo: relação entre perdas de solo de um terreno cultivado em dadas condições e as perdas correspondentes de um terreno mantido continuadamente descoberto, isto é, nas mesmas condições em que o fator K é avaliado;

P = índice relativo à prática conservacionista adotada: relação entre as perdas de solo de um terreno cultivado com determinada prática e as perdas quando se planta morro abaixo.

A determinação dos fatores dessa equação tem que ser obtida em experimentos de campo, com exceção dos fatores L e S que podem ser determinada através de relações entre o comprimento de rampa, em metros e o grau de declive, em porcentagem, gerando curvas e tabelas conforme mostrado na Figura 2.18 e na Tabela 2.1, (pág. 63) deste capítulo, que resultam da equação de previsão de perdas de solo para várias combinações de grau de declive e comprimento de rampa, porém, os valores o fator P podem vir de tabelas elaboradas por estudos de áreas semelhantes quanto às práticas conservacionistas tendo como exemplo a elaborada pela Seção de Conservação do Solo do Instituto Agronômico de Campinas, conforme a Tabela 2.2.

Práticas conservacionistas	Valor de P
Plantio morro abaixo	1,0
Plantio em contorno	0,5
Alternância de campinas + plantio em contorno	0,4
Cordões de vegetação permanente	0,2

Tabela 2.2. Valor de P da equação de perda do solo para algumas práticas conservacionistas, segundo (MARQUES ; BERTONI ; BARRETO, 1961).

Tomando como base SALOMÃO (1999), os cálculos para determinar os valores de perda de solo provocado por erosões laminares, representados em t/ha, em estudos regionais, é tanto mais precisos quanto menor a parcela de área estudada, pois as variações dos dados levantados do meio físico, a serem considerados para a equação na EUPS, os valores numéricos de perda de solo apurados, não podem ser tomados como dados reais de erosão, devendo servir tão-somente para categorizar quantitativamente as áreas quanto a sua maior ou menor susceptibilidade à erosão laminar, podendo ser representadas em mapa. Porém, há algumas pesquisas que utilizam experimentos de campo e laboratoriais, buscando formulações empíricas que possam ser extrapoladas para uma área maior ou até mesmo de um

Estado, como a feita pelo Instituto Agronômico de Campinas (IAC) que elaborou mapa com estimativas de valores de perdas de solos anuais para todo o Estado de São Paulo.

Para HANIGAN (2005), a equação da EUPS foi desenvolvida originalmente para estimar a perda média anual de solo da região agrícola situada a leste das Montanhas Rochosas, no EUA. Sua utilização em outras regiões apresentou resultados limitados, porém, modificações e adaptações ao longo dos anos às condições locais, a EUPS, embora empírica, ainda é a melhor ferramenta nos estudos de estimativa de perda de solo por erosão.

No estudo de RISSO et al. (1997), contido no Plano de Conservação da Bacia do Alto Paraguai (PCBAP), sendo o Ribeirão Ponte de Pedra componente, foi caracterizada a erodibilidade dos solos da porção sul de Mato Grosso e em parte de Mato Grosso do Sul. Os dados fornecidos por esse estudo, levando em consideração os tipos pedológicos mapeados por ORIOLI et al., (1982) no Projeto RADAMBRASIL, onde a bacia estudada se insere, classificou-se como muito forte grau de erodibilidade (fator k = 0,45), as areias quartzozas, mapeadas neste trabalho (Cap. 5) como Materiais Inconsolidados da Classe 1, Grupo A, B e C, tipo muito arenoso (pouco, mediamente e espesso) (Anexo V); como de forte grau de erodibilidade (fator k = 0,32), os Podzólicos Vermelho-amarelo, correspondentes aos Materiais Inconsolidados arenosos, Classe 2 (A B e C); de baixo grau (fator k = 0,16), os Latossolos Vermelho-escuro, que correspondem aos Materiais Inconsolidados Classes 4 e 5 (solos argilosos espessos e muito argilosos) e os solos aluviais como muito baixo grau de erodibilidade, fator k = 0,01.

Nesse estudo, também se caracterizaram as zonas de erosão (produção de sedimentos) e de deposição das cargas sólidas transportadas pelos rios da bacia do Alto Paraguai, levando em consideração medições de descargas sólidas feitas pelo Departamento Nacional de Obras e Saneamento (DNOS), entre os anos de 1977 a 1982, em 14 estações, conforme a Figura 2.21. Esse esboço tem como base dados de concentração média anual de

sedimentos em suspensão nos principais rios da bacia (mg/l) e as taxas anuais de produção de sedimentos pelas sub-bacias da região e é representado através de valor de erosão ou do depósito anual de sedimentos nas áreas situadas entre as estações sedimentométricas. A bacia do Ribeirão Ponte de Pedra se enquadra em área considerada como de produção de sedimento por erosão acima de 250 t/km^2 por ano.

OKA-FIORI (2002) utilizou a equação da USLE para estimar a perda média de solo por erosão de uma região em t/ha.ano, para a bacia do Rio Itiquira, bacia contígua a do Ribeirão Ponte de Pedra. A bacia do Rio Itiquira possui área de 26.542 km^2 e a perda média de solo por erosão laminar foi estimada, em 1966, na ordem de 0,37 t/ha.ano, totalizando 201.546,94 t, já para o ano de 1985, a média de perdas de solo passou para 3,28 t/ha.ano, com perda de solo calculado em 1.760.833,40 t. Em 1996, pela estimativa efetuada nesse trabalho, a perda foi de 1.662.043,24 t, com perda média de solo ao ano dessa bacia de 3,10 t/ha.ano.

Para atender solicitações do órgão ambiental do Estado de Mato Grosso, extinta Fundação Estadual de Meio Ambiente (FEMA), recém criada, Secretaria de Estado do Meio Ambiente (SEMA), a TD-ENGENHARIA LTDA, (2002 e 2002a) realizou estudos hidrossedimentológicos para concepção dos projetos de construção das PCHs José Gelázio da Rocha, João Basso e Rondonópolis, que apresentaram vazões médias da calha do Ribeirão Ponte de Pedra de 33,045 m^3/s, 35,23 m^3/s e 31,26 m^3/s respectivamente. As estimativas de descargas sólidas totais médias (período de monitoramento de medições nos pontos onde seriam os eixos das futuras barragens, entre os anos de 1961 a 1999), foram de: para a PCH João Basso, 28.251 t/ano e para a PCH Rondonópolis, 22.202,95 t/ano. Nesse estudo, determinou-se que a erodibilidade média (k) dos solos da bacia se situa entre, $0,15 < k < 0,30$ e erosividade (R) entre 7.500 a 10.000 Mj.mm/ha.h.ano.

Figura 2.21. Mapa de zonas de erosão e depósitos de sedimentos da Bacia do Alto Paraguai.

Em geotecnia, são poucos os trabalhos específicos sobre o estudo da erodibilidade dos solos de uma determinada porção de terreno ou região utilizando métodos diretos e/ou indiretos, dentre os quais podemos citar NOGAMI ; VILLIBOR (1979), LAL (1988), RODRIGUES (1984), SANTORO (1991), PEJON (1992), VILAR ; PRANDI (1993), ALCANTARA (1997), SOUZA (2001) e SILVEIRA (2002).

Conforme PEJON (1992) é complexa a análise da erodibilidade dos materiais inconsolidados, porque envolve o conhecimento da sua natureza química e física e as condições *in situ*. Os ensaios de erodiblilidade têm procurado relacionar algumas características, tais como: a quantidade de matéria orgânica, os tipos de argilo-minerais, a porcentagem de sesquióxidos, o pH, a capacidade de troca de cátions, a relação entre a quantidade de óxidos de ferro e alumínio e de sílica e as características do fluido intersticial e percolante.

Segundo o mesmo autor, os ensaios de natureza física envolvem principalmente a granulometria, a plasticidade, a massa específica dos sólidos e a umidade. Outros ensaios buscam determinar ou estimar as condições *in situ* do solo, tais como: a densidade, a agregabilidade, a permeabilidade, as taxas de infiltração, a expansão e a profundidade dos diversos horizontes dos solos.

São os seguintes os ensaios previstos para obtenção de índices de erodibilidade do solo: granulometria conjunta – Norma NBR 7181/1984; Absorção de azul de metileno – PEJON (1992); Massa específica dos sólidos (**ρs**) – Norma ABNT 6508/84, Massa específica do solo seco (**ρd**) – Método do anel (ZUQUETTE, 1987); Absorção d' água (**S**) e Perda de massa por imersão - NOGAMI ; VILLIBOR (1979).

Para PEJON (1992), o método proposto por NOGAMI ; VILLIBOR (1979) tem como vantagem em sua experimentação laboratorial:

- utilização de amostras indeformadas;

- considera o efeito da secagem;
- permite inferir as propriedades de desagregabilidade e infiltração;
- facilidade e rapidez de execução; e
- não necessita de equipamentos sofisticados.

A mesma metodologia, com algumas modificações propostas por PEJON (1992). é a mais utilizada em mapeamento geotécnico e no estudo do comportamento frente à erosão de materiais inconsolidados em talude de corte. O índice de erodibilidade é calculado a partir de resultados de ensaios de absorção de água e de perda de massa por imersão.

Para esses ensaios, são utilizadas amostras indeformadas obtidas com a cravação de um cilindro de PVC rígido com a ponta biselada e dimensões de 40 mm de diâmetro por 20 mm de altura. A amostra coletada deve ser mantida no cilindro para secagem ao ar e na sombra por um período de, no mínimo, sete dias.

No ensaio de absorção de água, coloca-se o cilindro com a amostra num equipamento, que possui uma base com as mesmas dimensões do cilindro; a base e a amostra devem ser separadas por uma pedra porosa. Esse conjunto é conectado a um tubo de vidro graduado, disposto horizontalmente e preenchido por água. A Figura 2.22 ilustra esquematicamente o equipamento para esse ensaio.

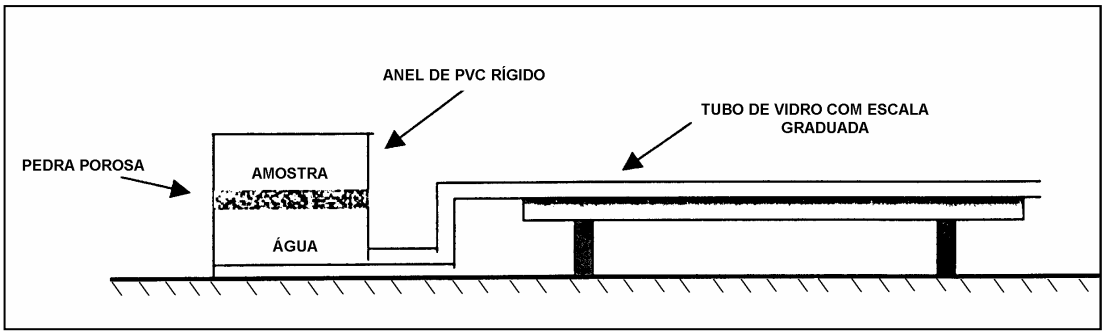


Figura 2.22. Esquema do instrumento para execução do ensaio de absorção de água.

São os seguintes procedimentos a serem seguidos durante o ensaio:

- pesar a amostra junto com o cilindro de amostragem;
- medir, no tubo, o volume de água absorvida pela amostra e o tempo necessário para sua saturação;
- para obter o índice de absorção de água (**S**), deve-se construir um gráfico do volume de água absorvido por unidade de área da base do corpo de prova (**q**) em função da raiz quadrada do tempo (**t**). Os pontos normalmente se distribuem ao longo de uma linha reta, sendo o índice S o coeficiente angular desta reta.

$$S = q / \sqrt{t}$$

O ensaio de perda de massa por imersão, conforme descrição de PEJON (1992), é realizado inicialmente com:

- colocação de uma pedra porosa na base do cilindro que contém a amostra e imerge-se o conjunto em um recipiente com água, de modo que o topo da amostra fique na horizontal e, aproximadamente, a 2 mm do nível da água, até que não ocorra mais modificações de umidade perceptíveis na superfície livre da amostra;
- suspender o conjunto e girar até que a superfície livre da amostra fique na vertical, imergindo-a em seguida no recipente com água;
- manter a parte inferior da superfície livre da amostra a cerca de 30 mm do fundo do recipiente com água e dentro de um recipente menor que permita a coleta do material desprendido desta superfície. Após 24 horas nestas condições, será determinada a perda de peso em porcentagem, em relação ao peso inicial seco da amostra (**P**).

O índice de erodibilidade (**E**) proposto por NOGAMI ; VILLIBOR (1979) é calculado através da seguinte expressão: E = 52 S/P; se o valor de **E** é menor que 1, considera-se que o material inconsolidado tem alta erodibilidade.

Utilizando esse método, PEJON (1992) concluiu que a equação para o cálculo da erodibilidade de NOGAMI ; VILLIBOR op. cit., não respondeu satisfatoriamente para 56 amostras ensaiadas. Muitas amostras, que no campo se associavam as feições erosivas, se posicionavam na parte inferior do gráfico construído (domínio E > 1). O mesmo autor propôs uma adequação nesta equação para E = 40 S/P, obtendo melhores respostas. Justificou a utilização do índice 40 face às diferentes características dos solos amostrados e principalmente à quantidade de matéria orgânica presente no nível amostrado.

2.6.3.Técnicas de Controle de Erosão

O problema de erosão está presente na maioria das cidades instaladas em terrenos que tem solo formado a partir de rochas arenosas e relativamente profundas. Incluem-se nesse caso os assentamentos urbanos no cerrado brasileiro, que tem como substrato rochoso principalmente rochas sedimentares da Bacia do Paraná, apresentando ravinas e boçorocas, causadas especialmente pela concentração das águas de escoamento superficial.

A erosão urbana está associada, em sua origem à falta de um planejamento adequado, que considere as particularidades do meio físico, as condições sociais e as econômicas das tendências de desenvolvimento da área urbana (FENDRICH, 1984; apud SALOMÃO, 1999).

São apresentados, a seguir, alguns problemas relacionados a ocupação em áreas de riscos de erosão, segundo SALOMÃO op.cit.*:*

- ocupação dos terrenos próximos às ocorrências erosivas multiplica os riscos de acidentes; as ravinas e boçorocas se tornam áreas de despejo de lixo, que, juntamente com esgoto, transforma a erosão em focos de doenças;
- assoreamento dos cursos de água e reservatórios (Figura 2.23);
- entupimento da rede de galerias, promovendo enchentes, concentração de poluentes e perda de capacidade de armazenamento de águas de abastecimento.

Em áreas susceptíveis à erosão, devem ser feitos estudos preventivos por meio da elaboração da Carta Geotécnica, sintetizando as características dos terrenos, em função dos problemas e fenômenos, destacando a sua aptidão para distintos tipos de uso e ocupação.

Segundo SALOMÃO (1999), os estudos de erosão em áreas urbanas envolvem aspectos geotécnicos e urbanísticos. Os primeiros exigem a caracterização dos fatores e mecanismos relacionados às causas dos desenvolvimentos dos processos erosivos e os segundos, as possibilidades e alternativas de ocupação urbana. São principais causas do desencadeamento e evolução da erosão nas cidades:

- plano de obra inadequado do sistema viário, muitas vezes agravado pela falta de pavimentação, de guias e de sarjetas;
- traçado inadequado do sistema viário, não considerando a declividade e comprimento das vertentes;
- deficiência dos sistemas de drenagem de águas pluviais e servidas;
- expansão urbana descontrolada.

Figura. 2.23. Assoreamento de curso de água e entupimento de bueiro (INTERNATIONAL EROSION CONTROL ASSOCIATION, 2001).

Um exemplo de surgimento de feições erosivas em área urbana é a Figura 2.24, que mostra o desenvolvimento de boçorocas no Município de Bauru (SP), decorrente da ocupação de manto intempérico em arenitos da Bacia do Paraná.

Para SALOMÃO (1999), o controle da erosão em terras rurais é muito complexo, por envolver questões tanto de ordem técnica, como sócio-econômica, devendo ser avaliadas as políticas agrícolas de manutenção ou aumento do potencial produtivo das terras. Quanto às de caráter técnico, faz-se necessária à utilização adequada de práticas agrícolas de conservação do solo, a adoção de medidas preventivas contra a erosão associadas a estradas, bem como o planejamento da ocupação agrícola (capacidade de uso da terra).

Figura 2.24. Boçorocas em área urbana de Bauru (SP) (KARMANN, 2000)

As técnicas de conservação do solo, na agricultura, podem ser agrupadas em:

a) Práticas de caráter vegetal

Nas técnicas de caráter vegetal, utiliza-se a cobertura vegetal como critério básico de contenção da erosão, destacando-se as seguintes entre as mais utilizadas:

- plantas de cobertura;
- culturas em faixas;
- cordões de vegetação;
- alternância de capinas;
- quebra-ventos.

b) Práticas de caráter edáfico

São práticas conservacionistas que mantêm ou melhoram as condições de fertilidade do solo e, indiretamente, controlam a erosão. Entre essas práticas, destacam-se:

- controle do fogo;
- adubação verde e plantio direto;
- adubação química;
- adubação orgânica;
- rotação de cultura;
- calagem.

c) Práticas de caráter mecânico

São práticas desenvolvidas nas áreas de cultivo pela execução de estruturas em canais e aterros, com a finalidade de controlar o escoamento superficial das águas e facilitar a sua infiltração. Entre essas práticas, destacam-se:

- **plantio em contornos (em nível):** marcação, no terreno, de curvas de nível e execução, em espaços estabelecidos, de sulcos e camalhões de terra; as fileiras de cultura e os sulcos e camalhões, acompanhando as curvas de nível, constituem um obstáculo que se opõe ao percurso livre das enxurradas, controlando a erosão;
- **terraceamento**: tipo especial de sulco ou canal e camalhão visando, além de interceptar a água de enxurrada, conduzir o excesso pelo canal; são vários os métodos utilizados e a escolha depende das condições do terreno (tipo de solo e declividade); a Figura 2.25 apresenta, esquematicamente, os tipos de terraços mais utilizados na agricultura brasileira;

- **canais escoadouros:** canais de dimensões apropriadas, vegetado e capazes de transportar, a água de escoamento superficial proveniente dos sistemas de terraceamento ou de outras estruturas.

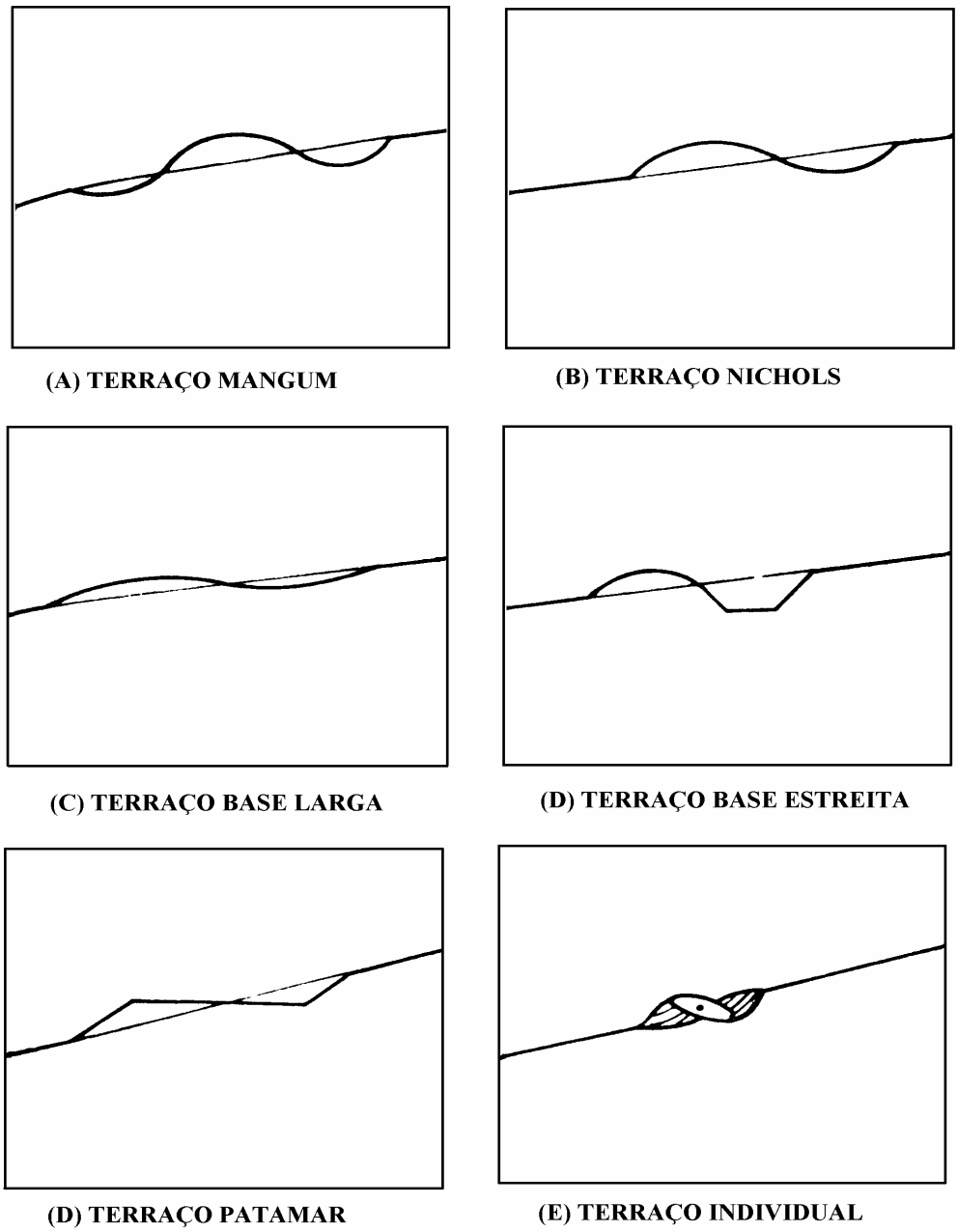


Figura 2.25 Tipos de terraços (BERTONI ; LOMBARDI NETO, 1999).

2.6.3.1. Controle de Erosões Causadas por Estradas

As feições erosivas presentes em áreas urbanas e rurais em terrenos com suscetibilidade a esses processos ocorrem devido à imprecisão dos projetos de drenagem, ao desinteresse pelos investimentos em obras complementares e à falta de manutenção. Para SALOMÃO (1999), estas são as principais causas da grande incidência de erosão por ravinas e boçorocas.

O controle preventivo da erosão em estradas pode ser realizado por meio de proteção vegetal dos cortes de aterros, dos terrenos adjacentes e da implantação de um eficiente sistema de drenagem, tendo como base o conhecimento do terreno e da caracterização/quantificação hidráulica, tendo em vista a captação, condução e dissipação das águas.

BIGARELLA ; MAZUCHOWSKI, (1995); SANTOS et al., (1985) apud SALOMÃO op. cit, recomendam as seguintes medidas para controle de erosão em estradas:

- **proteção vegetal**: deve ser executada em todos os locais da plataforma e áreas adjacentes à estrada, sujeitos a processos de erosão, principalmente por concentração das águas de chuva, tais como taludes de cortes e aterros, valetas não revestidas, saídas de bueiros e sangrias, caixas de empréstimos, áreas de jazidas, caminhos de serviço, etc. Entre as espécies vegetais devem-se utilizar as que ofereçam máxima proteção possível ao solo, sendo mais comum a utilização de bambu, de grama, de capim, etc.;
- **valetas/canaletas revestidas ou gramadas**: devem ser executadas em todos os locais de concentração de água, principalmente nas bordas da plataforma, em cortes e em aterros, junto às cristas de cortes e às saias de aterros, e nas saídas de bueiros;

- **bueiros**: devem ser construídos com tubos de concreto, alvenaria, aços, etc., em travessias de pequenas drenagens, naturais permanentes (córregos) ou temporárias (enxurradas);
- **abaulamento transversal da pista de rolamento**: impede o empoçamento ou escoamento das águas de chuva ao longo da pista;
- **sangras laterais**: devem ser construídas acompanhando as curvas de nível do terreno, com espaçamento compatível com a quantidade de água transportada pelas canaletas laterais da plataforma;
- **dissipadores de energia**: devem ser construídos em locais sujeitos a fluxo de água excessivo, tais como ao longo de canaletas laterais, nas saídas de sangras e de bueiros, nas decidas de cortes e aterros, etc. Dependendo das condições locais, vários tipos de estruturas de dissipação de energia podem ser utilizados (barragens ao longo de valetas/canaletas, escadas em locais de saídas de água, caixas de infiltração ou acumulação nas saídas de sangras laterais, etc.).

SOUZA (2001) cita, como técnicas complementares que podem ser utilizadas conjuntamente como os procedimentos citados acima, a proteção de taludes, os drenos, o mapeamento/cartografia geotécnica e a utilização de geossintéticos no controle de erosão.

As obras de engenharia de proteção de taludes são executadas utilizando revestimento vegetal, concreto, concreto armado, gabiões, alvenaria, terra armada, jateamento, malha articulada e geotêxtil. Os drenos são empregados para disciplinar às águas subsuperficiais, com o objetivo de controlar o gradiente hidráulico. Os principais tipos de drenos utilizados são: cego, com material sintético geotêxtil, bambu (distribuídos em paralelo ou em espinha de peixe) e grelha.

Os geotêxteis, que podem ser naturais ou sintéticos, vêm sendo utilizados na geotecnia em controle de processos erosivo, como exemplificado nas Figuras 2.26 e 2.27.

Os geossintéticos (produtos sintéticos utilizados como material de construção em obras geotécnicas) vêm sendo empregados no controle de erosão, na forma de geotêxteis, geogrelhas, geonets, geomembranas, geocompostos e em tiras e fibras sintéticas (VIDAL, 1995, apud SOUZA, op. cit.), conjuntamente com outros produtos e materiais, em caráter corretivo, mitigador e preventivo em áreas urbanas e rurais, na proteção: de taludes, margens de rios, lagos e canais, barragens, canais impermeáveis, aterros, obras viárias pavimentadas e vicinais, a Figura 2.28, mostras a utilização de alguns desses materiais em obra de controle de erosão em canais fluviais.

Figura 2.26. Estabilização de margem de rio utilizando técnicas de bioengenharia - tela biodegradável e vegetação (INTERNATIONAL EROSION CONTROL ASSOCIATION, 2001).

Figura 2.27. Gabiões em canais e canaletas (RAZZO, 1997).

Figura 2.28. Reforço de solo com grama armada para aumentar a resistência à erosão, usando três camadas de material para reforçar o crescimento de raízes em canal fluvial (geotêxtil, pedra de mão e geogrelha) (INTERNATIONAL EROSION CONTROL ASSOCIATION, 2001).

2.7. PRINCIPAIS METODOLOGIAS DE MAPEAMENTO GEOTÉCNICO

As primeiras referências da utilização de técnicas de mapeamento geotécnico para planejamento e ocupação têm início em 1902 com a caracterização geotécnica do substrato geológico da cidade de Nova Iorque (EUA), a partir de dados de aproximadamente 1.400 furos de sondagem. Em 1913, foram apresentados documentos gráficos durante a Feira de Construções de Leipizig na Alemanha, com o objetivo de planejamento de construção de cidades alemães.

Nas décadas de 60 e 70, devido ao crescimento acelerado dos níveis de degradação e os impactos ambientais causados pelo uso e ocupação do solo pela atividade antrópica e à ocorrência de registros de acidentes com perdas de vidas humanas e prejuízos materiais, face à ocupação e exploração inadequada do meio físico, surgiu a necessidade de estudos e desenvolvimento de técnicas de investigação do solo e subsolo para o planejamento urbano e rural com menores danos ao meio ambiente. Dentre várias metodologias e sistemáticas para o mapeamento geotécnico regional e urbano, cabe citar as seguintes:

2.7.1. Metodologia da INTERNATIONAL ASSOCIATION OF ENGINEERING GEOLOGY (IAEG) (1976)

Metodologia elaborada por uma comissão formada pela IAEG – *Internacional Association of Engineering Geology*, teve como objetivo formular uma orientação para mapeamento geotécnico, adequado à maioria dos países e na qual os meios para sua confecção sejam também sócio-econonômica e tecnicamente viável.

Relata os fatores e feições que devem ser considerados:

- caráter das rochas e dos solos;

- condições hidrogeológicas;
- condições geomorfológicas e
- fenômenos geodinâmicos.

Princípios técnicos: fotogeologia, geofísica, sondagens, amostragens, ensaios *in situ* e laboratoriais.

Classificação dos Mapas:

1- Quanto à finalidade:

- **Mapa de finalidade especial:** Aspectos específicos do meio físico ou de condições geotécnicas para construção de determinado tipo de obra;
- **Mapa de multifinalidade:** Informações geotécnicas variadas, usado para diversas finalidades do planejamento e engenharia.

2- Quanto ao conteúdo:

- **Mapa analítico**: Trata de aspectos individuais, cuja finalidade vem expressa no título. Analisa todos os componentes possíveis do meio, sendo de dois tipos:
  a) **mapa de condições geotécnicas**: registra os componentes do meio físico, sem a preocupação de interpretá-los;
  b) m**apa de zoneamento geotécnico**: registra e interpreta as informações geológico-geotécnicas, delimitando áreas homogêneas.

3- Quanto à escala:

- **grandes**: 1: 1:10.000 ou maior, para fins específicos;
- **médias:** 1:10.000 a 1:100.000, para planejamento regional;

- **pequenas**: 1:100.000 ou menores, para mapeamento de caráter geral.

4- Quanto à litogenêse:

- **tipo Geologia de Engenharia:** apresenta uniformidade litológica e física; mapas de escala grande (> 1:5.000);
- **tipo litológico:** homogeneidade litológica (composição, textura e estrutural); mapas de escala média a grande (1: 5.000 a 1:10.000);
- **complexo litológico:** Conjunto de tipos litológicos geneticamente associados; escalas de (1:10.000 a 1:200.000).
- **suite litológica:** desenvolvido em condições tectônicas e paleogeográficas geralmente similares, mapas de pequena escala (< 1:200.000).

Na aplicação desta metodologia, o usuário deve decidir sua escala, tipo de documento mais adequado, o modo de realizar o mapeamento para atender às condições e às classes estipuladas pelo referido documento.

Teoricamente, pode ser adotada por qualquer país, sob a condição de compatibilizar o número de informações como a exigência da metodologia, estipular a escala e o tipo de documento, ordenar os componentes do meio físico, as feições e os atributos que sejam interessantes e definir como obter os atributos e suas classes.

2.7.2. Metodologia Francesa (SANEJOUND, 1972)

Resulta de levantamento e análise dos trabalhos de mapeamento geotécnico já existente, realizados na França e em outros países. Tem como objetivo ser usada tanto para fins regionais, como para situações específicas.

São **fatores analisados:** Condições geodinâmicas, geomorfologicas e geotécnicas dos terrenos.

Classificação do conjunto de documentos:

a) quanto à escala e finalidade:

Regional	< 1:100.000	- planejamento regional
	1:100.000 a 1:50.000	- áreas metropolitanas
	1:25.000 a 1:10.000	- áreas urbanas
Local	1:10.000 a 1:2.000	- áreas específicas
	> 1:2.000	- áreas de detalhe

b) quanto ao conteúdo e forma:

- **Cartas analíticas ou de fatores:** Representam um ou mais fatores necessários ao estudo geotécnico, ex.: mapas de substrato rochoso, materiais de cobertura, hidrogeológico e geomorfológico. Subdividem-se em:
  - **cartas de fatores normais:** apresentam informações de uso amplo para o planejamento local e regional;
  - **cartas de fatores especiais**: apresentam informações específicas para solução de problemas particulares.
- **Cartas sintéticas ou de aptidão:** São cartas que delimitam áreas homogêneas quanto ao tipo de utilização e dados sobre a qualidade dos solos. Ex.: cartas de aptidão às fundações e cartas de materiais de construção, fundações, vias de transporte, escavabilidade, etc.

Segundo ZUQUETTE ; NAKAZAWA (1998), a maioria dos trabalhos feitos sob esta metodologia deu-se em áreas menores que 1.500 km^2 e escalas maiores que 1:50.000 e

preocuparam-se com a posição espacial das diferentes unidades de terreno e, neles, as variações verticais foram representadas por listas e seções cruzadas. A mesma não estabelece os princípios e limites de cada informação, que deve ser considerada para definir as áreas homogêneas; não indica classificação e similaridade que possa ser usada durante a elaboração do trabalho, ficando a critério dos mapeadores a escolha.

2.7.3 – Metodologia *PUCE (PATTERN, UNITY, COMPONENT, EVALUATION)*

Este programa de avaliação de terreno para fins de engenharia foi desenvolvido na Austrália por GRANT (1970) e FINLAYSON ; GRANT, (1978).

Tem como **objetivos:** Racionalizar procedimentos de coleta e processamento de informação de engenharia por estágios de pré-planejamento, planejamento, projeto de obras civis. Tem como base os arquivos de informação de engenharia para usos futuros, compatíveis com sistemas computacionais e fornece a probabilidade de ocorrências de um conjunto de condições particulares de um dado local.

Baseia-se nos **princípios**: "O terreno é produto de interação da Geologia e clima através do tempo (agente)" e "produtos como terreno, com todos seus atributos, que tenham evoluído a partir de materiais semelhantes, através de um processo geológico semelhantes, possuem propriedades semelhantes".

A base do sistema de classificação para qualquer área define-se pela topografia, características litológicas e estruturais, solo e vegetação.

O sistema de classificação é composto por quatro classes de generalizações:

- **Província:** Define uma área do meio físico com base na geologia, geomorfologia, drenagem, vegetação e outros. A representação da província é

indicada para escalas iguais ou menores que 1:250.000 (mapeamentos regionais) e define uma associação de padrões de terrenos.

- **Padrão de Terreno:** Baseia-se em critérios geomorfológicos, como topografia, em tipos de solos e de vegetação característicos. São classificados os padrões e as densidades de drenagens, as amplitudes de relevo e as formas fisiográficas, sendo associadas sua consistência e uniformidade na paisagem e representados em escalas menores que 1:100.000.
- **Unidade de Terreno:** Caracteriza-se pela definição da forma de relevo e pela associação de solos e de vegetação, formando feições distintas e reconhecíveis. É indicado para escalas de mapeamento menores que 1:10.000.
- **Componente de Terreno**: Definido com base nas características geomorfológicas do terreno, como tipo de perfil de solo, tipo e ângulo de encostas, associação da cobertura vegetal, litologia do substrato rochoso. É indicada para estudos em escalas maiores que 1:10.000.

O programa PUCE utiliza um esquema de numeração decimal para nomenclatura e sistemática dos componentes de terreno. Tem como vantagens: a simples operacionalidade pelo usuário, independer de nomes locais e ser compatível com armazenamento de dados em computador.

2.7.4. Metodologia de COTTAS (1983)

COTTAS (1983) estabeleceu uma metodologia básica para o desenvolvimento de estudos geológicos visando processos de planejamento de centros urbanos, propondo assim, um novo modelo de abordagem do tema. Aconselha uma seqüência de estudos geológicos e

geotécnicos que culminam com a elaboração de uma série de cartas representativas das propriedades geológico-geotécnicas da área a ser ocupada.

Utilizou, como fonte principal, a metodologia francesa de SANEJOUND (1972) e a norte-americana de MATHEWSON ; FONT (1974).

O método de trabalho aborda aspectos inerentes às várias áreas da geociência ligadas ao mapeamento geotécnico, tais como: geomorfologia, pedologia, geofísica, prospecção, metereologia e hidrogeologia e o modelo metodológico proposto foi aplicado na zona urbana de Rio Claro/SP.

O planejamento visa prioridades de ordem econômica, social, de segurança, ambiental, etc., possibilitando ao poder público melhor decisão de escolha.

Para o autor, **os graus de planejamento** se caracterizam como: nacional, regional-federal, estadual, regional-estadual, municipal-territorial e urbano. No plano nacional, a tônica principal são os problemas sócio-econômicos, no planejamento urbano, os problemas físico-territoriais. Os regionais e estaduais devem prever um equilíbrio entre setores sociais, econômicos e físico-territoriais. O setor físico-territorial requer estudos e participação de técnicos multidisciplinares.

- **Metas e objetivos da Geologia do Planejamento Urbano:** Recomendar o melhor uso do solo urbano condizente com as condições geológicas dos terrenos e com a evolução natural dos processos geológicos.

Objetivos:

a) definir melhores áreas para diferentes tipos de construções urbanas;

b) testar e definir áreas para disposição de rejeitos sólidos e líquidos;

c) localizar as ocorrências minerais na área planejada;

d) determinar os potenciais hídricos, assim como formas seguras e racionais de suas explorações;

e) evidenciar áreas de riscos geológicos e propor como evitar danos sociais e econômicos à população; e

f) prever local onde a urbanização interferirá na evolução natural do terreno, procurando minimizar tais conseqüências.

É apresentada, na metodologia, a abordagem dos problemas geológicos no planejamento urbano, estabelecendo quatro categorias de estudos:

1- Estudos Geográficos e Geológicos

a) Cadastramento de dados: Mapa de Documentação - Levantamento de dados disponíveis da área a ser pesquisada;

b) Mapa Topográfico: Restituição fotográfica, em escala 1:10.000 e eqüidistância de 5 m para as curvas de nível;

c) Carta de Declividade: Mostra as áreas com diferentes porcentagens de inclinação dos terrenos.

2- Estudos Fisiográficos

a) Mapa de formas de relevo;

b) Mapa de vegetação.

3) Estudos Geológicos

Os estudos geológicos para planejamento de áreas urbanas são necessários para a confecção dos mapas de substrato geológico e estrutural (Mapa Geológico) e das coberturas inconsolidados de superfície (Mapa de Solos).

4) Estudos Geotécnicos e Hidrogeológicos

Tem como objetivo as investigações das propriedades geotécnicas dos terrenos da área planejada visando o zoneamento que definirá as diferentes aptidões para a ocupação urbana. Os trabalhos de investigação conduzem à elaboração de mapas que mostram a adequabilidade dos terrenos para usos específicos do solo urbano ou indicam áreas com potenciais riscos geológicos. Empregam quatro níveis de adequação, adequado, semi-adequado, pouco adequado e inadequado. Conforme a utilização do terreno pode ser apresentado mapas de:

- adequabilidade a fundações;
- adequabilidade a instalações viárias;
- adequabilidade a instalações subterrâneas;
- adequabilidade à disposição de rejeitos (sólidos e líquidos);
- determinação das áreas de extração de recursos minerais;
- determinação de áreas com potencial de riscos geológicos.

Nesta proposta, o Mapa de Planejamento tem como objetivo apresentar uma síntese dos estudos geológico-geotécnicos para orientar a ocupação urbana. Podem ser diferenciados os seguintes setores: residencial, industrial, comercial, institucional e de circulação, áreas proibidas à ocupação (terrenos com riscos geológicos).

A metodologia apresentada é importante para o planejamento urbano na ocupação do meio físico, que deveria ser utilizado em todos os municípios brasileiros. Em vista a grande quantidade de parâmetros a ser considerada no estudo, torna-se onerosa à execução da proposta completa.

2.7.5. Metodologia da EESC-USP

Esta metodologia tem como base os trabalhos elaborados por ZUQUETTE (1987) e ZUQUETTE et al. (1997), atualizada por ZUQUETTE ; GANDOLFI (2004) , foi proposta após uma análise crítica das metodologias de mapeamento geotécnico utilizadas em vários países e se propõe atender à condição sócio-econômica brasileira, tendo como objetivos básicos é produzir, a partir da avaliação de atributos do meio físico; documentos que auxiliem a implantação de formas de ocupação, sem que o meio físico sofra conseqüências desastrosas. Propõe também a utilização de SIG's (Sistema de Informação Geográfica) na obtenção de mapas e cartas derivadas.

Os atributos são as qualidades pertinentes aos componentes do meio físico e que são utilizadas para caracterizá-lo e podem ser obtidos através de:

- observações qualitativas: em superfície ou em subsuperfície, podendo ser semânticas ou pragmáticas;
- observações qualitativas: obtidas por análise de campo, em sondagens e em ensaios laboratoriais;
- amostragens de campo: deve-se observar compatibilidade das características qualitativamente, distância, homogeneidade, objetividade, escala, etc.
- áreas chaves: representam melhor e de maneira mais completa as variações da área menor.

Tipos de documentos:

I - Documentos Fundamentais Básicos: São documentos que registram as características dos componentes do meio físico, biológico e do meio antrópico (sócio-econômico) por meio da variação dos atributos.

A obtenção dos atributos e a execução dos documentos podem ser feitas por diferentes procedimentos e métodos.

Exemplo de documentos produzidos:

- Mapa de Documentação;
- Carta de Declividade;
- Mapa de *Landforms*;
- Mapa de Bacia Hidrográfica;
- Mapa de Substrato Rochoso;
- Mapa de Materiais Inconsolidados;
- Mapa de Profundidade do nível da água;
- Mapa Climático.

II - Documentos Fundamentais de Sínteses: São documentos elaborados no sentido de sintetizar as informações de uma região sem, no entanto, elaborar análises para fins específicos.

Devem representar as informações em um único documento (proceder a seleção dos atributos), sendo escalas pequenas as mais indicadas (1:100.000).

Exemplo de documentos produzidos:

- Carta de zoneamento geotécnico geral (CZGG)
- Mapa das condições geológico-geotécnicas (MCGG);
- Carta de restrições.

III - Cartas Derivadas e Interpretativas: São documentos cartográficos elaborados para uma condição pré-definida e devem refletir sempre o

resultado de uma análise, considerando as características de cada divisão básica do meio global em questão. Cada unidade definida e delimitada nestes documentos deve refletir uma classificação quanto ao comportamento natural do meio frente a uma determinada situação de ocupação ou uso.

Exemplo de documentos produzidos:

- Carta para fundações;
- Carta de potencial à erosão;
- Carta para escavabilidade;
- Carta de potencial agrícola;
- Carta para disposição de rejeitos e resíduos;
- Carta de potencial para estocagem subterrânea.
- Carta para irrigação;
- Carta de potencial a corrosividade;
- Carta para estradas.
- Carta de potencial de escoamento superficial e infiltração;
- Carta de potencial para minerais e materiais de construção civil;
- Carta para exploração das águas;

IV - Cartas Analíticas Básicas: Elaboradas a partir de um conjunto de informações sobre os componentes básicos de um meio considerado, normalmente relacionado à avaliação da probabilidade (absoluta ou relativa) de ocorrência de um ou mais processos naturais.

Exemplo de documentos produzidos:

- Carta de potencial de erosão
- Carta da probabilidade de ocorrências de eventos naturais;
- Carta (*Hazard Area*) das áreas sujeitas aos eventos perigosos "*hazards*";
- Carta de áreas degradadas;
- Carta de passivos ambientais (meio físico).

V - Cartas de Prognóstico de Riscos, de Problemas e de limitações: São elaboradas considerando a interação de características dos constituintes do meio ambiente.

Exemplo de documentos produzidos:

- Carta com as áreas que apresentam restrições para um tipo de ocupação;
- Carta de vulnerabilidade das águas;
- Carta de riscos específicos.

VI - Cartas de Prognósticos: Tem como objetivo auxiliar a ocupação e controle dos riscos.

Exemplo de documento produzido:

- Carta que retrata os procedimentos construtivos e cuidados para implementar a ocupação.

VII - Cartas de Viabilidade (potencial) para os Usuários: São elaboradas com base em todas as informações do meio ambiente, considerando as relações entre os diferentes vetores de ocupação.

Exemplo de documentos produzidos:

- Carta de viabilidade para portos, aeroportos, reservatórios e captação de água;
- Carta de viabilidade par construções residenciais;
- Carta de viabilidade para construções industriais;
- Carta viabilidade para agropecuária e hortifrutigranjeiros;
- Carta viabilidade para aterros sanitários.

VIII - Cartas de Orientações Conclusivas: São elaboradas para tomadas de decisões administrativas ou econômicas.

Exemplo de documentos produzidos:

- Cartas de orientação à ocupação.

Para execução das cartas interpretativas e derivadas no processo de mapeamento geotécnico de uma determinada área a ser ocupada, devem ser levantadas atributos do meio físico apresentados na Figura 2.29.

TIPO	ATRIBUTOS
SUBSTRATO ROCHOSO	**Tipo rochoso:** - litologia (s); - mineralogia; - espessura; - textura; - extensão horizontal; - resistência mecânica. **Estruturas:** - primárias; - secundárias; - fraturas: persistência - densidade - abertura. **Processos:** - grau de intemperismo; - movimento de massa; - erosão; - deposição.
MATERIAL INCONSOLIDADO	**Origem:** - rocha de origem; - mineralogia; - espessura; - extensão horizontal; - textura: seleção - granulomentria - porosidade. **Estruturas:** - da rocha; - do intemperismo; - matacões; - níveis de lateritas; - fraturas; - níveis de seixos. **Processos:** - erosão; - deposição; - grau de intemperismo, - movimento de massa.. **Índices físicos** **Características químicas**
ÁGUAS	**Superficiais:** - escoamento superficial; - infiltração; - densidade de canais; - área de concentração. **Subterrâneas** - áreas de recarga; - tipos de aqüíferos; - profundidade / espessura do aqüífero; - poços existentes; - fontes naturais.
GEOMORFOLOGIA	**Morfometria** - declividade; - amplitude de relevo. **Morfologia** - *landform*; - formas das encostas; - comprimento de encostas.

Figura 2.29. Principais atributos que devem ser levantados durante o processo de Mapeamento Geotécnico, da proposta metodológica de ZUQUETTE (1997).

ZUQUETTE : NAKAZAWA (1998) citam outras metodologias e sistemáticas nacionais e estrangeiras, utilizadas para o mapeamento geotécnico na análise dos terrenos na ocupação do meio físico e sua adequabilidade para obras de engenharia, dentre as quais as mais utilizadas são:

- Sistemática de MATHEWSON ; FONTE (1974) - EUA;
- Sistemática da antiga Tchecoslováquia - MATULA (1976);
- Metodologia do IG /UFRJ - (BARROSO et al., 1986 e 1993);
- Metodologia da UFRGS - DIAS (1995);
- Metodologia do IG/USP - YOSHINAGA et al. (1995) e PIRES NETO ; YOSHINAGA (1995).

- Trabalhos desenvolvidos na Unesp/Rio Claro, com base na metodologia da PUCE, pressupostos apresentados por CERRI (1990) e ZAINE (2000).

Dentre as propostas metodológicas de cunho ambiental, que podem ser aplicadas para elaboração zoneamento geoambiental, além da EESC-USP, com a utilização de cartas de susceptibilidade à erosão de uma determinada região, pode-se citar as de CENDRERO (1975), SOBREIRA (1995), (PRANDINI et al., 1993), DINIZ et al. (1999) e GRECHI (1998).

2.7.6. Metodologia Empregada por CENDRERO (1975)

A proposta de CENDRERO (1975) tem como fundamento principal o mapeamento geológico-ambiental, definindo sistemas que possibilitam comparar a capacidade de suporte de cada unidade e considerar o uso presente da terra e da água. Cada sistema é individualizado com suas respectivas unidades baseadas em processos ativos, em *landforms*,

nas propriedades físicas dos materiais rochosos, nos depósitos superficiais, nas assembléias biológicas e na influência antrópica. O mapa geológico-ambiental produzido pode ser utilizado no planejamento, principalmente na definição das unidades para disposição de lixo, preservação ambiental e áreas adequadas à construção e parques.

2.7.7. Metodologia de SOBREIRA (1995)

Na metodologia de SOBREIRA (1995), são considerados os aspectos geológicos de maneira mais detalhada para elaboração de uma cartografia de caráter sintético e busca quantificar algumas propriedades, as características dos terrenos e os processos geodinâmicos existentes.

A proposta metodológica apresentada por este autor está subdividida da seguinte forma:

Primeira Etapa

- Carta Litológica: utilização de trabalhos preexistentes e trabalho de campo;
- Caracterização Geomorfológica: análise de rede de drenagem, dos relevos e demais aspectos geomorgológicos, com conseqüente compartimentação em unidades morfológicas (carta geomorfológica).

Segunda Etapa

- Recursos de Ocupação do Espaço: elaboração de carta de aptidão à construção e carta geotécnica.
- Recursos Hídricos: restringe-se às águas subterrâneas, à partir de furos de

captação, apresentando uma caracterização hidrológica, além de análises químicas;

- Recursos Minerais: dados de explotação/extração mineral;
- Recursos de interesse científico, cultural e paisagístico: locais que, por causa de sua raridade ou singularidade, apresentam condições únicas de observação e apreciação, podendo ser classificados como patrimônio natural.

Terceira Etapa

- Caracterização dos perigos e das susceptibilidades aos efeitos das catástrofes naturais;
- Movimentos em vertentes;
- Erosão Hídrica: caracterização da erosão potencial através da elaboração da carta de susceptibilidade à erosão (cruzamento das cartas de litologia, declividade, densidade de drenagem e uso atual do solo); e
- Sismos: dados do catálogo sísmico nacional e das cartas de perigo sísmico existentes, com posterior análise de situações de risco.

A carta geoambiental de caráter sintético, as unidades geoambientais obtidas nesta carta são cruzadas com as atividades instaladas e as possíveis, na forma de uma matriz, podendo-se desta forma avaliar a capacidade de suporte individual de cada unidade, tanto em termos de adeqüabilidade quanto dos impactos provocados.

2.7.8. Metodologia do IPT - (PRANDINI et al., 1993) e DINIZ et al. (1999)

Para PRANDINI et al. (1993), as Cartas Geotécnicas, como expressão prática do conhecimento geológico aplicado ao enfrentamento dos problemas postos pelo uso e ocupação do solo, têm como objetivo:

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

Geralmente são efetuados estudos de:

1 - Caracterização do meio físico: geologia, geomorfologia, dinâmica dos sedimentos nos canais, cobertura vegetal e episódios pluviais;

2 - Uso e ocupação da área (urbana, mineração e unidades de conservação ambiental);

3 - Cartografia geotécnica contendo (áreas de risco ao escorregamento e aptidões ao uso do solo).

Segundo ZUQUETTE ; GANDOLFI, (2004), são produtos cartográficos produzidos pelo IPT:

- **Cartas geotécnicas propriamente dita** – expõem limitações e potencialidades dos terrenos e definem diretrizes de ocupação para um ou mais usos do solo;
- **Cartas de risco** – destacam a avaliação de danos potencial à ocupação, diante de uma ou mais características ou fenômenos naturais ou induzidos por essa mesma ocupação;

- **Cartas de suscetibilidade** – têm gradações de probabilidade de desencadeamento de um ou mais fenômenos naturais ou induzidos pela ocupação;
- **Cartas de atributos ou de parâmetros** – limitam-se à distribuição espacial de uma ou mais características (geotécnicas/geológicas/etc.) do terreno.

As cartas geotécnicas executadas por esta metodologia dão subsídios necessários para a concepção e implantação de projetos de ocupação do solo em áreas que apresentam problemas de escorregamentos, erosões, etc. possibilitando o poder público utilizá-las no planejamento do crescimento urbano e das obras estruturais, diminuindo os eventos que causam prejuízos materiais e humanos e danos ao meio ambiente.

A metodologia do IPT também foi utilizada por DINIZ et al. (1999), com o objetivo principal estabelecer um zoneamento do meio físico visando identificar áreas potenciais de riscos ao escorregamento em região urbanizada e a ocupação daquelas destinadas à expansão do município, com o desenvolvimento de base de dados geoambientais.

O produto final visa sua aplicação em inventário cartográfico, em SIG, que pode ser atualizado constantemente, constituindo importante instrumento para subsidiar as ações de planejamento e uso do solo, tais como: seleção de áreas para implantação de empreendimentos industriais ou residenciais, planos diretores, planos de defesa civil, estudos de impacto ambiental, planejamento e fiscalização de obras, elaboração de cartas de riscos, susceptibilidades e aptidões e seleção de áreas para disposição de resíduos sólidos.

2.7.9. Metodologia de GRECHI (1998)

A partir da proposta da EESC/USP (ZUQUETTE, 1987, 1993 e 1997), GRECHI (1998), cruzando carta e mapas geotécnicos em ambiente IDRISI e reclassificando as

informações de pedologia, de geologia, de declividade e de densidade hidrográfica, com a definição grupos considerados de comportamento semelhante frente ao processo erosivo, para cada parâmetro analisado, desenvolveu carta de susceptibilidade à erosão por escoamento concentrado da Região de Piracicaba-SP.

Foram hierarquizadas as informações (atributos) de cada documento cartográfico produzido para fins de elaboração da carta de susceptibilidade à erosão, apresentada em três níveis: susceptibilidade baixa, moderada e alta/muito alta. Os fatores (mapas) foram combinados através da função de análise multicriterial no programa *Idrisi*, atribuindo pesos aos fatores por meio de técnica de ordenação hierárquica adaptada ao SIG por EASTMAN (1997).

Cada peso foi obtido após a construção de uma matriz, comparando-se a importância relativa de cada atributo, frente ao processo em análise. Esse procedimento é realizado dentro do ambiente SIG e processado no *Idrisi*.

LOPES (2000) seguiu a mesma metodologia para produzir a Carta de Susceptibilidade à Erosão das bacias do Rio Passa Cinco e do Rio da Cabeça - SP, utilizando as informações disponíveis nas cartas de Substrato Rochoso, de Declividade, de Pedologia, CEMPAS (Carta de Extensão do Menor Percurso da Água Superficial) e Materiais Inconsolidados. Cada carta foi avaliada individualmente, visando uma avaliação mais específica do atributo responsável pela sua potencialidade frente ao processo erosivo. A carta resultante considera os processos erosivos quanto à susceptibilidade à erosão por escoamento concentrado.

Após a reclassificação de cada mapa e/ou carta, aos quais foram atribuídos valores que variam de menos a mais potencialmente susceptível aos processos erosivos. A obtenção da Carta de Susceptibilidade à Erosão, foi através do cruzamento no Módulo de Avaliação Multicriterial (MCE) do sistema *Idrisi*. Para atribuição prévia dos pesos a cada fator e a

análise de cada parâmetro, foram considerados aspectos teóricos e o conhecimento prévio da área, na tentativa de minimizar a subjetividade da análise e obtenção da carta final de susceptibilidade à erosão.

2.8. TÉCNICA DE AVALIAÇÃO DE TERRENO EM MAPEAMENTO GEOTÉCNICO.

Esta técnica de levantamento geotécnico é mais ágil e apresenta menores custos na etapa de caracterização preliminar das unidades do meio físico, possibilitando trabalhos de campo menos onerosos e melhor orientados, além de amostragens orientadas e representativas das condições naturais.

Nesta busca por técnicas mais ágeis e de menor custo, a geotecnia encontrou na geomorfologia uma ferramenta de grande utilidade por proporcionar um zoneamento do terreno em termos da homogeneidade das feições do relevo (*landforms*) e do significado que estas feições apresentam em termos de materiais (rochosos e inconsolidados) a eles associados (LOLLO ; ZUQUETTE, 1997).

A técnica de avaliação do terreno baseia-se na possibilidade de divisão da área em estudo em unidades cada vez menores (em função da escala e da finalidade pretendidas) a partir do uso de fotografias aéreas (preferivelmente) e de trabalhos de campo, tendo-se como critério de zoneamento a uniformidade destas parcelas do terreno em termos das feições de relevo (*landforms*) encontradas.

Segundo LOLLO (1996), a avaliação do terreno pode ocorrer por meio de duas abordagens:

● **Enfoque Fisiográfico ou de paisagem:** possibilita o zoneamento de áreas homogêneas por meio da delimitação de diferentes feições de relevo com base no conjunto de dados obtidos pela fotointerpretação e por trabalhos de campo;

● **Enfoque Paramétrico:** tem o mesmo objetivo que o anterior, ou seja, delimitar áreas com distintas feições de relevo; entretanto, nesse caso, baseia-se na medida de parâmetros geométricos dos *landforms*, tais como: declividade, amplitude, extensão e parâmetros característicos da rede de drenagem, como padrão e densidade de drenagem.

Em função dos *landforms*, conforme a finalidade pretendida e a escala de um trabalho, pode-se subdividir o terreno em três níveis hierárquicos, a saber:

1. **Sistema de Terreno:** associação de feições de relevo com expressão espacial determinada e que representa condições similares de processos evolutivos e de materiais rochosos associados;
2. **Unidade de Terreno**: feição individual do relevo diferenciada das demais, que indica um determinado subconjunto de processos do sistema de terreno no qual se situa e essas diferenças devem ter reflexo direto nos materiais inconsolidados; e,
3. **Elemento de Terreno**: parte de uma feição individual do relevo distinta das demais por variações observadas na inclinação ou forma da vertente, posição ou forma topográfica e que deve influir diretamente na espessura e perfil de alteração encontrado para os materiais inconsolidados.

O sistema de terreno compreende uma associação de feições de relevo, um relevo composto por colinas e vales, por exemplo; a unidade de terreno corresponde a uma forma individual que compõe o sistema (uma colina, por exemplo) e o elemento de terreno é uma porção que compõe a unidade (como o topo da colina, por exemplo). A Figura 2.30 mostra os

níveis hierárquicos que são encontrados na subdivisão de uma área de estudo em unidades cada vez menores, em função da escala e finalidade.

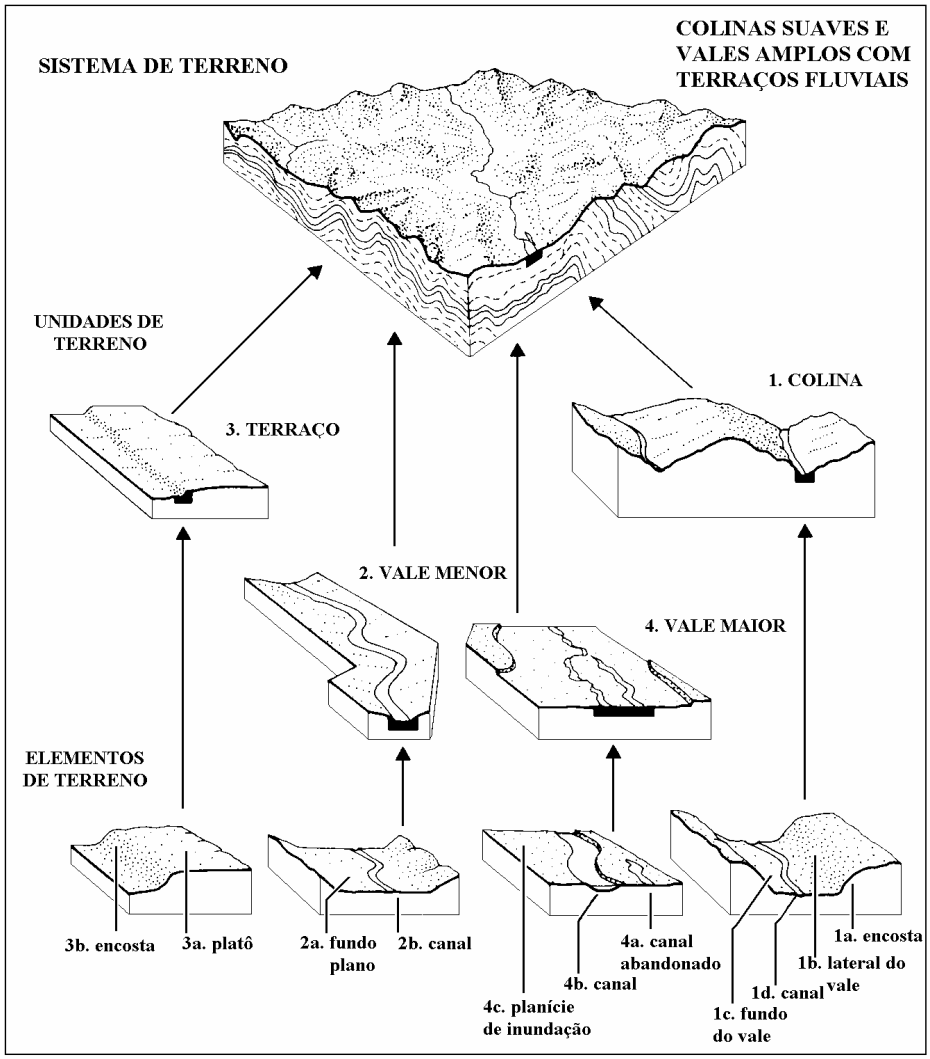


Figura 2.30. Aplicação da técnica de avaliação do terreno, modificado de COOKE ; DOORKAMP (1990) por (LOLLO ; ZUQUETTE, 1997)

LOLLO (1996) apresenta a sistematização da proposta nas seguintes etapas técnicas:

a) levantamento de informações e materiais:

• material fotográfico e cartográfico, informações geotécnicas anteriores, obtenção ou elaboração da base cartográfica.

b) avaliação do terreno

• montagem do fotomosaico;

• delimitação e interpretação de sistemas de terreno:

- interpretação do fotomosaico;

- fotointerpretação preliminar;

- uso de mapas topográficos;

- generalizações;

- fotointerpretação final;

- elaboração do mapa de sistemas de terreno.

• **delimitação e Interpretação de Unidades de Terreno**

- fotoanálise preliminar;

- trabalho de campo preliminar;

- generalizações;

- fotoanálise final;

- trabalho de campo final;

- elaboração do mapa de unidades de terreno.

• **delimitação e Interpretação de Elementos de Terreno**

- fotodedução preliminar;

- trabalho de campo preliminar;

- generalizações;

- fotodedução final;

- trabalho de campo final;

- elaboração do mapa de elementos de terreno.

c) uso de mapas anteriores

- verificação e análise.

d) caracterização geotécnica das unidades

- amostragem e ensaios.

e) elaboração de mapas e outros documentos relacionados.

2.9. SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA (SIG).

SIG é definido como um sistema de hardware, software e procedimentos, projetada pa'ra apoiar a captura, gerenciamento, manipulação, análise e apresentação de dados, referenciados espacialmente, para solução de problemas complexos de planejamento e gerenciamento (ANTENUCCI et al., 1991). É um sistema de informação que trabalha com dados referenciados em coordenadas geográficas, facilitando a administração da informação de um espaço geográfico.

Para FLORENZANO (2002), o SIG é a ferramenta computacional do Geoprocessamento, disciplina que utiliza técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento da informação geográfica.

DIAS (1993) define que os sistemas de informação geográfica (SIG) ou sistemas de geoprocessamento são as ferramentas computacionais para o geoprocessamento que permitem realizar análises complexas, ao integrar dados de diferentes fontes e ao criar bancos de dados georeferenciados.

Para CÂMARA (1996), o termo sistema de informação geográfica (SIG) é aplicado para sistemas que realizam o tratamento computacional de dados geográficos. É

devido à sua ampla gama de aplicações, que inclui temas como agricultura, floresta, cartografia, cadastro urbano e redes de concessionárias (água, energia e telefonia), há pelo menos três grandes maneiras de utilizar um SIG:

- como ferramenta para produção de mapas;
- como suporte para análise espacial de fenômenos;
- como um banco de dados geográficos, com funções de armazenamento e recuperação de informações espaciais.

Para o mesmo autor, o aspecto mais fundamental dos dados tratados em um SIG é a natureza dual da informação: um dado geográfico possui uma localização geográfica (espressa como coordenadas em um mapa) e atributos descritivos (que podem ser representados num banco de dados convencional). Outro aspecto muito importante é que os dados geográficos não existem sozinhos no espaço: tão importante quanto localizá-los, é descobrir e representar as relações entre os diversos dados. Um SIG tem os seguintes componentes:

- interface com usuário;
- entrada e integração de dados;
- funções de processamento;
- visualização e plotagem; e
- armazenamento e recuperação de dados.

A Figura 2.31 indica o relacionamento entre estes componentes.

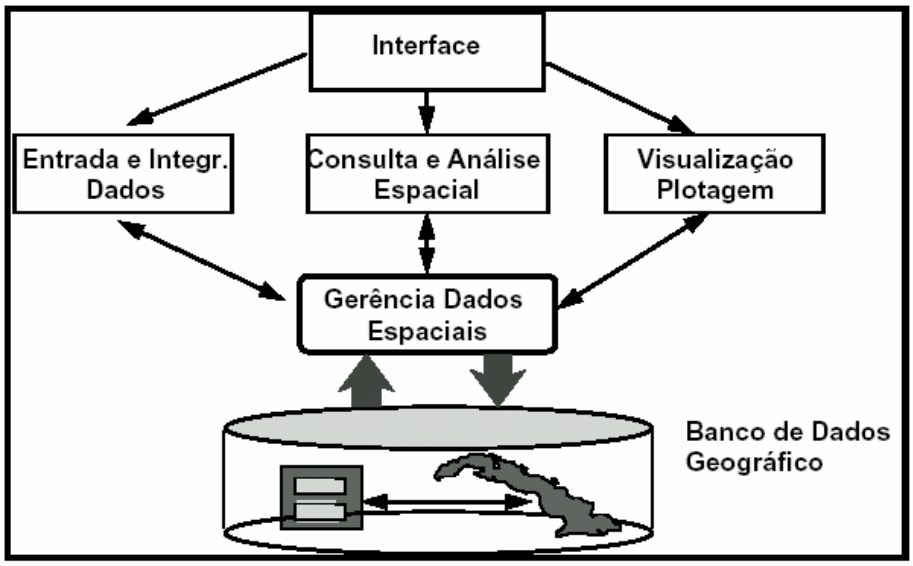


Figura 2.31. Estrutura geral de sistemas de informação geográfica, (CÂMARA, 1996).

Para EASTMAN (1997), um SIG apresenta um conjunto essencial de componentes, conforme Figura 2.32 e descrito a seguir:

- **banco de dados espaciais e de atributos**: um banco de dados espaciais descreve a geografia (divisa e posição) da superfície terrestre e um banco de dados de atributos descreve as características ou qualidades destas feições. Em alguns sistemas, os bancos de dados espaciais e de atributos são rigidamente distinguidos um do outro, enquanto que em outros eles estão fortemente integrados;
- **sistema de visualização cartográfica:** é um sistema para a visualização e composição gráfica de elementos da base de dados selecionada, podendo ser apresentado em tela ou exportado para arquivos padrão e dispositivos de saída;
- **sistema de digitalização de mapas:** através deste sistema, é possível se converter informações de mapas convencionais (em papel) para forma digital, podendo posteriormente criar banco de dados;
- **sistema de manipulação e análise dos dados de atributos**: um SIG não incorpora apenas um banco de dados tradicional, mas também uma variedade

de opções de manipulação dos componentes espaciais e dos atributos de dados geográficos armazenados;

- **sistema de análise geográfica:** é um sistema que apresenta a capacidade de analisar dados baseados em características espaciais reais;
- **sistema de processamento de imagens:** este sistema permite converter uma imagem de sensoriamento remoto bruta (de LANDSAT ou SPOT) em mapa de dados compatível com vários procedimentos de classificação.
- **sistema de análise estatística:** permite estudo estatístico tradicional assim como algumas rotinas especializadas para a análise de dados espaciais.

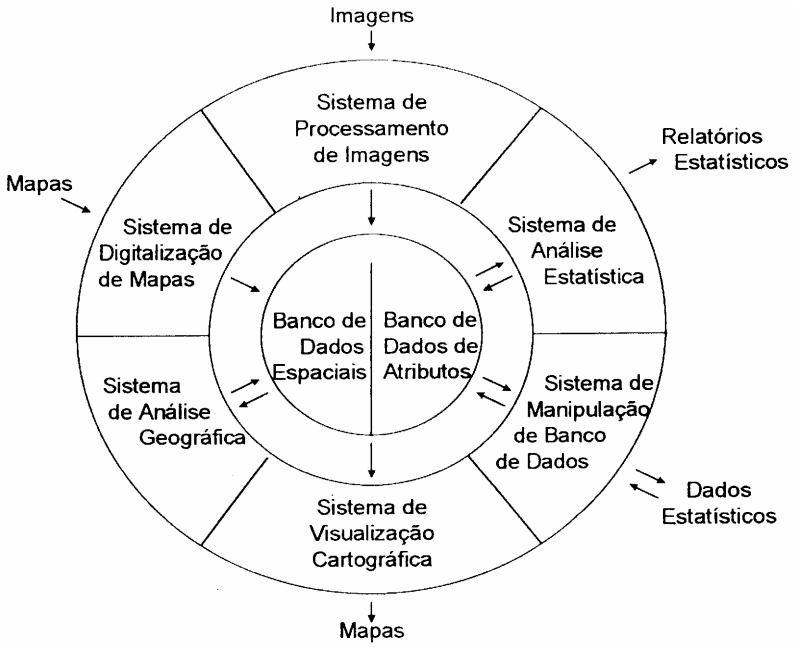


Figura 2.32. Componentes de um sistema de informação geográfica, segundo EASTMAN (1997)

Um SIG possui funções que são utilizadas para ponderação de fatores nos cruzamentos de informações e mapas, permitindo a geração de cenários otimistas ou pessimistas, em análises de riscos, de susceptibilidade e de potencialidades. A representação das informações referenciadas de um sistema geográfico podem ser nas formas *vector e raster*. Na representação *raster*, o espaço de interesse é dividido em células, às quais se associam valores de atributos. Na representação vetorial, substituem-se células por pontos,

exceto pelo fato de que eles não cobrem uma área. Linhas e regiões podem ser definidas a partir de um conjunto de pontos e de uma seqüência de conectividade (CELESTINO ; DINIZ, 1998).

Para MEDEIROS ; CAMARA (2003), a utilização de um SIG possui quatro campos de atuação ligados aos Estudos Ambientais, são eles:

- **Mapeamento Temático**: tem como objetivos a caracterização e o entendimento da organização espacial, como ponto de partida para o estabelecimento das bases para ações e estudos futuros, como os levantamentos temáticos de geologia, de geomorfologia, de pedologia e de cobertura vegetal;
- **Diagnóstico Ambiental:** tem como objetivo, estabelecer estudos particulares sobre regiões de interesse, basicamente voltados a projetos de ocupação ou preservação;
- **Avaliação de Impacto Ambiental:** envolve o monitoramento dos resultados da intervenção humana sobre um determinado ambiente ou região;
- **Ordenamento Territorial**: busca normalizar a ocupação do espaço, procurando racionalizar a gestão do território, levando em consideração o conceito de desenvolvimento sustentado. (Zoneamentos Ecológico-Econômicos, Zoneamentos Geoambientais).

Conforme (CELESTINO ; DINIZ, 1998), as principais aplicações do SIG no campo da Geologia de Engenharias são:

- mapeamentos temáticos;
- cartografia geotécnica;
- modelagem numérica de terrenos para análises de riscos;
- avaliação geotécnica; e

- gerenciamento ambiental.

Os principais produtos de cartas de Geologia de Engenharia com sistemas georreferenciados de informações são:

- cartografia digital;
- modelagem digital de terrenos;
- automação de cartas de declividade;
- análise de processos do meio físico;
- gerenciamento de banco de dados geológico-geotécnicos por unidades de terreno, município, bacia;
- avaliação geotécnica para finalidades específicas;
- integração de temas para zoneamento geral ou cartas de risco.

Para os mesmos autores, as principais vantagens no uso de SIG na elaboração de cartas de Geologia de Engenharia são:

- possibilidade de variação nas escalas de trabalho e na recuperação;
- manipulação de um maior volume de atributos do meio físico, permitindo aquisição, atualização e recuperação em tempo real;
- simulação interativa da dinâmica de uso do solo e do meio físico, ao longo do tempo.

Os principais programas e tecnologia para SIG existentes no mercado e mais utilizados no Brasil, bem como suas principais características são:

- IDRISI – Desenvolvido pela Clark University, Massashussets (EUA), trabalha na forma raster de representação e permite a migração direta dos dados tanto para ERDAS como para ARC-INFO.
- ARC-INFO – Desenvolvido pela ERSI (Environmental System Research Institute – EUA), 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 – Desenvolvido por *Leica Geosystems Geospatial Imaging* empresa Suiça **,** apresenta como ponto fundamental o tratamento digital de imagens, além de permitir integração com os demais dados do sistema. Tem sido utilizado para planejamento de infra-estrutura, em manejo de recursos naturais, de redes de telefones, em operações militares, em estudo de expansão urbana, em planos de emergências em catástrofes naturais e desenvolvimento de práticas de defesa nacional e global.
- GRASS – *Goegraphical 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 de realizar 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.

CAPÍTULO 3

MATERIAIS E MÉTODOS

Para alcançar os objetivos propostos neste trabalho adotou-se como base, a metodologia desenvolvida pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC) e apresentada na proposta de cartografia geotécnica de ZUQUETTE (1987), de ZUQUETTE ; GANDOLFI (1990), de ZUQUETTE (1993) e de ZUQUETTE et al. (1997), bem como, em diversos trabalhos de mapeamento geotécnico utilizando Sistema de Informações Geográficas (SIG), com alguns dos programas, procedimentos e técnicas empregadas, como os descritos por FERREIRA (1996), GRECCHI (1998), LOPES (2000) e SILVEIRA (2002). Os procedimentos adotados são demonstrados no fluxograma da Figura 3.1.

O trabalho compreendeu atividades de escritório (levantamento bibliográfico e de dados disponíveis), de campo e laboratoriais, que estão descritos a seguir.

3.1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A pesquisa bibliográfica objetivou coletar informações referentes ao tema central da tese e abordado ao longo do trabalho, além de relacionar e agrupar todo o acervo existente de mapas, fotografias aéreas e imagens de satélites referentes à área de estudo.

De posse desse acervo de informações, tratou-se de identificar as cartas topográficas que contivessem a bacia hidrográfica a ser pesquisada, para posterior digitalização.

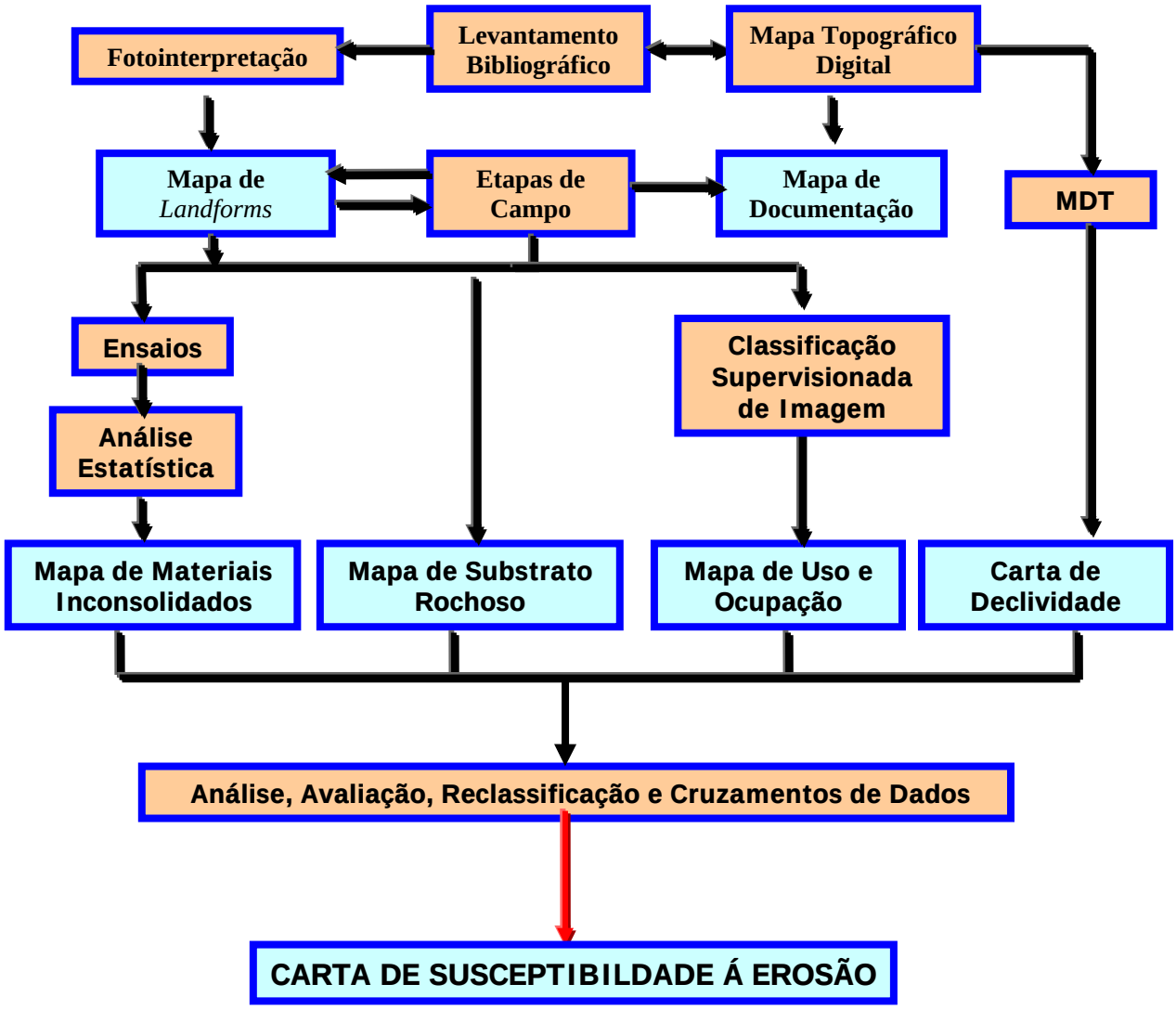


Figura 3.1. Procedimento metodológico empregado no estudo.

A fotointerpretação preliminar em bases fotográficas aéreas datadas de 1966 e 1967, em escala 1:60.000, executadas pela LASA - Engenharia e Prospecções S.A, teve por objetivo delimitar as unidades de terreno (*landforms*), realizar os mapeamentos, geológico,

assim como, de materiais inconsolidados e definir os locais mais adequados para amostragem e identificar áreas com possíveis ocorrências de feições erosivas.

3.2. ETAPAS DE CAMPO

Após a digitalização do mapa base e da fotointerpretação, sucederam-se às etapas de campo, onde se procurou identificar as variações do contexto geomorfológico, do substrato rochoso e dos materiais inconsolidados, tornando-se possível identificar e delimitar, 28 unidades de terreno *(landforms)*.

Objetivou-se descrever, principalmente, possíveis contatos litológicos e grau de alteração apresentado pelas diferentes litologias. Em materiais inconsolidados, foram levantados os perfis de alteração, considerando a coloração, textura e estimativa visual da espessura do pacote de material inconsolidado; além de se avaliar as assinaturas espectrais detectadas por sensores remotos e com isso estabelecer uma associação com os tipos de uso e ocupação do solo.

Em pontos estabelecidos para coleta de amostra representativa do tipo de material inconsolidado ou do *landform* associado, como também, em locais com feições erosivas significativas, foram coletadas amostras indeformadas em anel (duas amostras/ponto), como se vê na Figura 3.2, e amostras deformadas para a realização de ensaios de laboratório.

Nas três etapas de campo, somaram 60 dias e foram percorridos 6.126 km, possibilitando a descrição de 172 pontos, a coleta de 81 amostras deformadas e 162 indeformadas.

A Figura 3.3 mostra o modelo de ficha utilizado em campo para descrição dos pontos amostrados.

Figura 3.2. Coleta de amostra indeformada em anel.

3.3. ENSAIOS DE LABORATÓRIO

Foram submetidas a ensaios laboratoriais, 81 amostras deformadas e 162 indeformadas, para determinação da: granulometria conjunta – Norma NBR 7181/84; Absorção de azul de metileno – PEJON (1992); da Massa específica dos sólidos (**ρs**) – Norma ABNT 6508/1984; da Massa específica seca de campo (**ρd**) – Método do anel (ZUQUETTE, 1987); dos índices de erodibilidade do solo (**E**), da Absorção d' água (**S**) e da Perda de massa por imersão (NOGAMI ; VILLIBOR , 1979).

3.4. ANÁLISE, AVALIAÇÃO, CRUZAMENTO DOS DADOS E DOCUMENTOS CARTOGRÁFICOS PRODUZIDOS

Nesta fase foram tratados os dados e informações geradas nas etapas anteriores, possibilitando a confecção de documentos cartográficos, como: Mapa de Documentação, Carta de Declividade, Mapa de *Landforms*, Mapa de Substrato Rochoso, Mapa de Materiais Inconsolidados e Carta de Susceptibilidade à Erosão.

Ponto Nº				
Coord. N :	**Localização :**	**Faixa de vôo :**	**Sub-bacia :**	**Observações :**
Coord. S :	**Situação :**	**Foto aérea :**	**Tipo :**	
Altitude :	**Observações :**	**Pto de referência :**	**Posição :**	

SUBSTRATO ROCHOSO

Litologia	**Denominação**	**Tipo Geotécn.**	**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**	**Surgência de água**
Ativo :	**Incipiente :**	**Comprimento:**		**Sol:**	**Sim:**
Estabilizado :	**Médio :**	**Largura:**		**Nublado:**	**Não:**
	Avançado :	**Profund.:**		**Chuva:**	**Outros:**

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	

Modificado de SILVEIRA, (2002).

Figura 3.3. Modelo de ficha de campo utilizado no trabalho.

No tratamento de dados e confecção de documentos, foram utilizados os seguintes *Softwares*:

- *AutoCad ® R14* – Digitalização dos mapas e informações de campo;

- *Surfer ® 7.0* – Modelagem digital de terreno (MDT);

- *Statistica ® 5.5* – Análises estatísticas das amostras de solo coletadas com dados

univariados e multivariados;

- *Envi ® 3.2* – Processamento Digital de Imagens para elaboração do Mapa de Uso e Ocupação, e
- *Idrisi ® 3.2 e Idrisi®kilimajaro 12.02*– Cálculo de declividade e cruzamentos de informações de mapas para gerar o Carta de susceptibilidade à Erosão.

A seguir, apresenta-se breve comentário, visando elucidar os principais critérios empregados na produção de cada mapa ou carta.

Base Topográfica

Foram digitalizadas, em *Autocad ®R14*, em escala 1:100.000 e curvas de nível com eqüidistância de 40 metros, as seguintes folhas topográficas: SE.21-X-B-II- Rondonópolis; SE.21-X-B-III - Jurudorê; SE.21-X-B-V - Anhumas; SE.21-X-B-VI- Pedra Preta; SE.21-X-D-II – Córrego Cachoeira; SE.21-X-D-III – Itiquira, executados pelo Ministério do Exército - Diretoria de Serviços Geográficos. Tais documentos serviram como base para a elaboração do Mapa de Documentação, do modelo digital de terreno (MDT) e da Carta de Declividade.

Para a confecção da base cartográfica, seguiram-se os seguintes passos:

- escaneamento das cartas topográficas acima especificadas, em formato (.tiff);
- através do *Autocad®R14*, inserção ao programa cada carta em formato *RASTER IMAGEM* em arquivo distinto;
- Georeferrenciamento das cartas em coordenadas UTM;
- Digitalização das curvas de nível, pontos culminantes, estradas, rede de drenagem e demais informações de dentro da bacia estudada; e

● junção das seis folhas topográficas que cobrem a bacia estudada.

Mapa de Documentação (Anexo 1)

Documento auxiliar do mapeamento geotécnico que registra a localização de todas as informações pré-existentes ou produzidas na área de pesquisa, tais como, pontos de amostragens de solo e rocha, pontos descritos, rede de drenagem, vias de acesso, fazendas, cidades e vilarejos, parque ecológico e parque estadual, áreas de disposição de lixo, feições erosivas lineares, curvas de nível, aeroportos e principais acidentes geográficos.

Carta de Declividade (Anexo 2)

A Carta de Declividade foi gerada a partir do modelo digital de terreno (MDT), previamente criado no programa Surfer®*7.0*, utilizando o método de interpolação chamado de mínima curvatura. Para tanto, os dados digitais do mapa topográfico foram interpolados com o objetivo de se gerar curvas de nível intermediárias a eqüidistância de 40 metros do mapa original, consistindo basicamente, na delimitação de áreas que apresentam faixas de inclinação das vertentes dentro de uma mesma classe de declividade.

Após a digitalização e agrupamento das seis cartas topográficas digitalizadas que abrangem a bacia estudada no programa *AutoCad®R14*, procedeu a elaboração final através do programa *Idrisi ® 3.2,* seguindo os procedimentos abaixo:

- exportação do arquivo em formato (.dwg) do programa *AutoCad®R14* para o formato (.dxf);
- Conversão do arquivo em formato (.dxf), pelo programa de Conversão *DXF2XYZ 1.3,* para um arquivo de planilha no formato (.dat). Essa tabela

representa cada ponto digitalizado e sua coordenada *UTM*, X (longitude), Y (latitude) e Z (altitude);

- Utilizando o *software Surfer ® 7.0* para geração do modelo digital de terreno (MDT), para definição de modelo de interpolação que o programa pode executar: Inverso da Potência da Distância, *Krigagem*, Mínima Curvatura, Método Modificado de *Shepard*, Vizinho Natural, Vizinho mais Próximo, Regressão Polinomial, Função de Base Radial e Triangulação com Interpolação Linear;
- O método de mínima curvatura (espaçamento 30/30m), foi o modelo que mais apresentou semelhança com a base cartográfica da bacia estudada e por isso adotada para geração da Carta de Declividade no programa *Idrisi ® 3.2.*

O MDT gerado foi salvo em formato (.grd), em seguida, importado do *Surfer®7.0* no formato *ASCII*, extensão de entrada do arquivo no programa *Idrisi ® 3.2.*

A seguir são apresentadas as etapas para elaboração da Carta de Declividade no programa *Idrisi ® 3.2:*

Para importar arquivo do *Surfer ® 7.0*, formato (.grd) para (.rst) do *Idrisi*:

- *File/Import/Software Specific Formats/SRFIDRISI*

A geração do modelo topográfico foi da seguinte forma:

- *Analysis/Surface Analysis/Topographic Variables/SLOPE.*

Para geração da carta de declividade, em intervalo de classe dado em porcentagem, seguiram-se os comandos:

- *Analysis/ Database Query/RECLASS*

Para corrigir possíveis distorções na geração da Carta de Declividade, foi utilizado o módulo de filtragem digital (*digital filtering*) do *Idrisi ® 3.2,* filtragem digital (moda 3x3), com a finalidade de diminuir os resíduos e proporcionar melhor visualização da carta, através dos seguintes comandos:

- *Analysis/Context operator/Filter/Mode*

O produto final foi convertido do formato (.rst) para o formato (.bmp) por parte do *Idrisi®3.2,* permitindo que essa imagem fosse reconhecida pelo *AutoCad Map 2000*, e inserido como imagem *raster* no programa *AutoCad®R14* e editado como os demais produtos cartográficos da bacia do Ribeirão Ponte de Pedra.

Mapa de *Landforms* (Anexo 3)

O Mapa de *Landforms* (Unidades de Relevo) foi produzido obedecendo a Técnica de Avaliação de Terreno apresentada por LOLLO (1996) e LOLLO ; ZUQUETE (1997), individualizado através de fotointerpretação aliada às observações de campo, em unidades de terreno, com base na compartimentação das variações das características fisiográficas, como: forma e posição topográfica, densidade de drenagem e organização dos canais, inclinação das vertentes e amplitude de relevo, associando suas unidades em termos de similaridades do ponto de vista de perfis de alteração, em função do substrato rochoso e dos materiais inconsolidados presentes.

A elaboração deste mapa pode ser dividida em quatro fases: a primeira consistiu na fotointerpretação preliminar, a partir de fotos aéreas de 1966/67 em escala 1:60.000, posteriormente convertidas para escala 1:100.000. Nas etapas de campo para caracterização das unidades traçadas em foto aérea em relação aos seus perfis de alteração, juntamente com o registro fotográfico; fechamento dos limites de cada unidade, com posterior transferência dos

mesmos para o mapa base com o auxílio do *Sketch Master*; e finalmente digitalização do Mapa de *Landform*.

Mapas de Substrato Rochoso (Anexo 4) e Mapa de Materiais Inconsolidados (Anexo 5)

Estes documentos foram confeccionados através das informações disponíveis (referências bibliográficas e mapas), trabalhos de escritório (fotointerpretação), de campo (critérios de classificação textural e composicional) e de laboratório (resultados dos ensaios), possibilitando a separação das unidades estratigráficas que compõem a base da Bacia do Sedimentar do Paraná e que afloram na região estudada e separação de 5 classes de materiais inconsolidados e das aluviões recentes presentes em córregos e rios da área em foco.

Mapa de Uso e Ocupação (Anexo 6)

O Mapa de Uso e Ocupação produzido tem por objetivo fornecer informações a respeito dos diferentes tipos de uso e ocupação do terreno, inseridos no âmbito da área de estudo. Para a confecção deste mapa, foi utilizada imagem de satélite LANDSAT 7 - TM de 2002, cena 225/072, com resolução espacial de 30m, com suporte de trabalhos de campo.

Em uma etapa preliminar de gabinete, procedeu-se a análise prévia da imagem de satélite em composição colorida (Bandas 4, 5 e 3), na qual foram selecionadas áreas como amostras de treinamento para classificação supervisionada da imagem.

Carta de Susceptibilidade à Erosão (Anexo 7)

Para a obtenção da Carta de Susceptibilidade à Erosão por escoamento concentrado, foram utilizadas informações contidas nos mapas de Materiais Inconsolidados,

na Carta de Declividade e no Mapa de Uso e Ocupação e Substrato Rochoso. Cada documento cartográfico foi analisado de forma individualizada, visando considerar, de forma mais específica, a contribuição de cada atributo em relação à deflagração de processos erosivos lineares.

A apresentação e discussão a respeito da geração desse documento cartográfico será o tema central do Capítulo 6, abordando dados de forma de obtenção, classificação e ponderação quanto à importância de cada atributo e documento, em função dos processos erosivos.

CAPÍTULO 4

CARACTERÍSTICAS GERAIS DA ÁREA

A área estudada corresponde a bacia do Ribeirão Ponte de Pedra, com aproximadamente 2.092 km^2 de território, que drena terras dos municípios de Rondonópolis, Pedra Preta e Itiquira, no Sudeste do Estado de Mato Grosso; e escoa para o rio Vermelho que por sua vez, é tributário do rio São Lourenço, um dos principais rios que integram o Pantanal Mato-grossense (Figura 4.1 e Mapa de Documentação em escala 1:100.000- Anexo 1). A extensão calculada do rio principal é de 156,25 km, enquanto que a largura média da bacia é de 13,56 km e seu perímetro mede 315,63 km, apresentando um desnível de 529,80 metros e uma declividade média de 2,8%. De acordo com a classificação de STRAHLER (1957), pode-se dizer que a ordem dos cursos d'água da região, mais especificamente o Ribeirão Ponte de Pedra se enquadra na 4ª (quarta) ordem.

Conforme estimativas do ANUÁRIO ESTATÍSTICO DO ESTADO DE MATO GROSSO (2004), o Município de Rondonópolis contava, naquele ano, com população de 158.389 hab., Pedra Preta com 14.346 hab. e Itiquira com 9.569 hab. As extensões territoriais desses municípios são: Rondonópolis com 4.258 km^2, Pedra Preta com 3.906 km^2 e Itiquira com 8.836 km^2.

A atividade econômica principal da região está alicerçada na agricultura, com destaques para a cultura de soja, de algodão e de milho, predominantemente mecanizadas. A

principal cidade é Rondonópolis, distante 220 km de Cuiabá, a Capital do Estado e tida como o segundo pólo econômico regional e se solidifica como estratégica para a agroindústria, favorecida pela alta capacidade instalada dos armazéns e a disponibilidade de malha rodoviária, como o entroncamento das BR-364 e BR-163, que ligam o norte e a região centro-oeste do Brasil, com o sul/sudeste e a linha férrea da Ferronorte S.A. – Ferrovias Norte Brasil, conectando o Estado de Mato Grosso aos portos do sul do País.

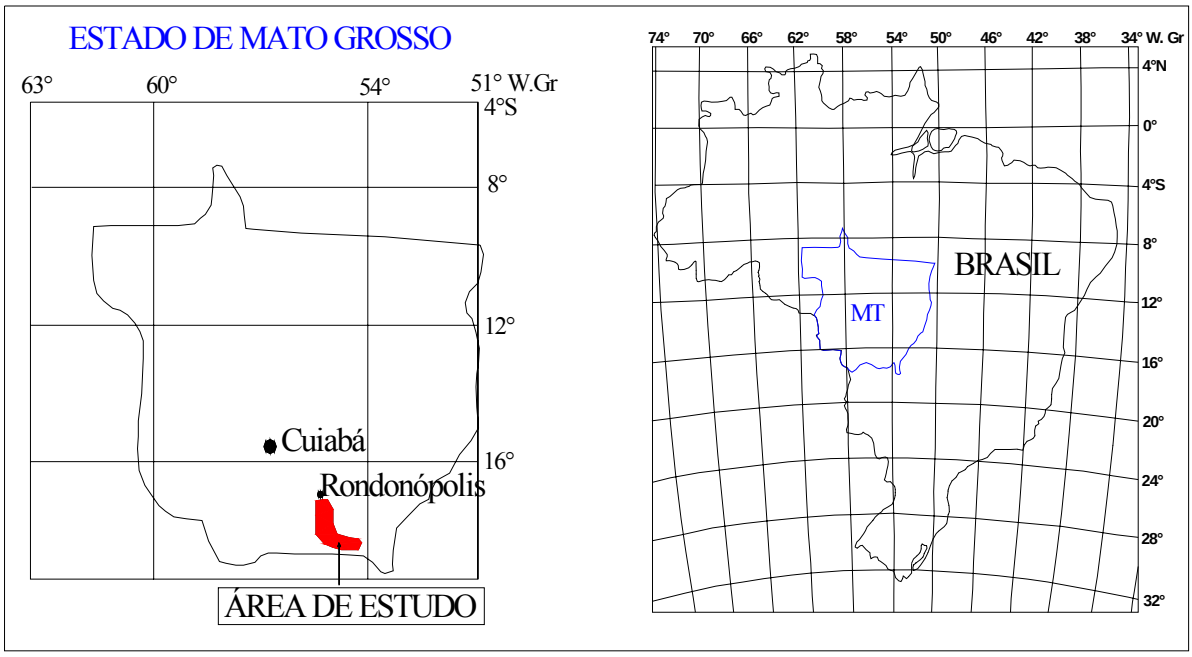


Figura 4.1. Localização da área de estudo.

4.1. ASPECTOS FISIOGRÁFICOS

4.1.1. Clima

A região de Rondonópolis apresenta clima do tipo tropical úmido, segundo a classificação de Köppen e temperatura média de 23° C, com as máximas em torno de 41° C

nos meses de setembro a novembro e mínimas em torno de 15 º C nos meses de junho a agosto.

A umidade relativa do ar é elevada, apresentando oscilações entre a estação mais seca e a mais chuvosa de 50 a 90%, sendo a média real de 79%.

O período de chuvas mais intenso verifica-se entre dezembro a fevereiro, podendo-se estender até março período onde se registra 73% do índice pluviométrico que é de aproximadamente 1.400 mm ao ano. A Tabela 4.1 mostra os níveis mensais de precipitação de chuva na região de Rondonópolis, durante os anos de 1992 a 2002.

Segundo NIMER (1989), a região da bacia do Ribeirão Ponte é marcada por estações bem definidas, sendo uma estação de grandes excedentes hídricos, capaz de provocar grandes escoamentos superficiais, cheias de rios e solos molhados, e outra com deficiência hídrica, solos secos, escoamento superficial insignificante e vazante dos rios muito baixa.

PRECIPITAÇÃO (mm)													
ANO	**JAN**	**FEV**	**MAR**	**ABR**	**MAIO**	**JUN**	**JUL**	**AGO**	**SET**	**OUT**	**NOV**	**DEZ**	**TOTAL**
1992	272,0	358,0	149,6	254,2	75,6	1,0	0,0	21,9	108,2	146,9	238,7	299,7	**1925,80**
1993	129,9	235,9	103,1	172,9	14,8	50,8	0,0	21,9	30,2	144,8	75,7	138,0	**1118,00**
1994	205,3	190,7	164,2	43,3	22,2	28,1	68,0	0,0	10,0	236,0	245,0	388,2	**1601,00**
1995	243,8	353,6	162,1	243,0	154,1	41,3	0,0	0,5	38,2	171,1	118,2	285,4	**1811,30**
1996	207.3	148,6	227,2	79,6	110,7	10,1	4,9	0,0	0,0	64,7	188,9	256,2	**1090,90**
1997	680,6	176,6	65,1	73,4	66,3	168,7	0,0	0,0	47,6	112,1	202,9	208,7	**1802,00**
1998	247,9	263,8	168,4	83,6	21,0	0,0	0,0	16,0	59,5	168,9	27,5	384,6	**1441,20**
1999	337,5	81,3	292,1	26,5	7,4	1,4	0,0	36,3	89,8	74,0	168,5	349,3	**1464,10**
2000	133,5	199,5	264,0	49,4	12,4	101,4	2,0	1,8	87,4	112,6	147,4	142,0	**1253,40**
2001	206,4	112,8	174,6	126,5	48,4	1,4	0,2	8,6	26,2	84,4	150,4	347,5	**1287,40**
2002	310,5	434,2	168,2	34,5	7,7	0,0	7,0	20,1	23,3	94,2	105,8	271,2	**1476,70**
Media	**251,6**	**232,3**	**176,2**	**107,9**	**49,1**	**36,7**	**7,5**	**11,6**	**47,3**	**128,2**	**151,7**	**279,2**	

Fonte: UFMT/Rondonópolis

Tabela 4.1 Precipitação anual na região de Rondonópolis entre 1992 a 2002.

4.1.2. Vegetação

A vegetação típica do domínio morfoclimático de cerrados é marcada pelas árvores, geralmente tortuosas e espaçadas, com cascas grossas, espalhadas entre gramíneas e ervas, que variam de acordo com o tipo pedológico. Essa vegetação encontra-se quase completamente exaurida, sendo substituída paulatinamente por culturas de grãos e formações de pastos, restando poucos locais da flora nativa. LOUREIRO ; LIMA ; FONZAR (1982) identificaram as seguintes formações savânicas na região: Savana Arbórea Densa (Cerradão), Savana Arbórea Aberta (Campo Cerrado), Savana Parque (Parque de Cerrado) e Savana Gramíneo-Lenhosa (Campo).

Os remanescentes dos cerrados e cerradões ocorrem nas escarpas da Serra de São Jerônimo, na foz do Ribeirão Ponte de Pedra e nas proximidades da cidade de Itiquira.

A floresta aluvial é uma formação florestal ribeirinha que se desenvolveu sobre os sedimentos quaternários do Ribeirão Ponte de Pedra e seus tributários principais. Esta floresta é semelhante à mata ciliar desenvolvida ao longo das drenagens, diferindo desta, por apresentar árvores de grande porte.

4.2. SOLOS

Os solos encontrados na região são representados, em sua maioria, segundo SCISLEWSKI et al. (1998) e STURZA (1999) e trabalhos de campo executados, por Latossolo Vermelho-Escuro álico, Podzólico Vermelho-Amarelo com equivalente eutrófico e distrófico, Areias Quartzosas álicas e Areias Quartzosas.

4.2.1. Latossolo Vermelho-Escuro Álico

São solos minerais, não hidromórficos, altamente intemperizados, com predominância de argilas. Apresentam seqüência dos horizontes A, B e C. Compreendem solos do horizonte B textural de grande profundidade, bem drenados e textura variando de argilosa a muito argilosa. Desenvolvem-se sobre relevo plano e suave plano, principalmente na Serra de São Jerônimo e na Serra da Onça, na superfície plana do topo das Serras do Espigão Mestre e da Serra da Jibóia, tornando-se agricultáveis com a adubação e a calagem (Anexo 1).

4.2.2. Podzólico Vermelho-Amarelo

Os Podzólicos Vermelho-Amarelo eutróficos, são solos ácidos desenvolvidos a partir de rochas da Formação Ponta Grossa, apresentando horizonte A moderado ou chernozênico contendo ou não cascalhos e/ou concreções, com argila de atividades alta e baixa.

Os relevos variam de ondulado a fortemente ondulado e são convertidos, em sua maioria, em pastagens, podendo render altas lucratividades nas culturas neles empregados.

Os Podzólicos Vermelho-Amarelo distróficos são solos ácidos, de estrutura fraca a moderada, desenvolvidos a partir de rochas da Formação Furnas. São solos de baixa fertilidade natural, porém devido ao relevo plano, apresenta boa aptidão agrícola, desde que corrigida a falta de nutrientes.

4.2.3. Areias Quatzosas Álicas

São solos minerais desenvolvidos a partir de rochas das formações Furnas e Aquidauana; são permeáveis, porosos, não plásticos, sem estruturas desenvolvidas, constituídas por grãos simples.

Os relevos dominantes são planos e suavemente ondulados. Estes solos são, em sua maioria, utilizados para pastagem, apesar de sua baixa fertilidade natural.

4.2.4. Areias Quartzosas

São solos não hidromórficos, pouco evoluídos, de textura arenosa em sua extensão do perfil e seqüência de horizontes com pouca diferenciação, sendo formados em sua totalidade por minerais dificilmente intemperizáveis, na sua maioria, quartzo.

Na área da bacia, ocorrem principalmente, ao longo do Ribeirão Ponte de Pedra, dos córregos e áreas de charco.

4.3. GEOMORFOLOGIA

O relevo da bacia do Ribeirão Ponte de Pedra constitui-se de terrenos aplainados, com chapadões levemente ondulados e escarpas abruptas, principalmente próximo à sua foz. O ponto mais elevado na Serra da Jibóia atinge 718 metros e a altitude mínima é de 188,20 metros, verificados às margens do rio Vermelho. Situa-se na borda noroeste da Bacia Sedimentar do Paraná, contendo sedimentos depositados sobre uma vasta área do Continente Gondwânico, implantado e desenvolvido a partir do final do Ciclo Brasiliano (700-450 Ma), onde se acumularam volumosos pacotes de sedimentos do Paleozóico (Devoniano, Permo-

Carbonífero), Mesozóico (Juro-Cretáceo) e do Cenozóico (Terciário e Quaternário), segundo DEL´ARCO et al. (1982).

Segundo ROSS (2001), essa região enquadra-se na unidade de relevo Planaltos e Chapadas da Bacia do Paraná e estudos geomorfológicos regionais definem como sendo parte da unidade geomorfológica Planalto do Taquari/Itiquira (FRANCO ; PINHEIRO, 1982), domínio da Chapada do rio Corrente/Itiquira (BORGES et al. 1997). É limitada a norte, pela Depressão de Rondonópolis, a sul pelas depressões de Pedro Gomes e Taquari, a oeste pela Depressão de São Jerônimo e pela Planície e Pantanais Mato-grossenses e a leste, pelos Planaltos e Chapadas da bacia do Paraná. A Figura 4.2 mostra as unidades de relevo do Estado, localizando a bacia estudada e a Figura 4.3, às unidades de relevo brasileiro, segundo ROSS (2001).

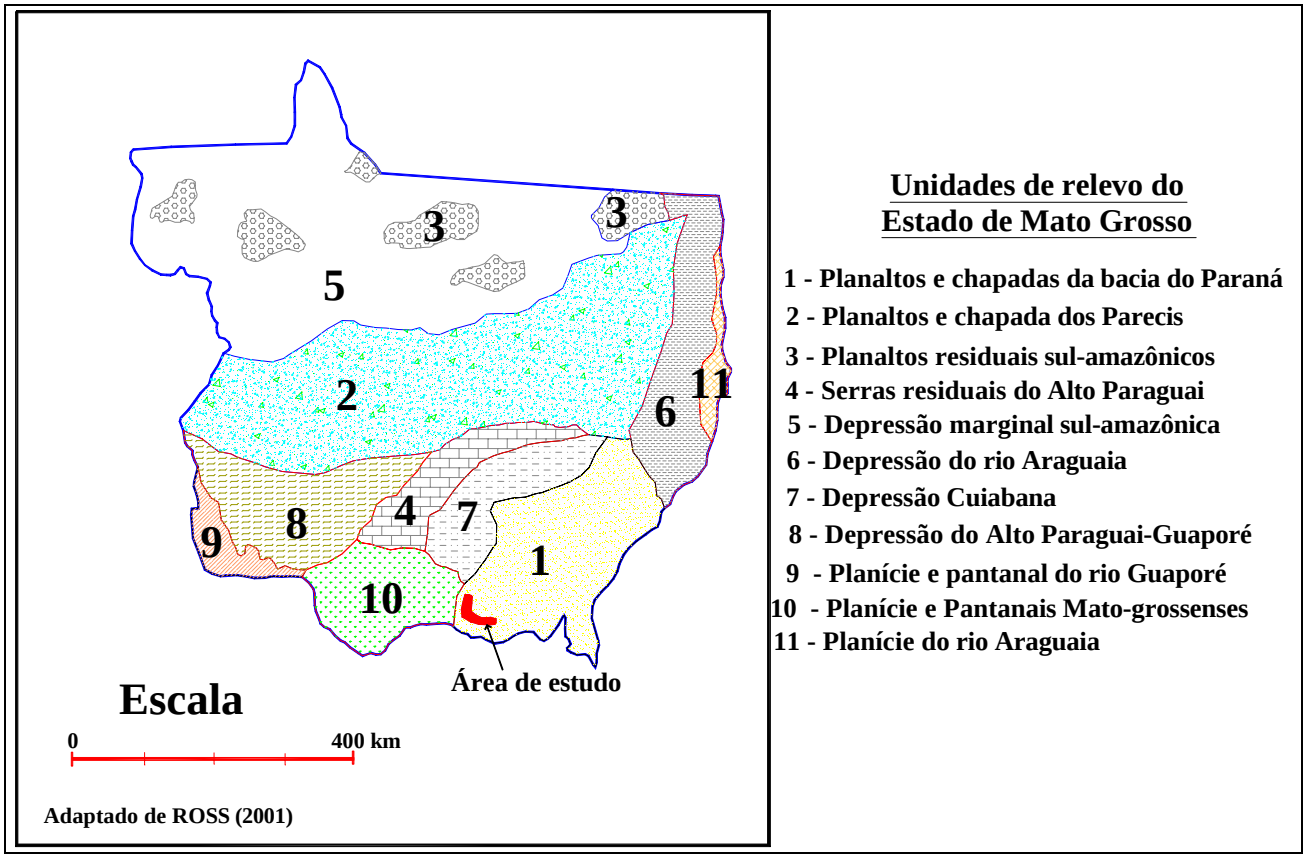
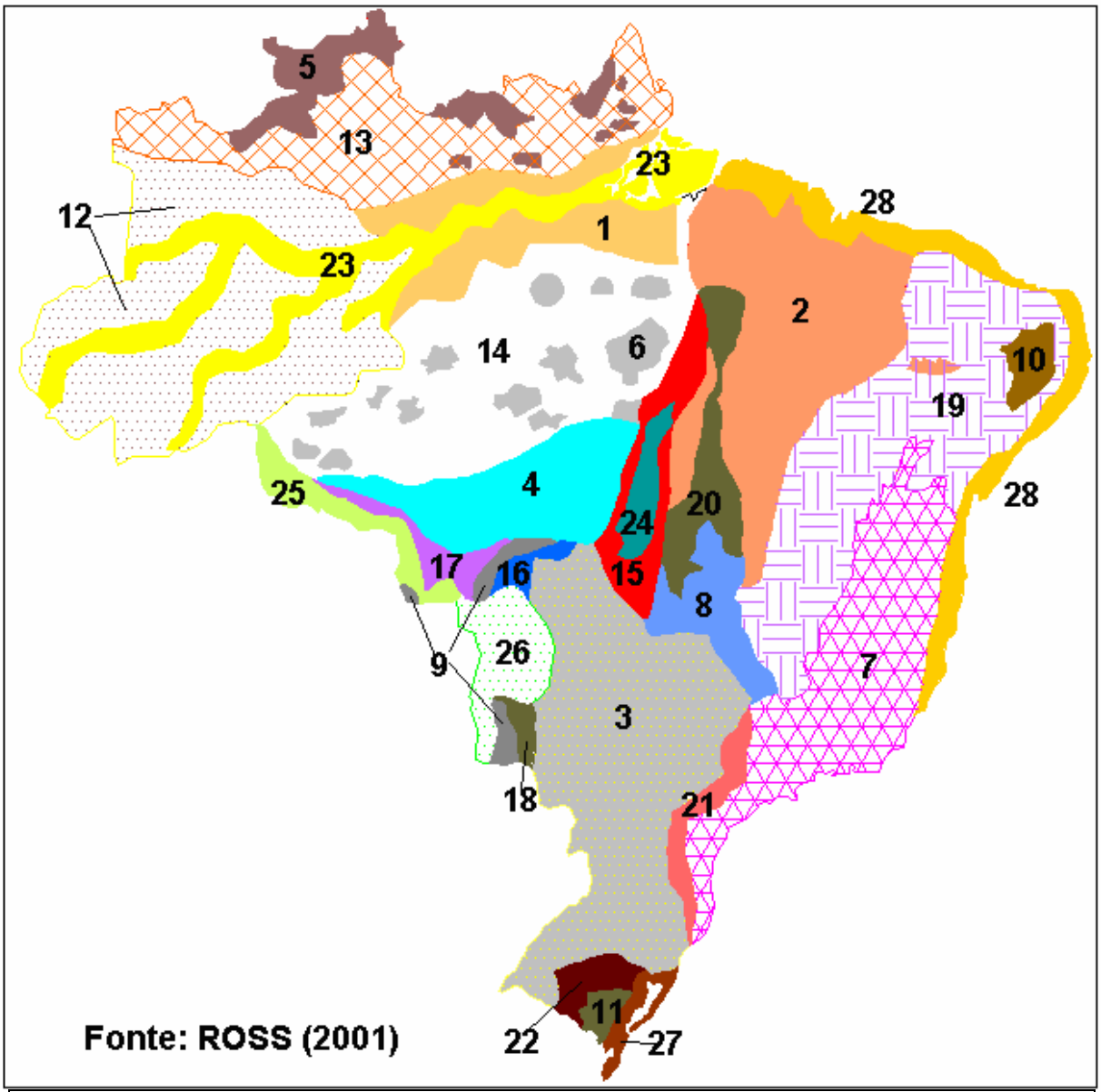


Figura 4.2. Unidades de relevo do Estado de Mato Grosso.



Legenda

Planaltos em Bacias Sedimentares
1- Planalto da Amazônia oriental
2- Planaltos e chapada da bacia do Parnaíba
3- Planaltos e chapadas da bacia do Paraná

Intrusões e Cobertura Residuais de Plataforma
4- Planalto e chapada dos Parecis
5- Planaltos residuais norte-amazônicos
6- Planaltos residuais sul-amazônicos

Cinturões Orogênicos
7- Planaltos e serras do Atlântico leste sudeste
8- Planaltos e serras de Goiás-Minas
9- Serras residuais do Alto Paraguai

Núcleos Cristalinos Arqueados
10- Planalto de Borborema
11- Planalto sul-rio-grandense

Depressões
12- Depressão da Amazônia ocidental
13- Depressão marginal norte-amazônica
14- Depressão marginal sul-amazônica
15- Depressão de Araguaia
16- Depressão cuiabana
17- Depressão do Alto Paraguai-Guaporé
18- Depressão do Miranda
19- Depressão sertaneja e do São Francisco
20- Depressão do Tocantins
21- Depressão periférica da borda leste da bacia do Paraná
22- Depressão periférica sul-rio-grandense

Planícies
23- Planície do rio Amazonas
24- Planície do rio Araguaia
25- Planície e pantanal do rio Guaporé
26- Planície e pantanal mato-grossense
27- Planície da lagoa dos Patos e Mirim
28- Planície e tabuleiros litorâneos

Figura 4.3. Unidades de relevo brasileiro.

Na borda ocidental da bacia do Paraná e do ribeirão Ponte de Pedra, são expressivos os entalhes obseqüentes nas *cuestas* devonianas da Serra de São Jerônimo, sustentados pelos arenitos das formações Ponta Grossa e Furnas; na parte alta da bacia, nas serras do Espigão Mestre e da Jibóia, pelos arenitos silicificados da Formação Palermo, de idade Permiana e Grupo Bauru, de idade Cretácea.

Nos arenitos da Formação Aquidauna desenvolveram extensos alinhamentos no sentido N-S e NE-SW, com frente voltada para a área assim denominada de "Depressão de Rondonópolis". Esta Depressão representa um importante evento geomorfológico devido ao soerguimento regional, que passou esta área; configurando o encaixamento do rio São Lourenço ao sistema de falhas locais e a erosão remontante ocorrida em toda sua bacia fluvial. SANT'ANA et al. (1989).

O Ribeirão Ponte de Pedra é meândrico no médio curso, à montante paralelo e subparalelo à jusante, com sentido do fluxo de leste para oeste até os limites da Serra de São Jerônimo (parte central da bacia) e daí, para norte, até o rio Vermelho que por sua vez tem padrão de drenagem predominantemente dendrítico. O sistema hidrográfico da bacia do Ribeirão Ponte de Pedra está representado pelos córregos: Anhumas, Buriti, da onça, da Jibóia, do Birro, da Vertente Comprida e da Mateirinha.

A sub-bacia do córrego Anhumas, está localizada na margem direita do Ribeirão Ponte de Pedra, abrangendo uma área de 197,75 km^2, com o eixo principal contendo 27,50 km de comprimento, largura média de 7,04 km e perímetro de 60,00 km. Seu desnível é de 138,46 m entre a nascente até a foz, a declividade média verificada dentro da bacia é de 3,0 %, sendo a densidade de drenagem da ordem de 0,28 km/km^2. O padrão de drenagem é subparalelo, com baixa densidade e o curso d`água considerado de 3ª ordem.

A sub-bacia do córrego Buriti, que também está localizada na margem direita, possui área de 56,25 km^2, comprimento axial de 12,50 km, largura média de 4,5 km,

perímetro de 35 km, desnível de 133,34 m, declividade média de 4,4% e densidade de drenagem da ordem de 0,31 km/km^2. O padrão de drenagem é subparalelo e seu curso é classificado como sendo de 2ª ordem.

A sub-bacia do córrego Vertente Comprida deságua pela margem direita do Ribeirão Ponte de Pedra, apresenta uma área de 168,75 km^2, comprimento axial de 22,50 km, largura média de 7,5 km, perímetro de 58,75 km, com desnível de 77,41 m verificado entre a nascente e sua foz. A declividade média da bacia está na ordem de 3% e a densidade de drenagem de 0,20 km/km^2. O padrão de drenagem enquadra-se no modelo subparalelo, com relevo suave, baixa densidade de drenagem e curso de 2ª ordem.

Já a sub-bacia do córrego Mateirinha, está localizada a esquerda do Ribeirão Ponte de Pedra perfaz de 50,00 km^2 de área, comprimento axial de 12,50 km, largura média de 4,0 km, perímetro de 32,50 km e seu desnível, entre as nascentes localizadas na Serra do Espigão Mestre e sua foz é de 210,00 m, sendo que a declividade média desta sub-bacia é de 7%; com densidade de drenagem da ordem de 0,37 km/km^2. O padrão de drenagem é semelhante aos demais exibindo um relevo suave, baixa densidade de drenagem e curso classificado como sendo de 2ª ordem.

4.4. GEOLOGIA

A bacia do Ribeirão Ponte de Pedra situa-se na borda oeste da porção noroeste da Bacia Sedimentar do Paraná, tendo os sedimentos depositados sob vasta área do continente Gondwânico implantado e desenvolvidos a partir do final do Ciclo Brasiliano (700-450 Ma), onde se acumularam volumosos pacotes de sedimentos do Paleozóico (Devoniano, Permo-Carbonífero), Mesozóico (Juro-Cretáceo) e do Cenozóico (Terciário e Quaternário).

As litologias aflorantes na bacia pertencem às seguintes unidades litoestratigráficas: Grupo Paraná (formações Furnas e Ponta Grossa) de idade Devoniana; Grupo Itararé (Formação Aquidauana) de idade Carbonífera; Grupo Guatá (Formação Palermo) de idade Permiana; Grupo São Bento (Formação Botucatu) de idade Jurássica; Grupo Bauru de idade Cretácea; e Formação Cachoeirinha do Terciário. Os processos erosivos atuantes na região possibilitaram a formação de depósitos de aluviões recentes. DEL`ARCO et al. (1982), LACERADA FILHO (2004). A Figura 4.4 mostra a porção da Bacia do Paraná dentro do contexto geológico de Mato Grosso.

As unidades acima citadas são formadas por pacotes limitados por discordâncias caracterizando ambientes deposicionais bem definidos. Assim, as seqüências basais representam ciclos quase completos de transgressão–regressão marinha.

No Grupo Paraná, as formações Furnas e Ponta Grossa, apresentam características regressivo–transgressivas, passando gradacionalmente a sedimentos marinhos, próprio de um sistema de delta retrabalhado pelas marés. Já a seqüência Carbonífera (Formação Aquidauana) caracteriza-se por ser depósito continental, passando rapidamente a marinho com contribuição glacial.

As seqüências mesozóicas são predominantemente continentais e compreendem depósitos eólicos, lacustres e fluviais.

O Juro-Cretáceo inicia-se com um imenso deserto que deu origem a Formação Botucatu, recoberto por lavas basálticas da Formação Serra Geral. Os depósitos pós-derrames desenvolveram-se em clima desértico através de leques aluviais marginais e um sistema fluvial entrelaçado, dando origem aos sedimentos do Grupo Bauru que praticamente se acumularam na porção meridional da bacia, através de soerguimentos e reativações. Recobrindo em discordância erosiva, encontram-se os sedimentos inconsolidados Terciários da Formação Cachoeirinha e nas drenagens, os sedimentos aluviais e de planície de

inundação, resultantes da dissecação das superfícies atuais da região. São apresentadas, a seguir, as descrições das unidades litoestratigráficas que ocorrem na bacia do Ribeirão Ponte de Pedra.

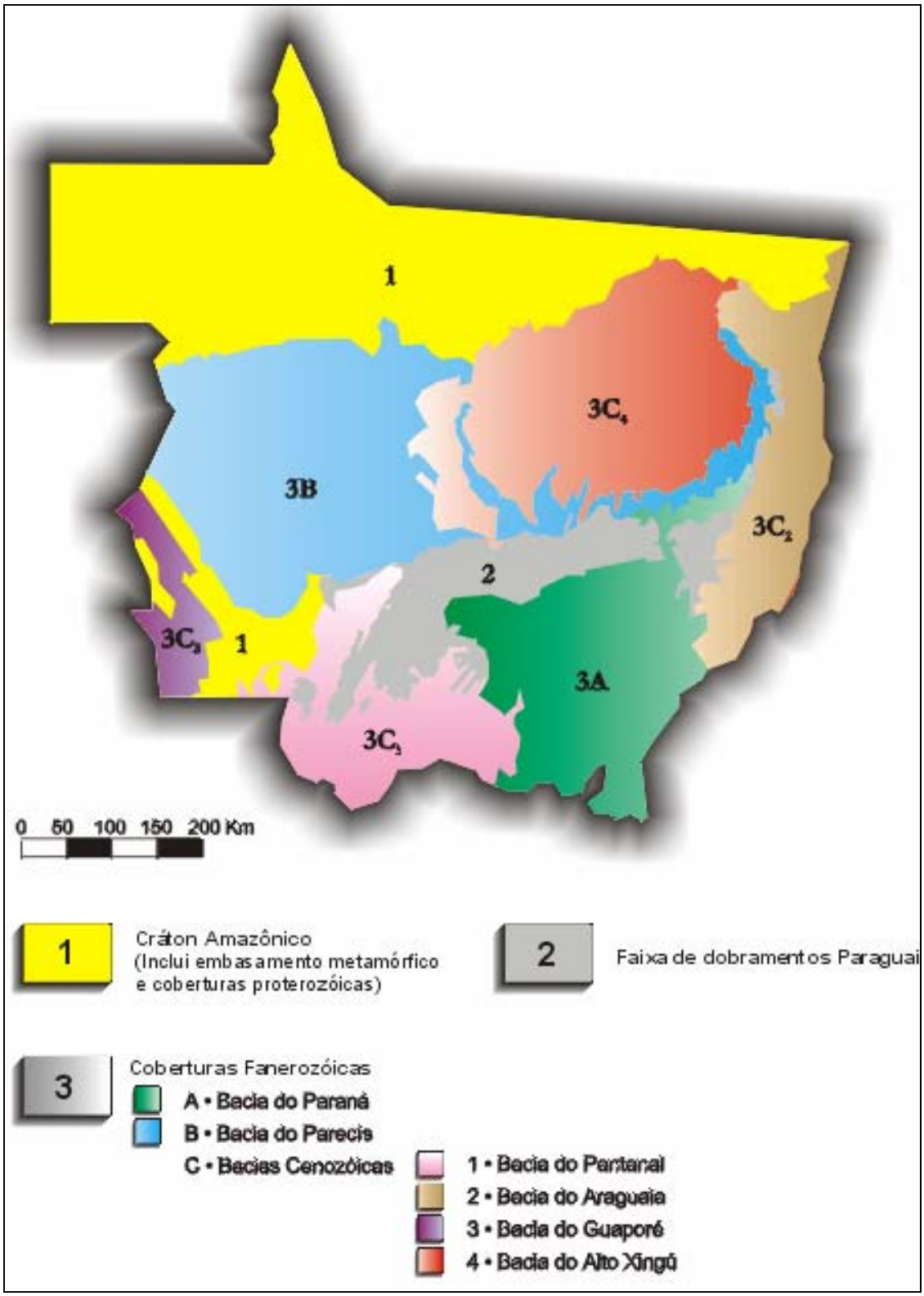


Figura 4.4. Esboço geológico do Estado de Mato Grosso, RAJAB (1998).

4.4.1. Formação Furnas

Ocorre nas porções norte e centro sul da bacia, principalmente, na borda leste da Serra de São Jerônimo e a Oeste da Serra da Onça.

Na região da bacia do Ribeirão Ponte de Pedra, esta unidade assenta-se, discordantemente, sobre os metassedimentos do Grupo Cuiabá que aflora na porção oeste da Serra de São Jerônimo e margens do rio Itiquira.

Sobrepondo-a, por passagem gradual e concordante, jaz a Formação Ponta Grossa e por discordância erosiva, a Formação Aquidauana, as coberturas arenosas da Formação Cachoeirinha e as Aluviões Recentes. Localmente observara-se contato tectônico por falhamento normal com as formações Ponta Grossa e Aquidaunana e com as rochas do Grupo Cuiabá.

Na área estudada, a base da unidade é representada, por arenitos claros a róseos, médios a grosseiros, por vezes micáceos, subarcoseanos, caulínicos, friáveis, grau médio de seleção, grãos esféricos, caracterizando boa maturidade enquanto que no topo ocorrem arenitos médios a finos, com intercalações síltico-argilosas. Estes materiais são predominantes e tem distribuição uniforme em praticamente toda a área em que ocorrem. As principais estruturas sedimentares primárias encontradas são: estratificação cruzada tabular ou acanalada e acamamento gradacional.

A Figura 4.5 mostra o contato discordante entre a Formação Furnas com os sedimentos silte-argilosos da Formação Cachoeirinha.

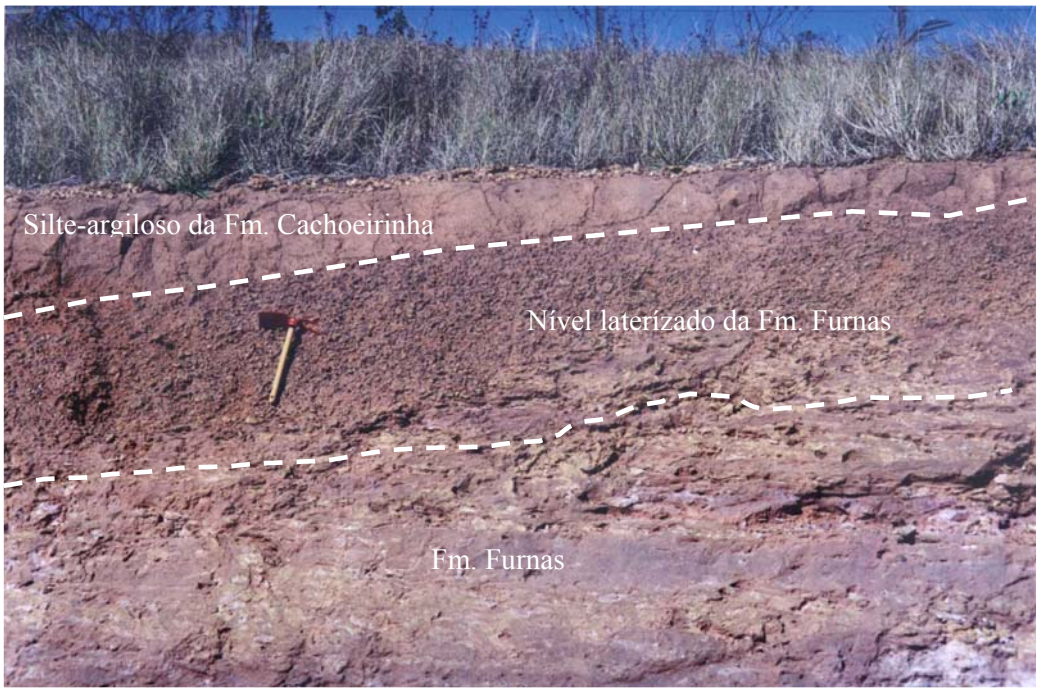


Figura 4.5. Contato entre a Formação Furnas e cobertura silte-argilosa da Formação Cachoeirinha, nas proximidades do Aeroporto de Rondonópolis (Ponto 9).

4.4.2. Formação Ponta Grossa.

VIEIRA (1965) apud DEL`ARCO et al. (1982), descreveu a Formação Ponta Grossa na região de Rondonópolis, composta, sobretudo, de siltitos e folhelhos de cores cinza, cinza-azulado e violácea, com intercalações subordinadas de arenitos muitos finos, destacou como característica marcante dessas rochas, a presença de pequenas palhetas de micas.

Na região da bacia do Ribeirão Ponte de Pedra, esta unidade ocorre entre os córregos Barreiro e da Jibóia. Está caracterizada por uma seqüência de folhelhos e siltitos com cores variando de cinza a cinza-esverdeado físseis na base da unidade. Já no topo, observam-se intercalações de arenitos finos a muito finos, micáceos, feldspáticos, finamente estratificada de cor branca, marrom ou esverdeada.

As rochas da Formação Ponta Grossa, sobrepõem a Formação Furnas por contato gradual e concordante e é sobreposta, tanto pela Formação Aquidauana, por discordância erosiva, como pela cobertura detrito–laterítica da Formação Cachoeirinha e pelas aluviões

recentes, presentes ao longo do Ribeirão Ponte de Pedra. Por vezes, os contatos tanto com a Formação Furnas e com a Formação Aquidauana, se dão através de falha normal, tal é observado no *Graben* da Jibóia. É considerada de idade devoniana graças ao seu conteúdo fossilífero e foi depositada em condições de ambiente marinho profundo. A Figura 4.6 mostra afloramento dessa unidade.

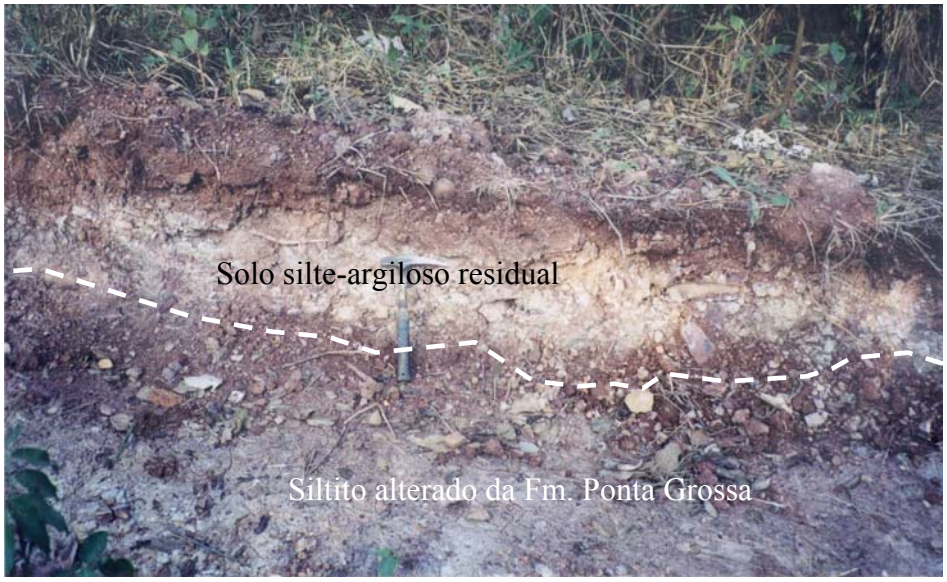


Figura 4.6. Afloramento da Formação Ponta Grossa nas proximidades da Serra da Jibóia.

4.4.3. Formação Aquidauana

Esta unidade litoestratigráfica ocorre sob a forma de uma larga faixa de direção E–W, entre os córregos da Mateirinha e da Jibóia e está condicionada por falhas de gravidade, exibindo relevo escarpado como no *Graben* da Jibóia, onde os blocos abatidos são constituídos por sua litologia tipo, enquanto que os blocos elevados são formandos por rochas da Formação Ponta Grossa.

É constituída de arenitos vermelhos a roxos, friáveis, porosos, com conteúdo de quartzo, às vezes feldspáticos, com cimento ferruginoso e escassa matriz arenosa e argilosa. As variações litológicas e faciológicas são freqüentes, tanto vertical como lateralmente, com

níveis lenticulares subordinados, conglomeráticos, siltosos ou argilosos, com contatos bruscos ou gradacionais. A espessura desse pacote sedimentar é muito variável, chegando a 360 m na região da Serra da Petrovina, a leste da cidade de Rondonópolis.

Na área estudada, esta formação assenta-se discordantemente sobre os sedimentos do Grupo Paraná, ou por contatos tectônicos, como falhas de gravidade observadas ao longo do córrego da Jibóia, nas proximidades da serra homônima, em que a Formação Aquidauana é colocada em contato com as formações Furnas e Ponta Grossa.

Em função de escasso conteúdo fossilífero, a idade não está seguramente definida, inferindo-se sua deposição no intervalo compreendido entre o Carbonífero Superior e o Permiano Inferior (SCISLEWSKI, 1998). O ambiente de sedimentação é continental com sistemas fluviais e lacustres.

4.4.4. Formação Palermo

Esta unidade ocorre nas proximidades do Ribeirão Ponte de Pedra, visivelmente na rodovia que liga a BR-364 a Itiquira e em algumas elevações próximas desse afloramento. É formada por siltitos avermelhados a arroxeados, arenosos, finamente estratificados e bastante silicificados, contendo sílex de cor esbranquiçado, apresentando estratificação ondulada, oolítico e/ou pisolítico, coloração cinza esbranquiçado e coquina silicificada esbranquiçada (Figura 4.7).

A Formação Palermo recobre, em discordância erosiva, a Formação Aquidauna e sobre seu topo, assentam-se às rochas sedimentares do Grupo Bauru e Botucatu (Grupo São Bento). Foi depositada em ambiente marinho nerítico e litorâneo do Permiano superior.

Figura 4.7. Ocorrência de sílex com estratificação ondulada da Formação Palermo (Ponto 127, MT-040) Norte de Itiquira.

4.4.5. Formação Botucatu

Nesta formação predominam arenitos quartzosos, com estratificações cruzadas eólicas, de colorações rósea ou amarelada e vermelha-tijolo, finos a médios, bem selecionados em lâminas de estratificação, porém mal classificados no conjunto, grãos subarredondados a arredondados, muito pouco argilosos, friáveis quando não silicificados. Os arenitos róseos, pintalgados de branco são finos a médios, classificados, grãos maiores arredondados, e menores subarredondados, pouco argilosos, calcíferos, com finas estratificações planoparalelas. Os arenitos arroxeados são grosseiros, conglomeráticos, pouco argilos, com os grãos subarredondados, mal selecionados, estratificados e friáveis.

Na bacia do Ribeirão Ponte de Pedra, esta formação aflora em seu limite leste, ou seja, nas nascentes. São caracterizadas por solos arenosos cinza esbranquiçados, constituindo extensos areões em encostas intermediárias; no topo são recobertos pelos sedimentos da Formação Cachoeirinha. É provável que a deposição ocorreu no Período Jurássico, em

ambiente continental eólico, em clima desértico; em alguns locais da bacia, ocorre fácies de ambiente subaquoso (fluvio-lacustre).

4.4.6. Grupo Bauru (Indiviso)

O Grupo Bauru ocorre em faixas contínuas nos relevos acidentados das serras da Jibóia e do Espigão Mestre e em morrotes preservados nas proximidades das cabeceiras dos córregos que drenam para o Ribeirão Ponte de Pedra.

É constituída de conglomerados de matriz argilosa abundante, coloração vermelha, com grãos e seixos subangulares esparsos, apresentam às vezes silicificados e com níveis de sílex (Figura 4.8). Os arenitos são avermelhados, médios, mal classificados, com grãos e seixos esparsos, possuem estratificação plano-parelela, lamilar ou em bancos, com aspecto maciço.

Conforme DEL`ARCO et al. (1982), as características dos sedimentos do Grupo Bauru e de seu conteúdo fossilífero indicam ambiente de deposição continental, fluvial e lacustre e GONÇALVES ; SCHNEIDER (1970) admitem influências tectônicas durante a sedimentação que teriam condicionado a distribuição dos depósitos nesta porção da Bacia do Paraná.

O Grupo Bauru assenta discordantemente sobre os sedimentos das formações Furnas, Ponta Grossa, Aquidauana, Palermo, Botucatu e seu contato superior com a Formação Cachoeirinha são marcados por superfície de erosão.

Figura 4.8. Brecha conglomerática de matriz arenosa bastante silicificadas do Grupo Bauru, aflorantes no *Graben* da Jibóia (Anexo 1).

4.4.7. Formação Cachoeirinha

A Formação Cachoeirinha é composta de sedimentos inconsolidados, areno-argilosos e mesmo argilo-arenosos, de cor vermelha, parcialmente laterizados e com espessuras variando de 10 a 40 metros, conforme visto em poços sendo perfurados na região (Figura 4.9).

Esta unidade foi denominada de Cobertura Arenosa Indiferenciada por SCISLEWSKI, (1998) que descreveu as coberturas residuais e/ou transportadas relacionadas ao Ciclo de Aplainamento Velhas.

Apresenta uma distribuição descontínua ao longo da área, ocupando os relevos de cotas mais altas dos planaltos, principalmente, nas serras de São Jerônimo, da Onça, da Jibóia e do Espigão Mestre.

Assenta-se discordantemente sobre o arenito da Formação Furnas, nas porções norte e central da bacia, sobre as litologias das Formações Ponta Grossa, Aquidauana e Grupo

Bauru na região da Serra da Jibóia e sobre a Formação Botucatu nas nascentes do Ribeirão Ponte de Pedra. Provavelmente, é de idade pós-cretácea.

Figura 4.9. Sedimentos inconsolidados areno-argilosos da Formação Cachoeirinha no topo da Serra de São Jerônimo.

4.4.8. Aluviões Recentes

Os depósitos aluvionares são constituídos, predominantemente, de areias com granulação grosseira a fina, cores claras, além de silte e argilas cinza escura. Estão posicionados, principalmente nas calhas do Ribeirão Ponte de Pedra e leitos dos córregos Anhumas, Vertente Comprida e do Birro.

4.4.9 Aspectos Estruturais

A área estudada compreende a borda oeste da porção noroeste da Bacia do Paraná e as rochas sedimentares que ali ocorrem, com destaque para as litologias das formações Furnas, Ponta Grossa e Aquidauana, exibem feições estruturais orientadas preferencialmente para NE–SW e NW–SE, caracterizadas por lineamentos muitas vezes extensos, cujos tipos

básicos são representados por falhas de caráter predominantemente rúptil geradas sob regime distensivo a partir de falhas preexistentes.

No âmbito da bacia verificou-se que o sistema NE–SW é dominante, fazendo parte de uma extensa zona de falhamentos que sofreram reativações, principalmente no período Cretáceo, e para o qual SCHOBBENHAUS FILHO et al. (1975) propuseram a denominação de Lineamento Transbrasiliano. Possuem uma ampla distribuição na área, exibindo variações de direções entre N 60°– 80°E sendo mais conspícuas nas zonas de exposição do Arenito Furnas. Estas falhas constituem limites entre blocos litosféricos escalonados de NW para SE e permitem que um bloco fique basculado em relação a outro, proporcionando a formação dos *horts e grabens* na região. Em campo, são observadas feições tais como: intensa silicificação, superfícies polidas e estriadas e cataclasitos (SCISLEWSKI, 1998).

O melhor exemplo deste sistema de falhamentos é a Falha da Libanesa, situada a noroeste de Rondonópolis, interpretada como uma extensa falha de gravidade de direção N 60° – 80° E, que provocou rebaixamento dos sedimentos da Formação Ponta Grossa. Como resultado dessa movimentação de blocos, observam-se as formações de escarpas de falhas, lançando a Formação Furnas num nível topograficamente mais elevado que a Formação Ponta Grossa, visto que os rejeitos destes falhamentos chegam a centenas de metros (SCISLEWSKI, 1998).

O sistema NW–SE, bem mais discreto, é marcado por intenso diaclasamento sub-verticalizado, que trunca o sistema NE–SW, mais antigo. De um modo geral, as zonas de falhas são marcadas por expressivos *feixes* de fraturas afetando as rochas locais.

Na porção sul da bacia, verifica-se dois sistemas de falhamentos, o N-S e o E-W; a feição estrutural mais importante é o *Graben* da Jibóia, com sentido N-S, extensão de 10 km e largura média de 1,5 km. O sentido meridional dessa estrutura está oculto sob os sedimentos

do Grupo Bauru e da Formação Cachoeirinha, enquanto que a porção setentrional tem forma de cunha. O bloco baixo é constituído pela Formação Aquidauana e os blocos laterais mais elevados, pela Formação Ponta Grossa.

As seqüências sedimentares ocorrem em camadas horizontais e sub-horizontais, mostrando mergulhos suaves em torno de 5° para SE e E. As mudanças de atitudes, muitas vezes, são resultantes da incidência de falhas que provocaram basculamento das camadas.

à retilíneo-convexas. O padrão de drenagem é paralelo, associado a vales entalhados na forma de “V”. Sua área é de 5,20 km^2.

O perfil de alteração deste *landform* resulta em um solo residual arenoso com espessura que não ultrapassa os 2 metros, (podendo ocorrer rocha aflorante) e encontram-se cobrindo arenitos frescos da Formação Furnas.

5.3.14. *LANDFORM* 14

Trata-se de porção de terreno representando a zona intermediária, entre o *Landform* 4 e o vale do Ribeirão Ponte de Pedra, (à jusante). Difere-se do *Landform* 8 em função da maior heterogeneidade das formas de relevo, (Figura 5.21), que apresenta, ora por regiões aplainadas, (quando se encontram limitadas pelas “*cuestas*” do *Landform* 2), ora por regiões de encostas convexas de topo arredondado, (quando as “*cuestas*” não ocorrem). Apresenta média densidade dos canais de drenagem com padrão dendrítico. Suas encostas possuem declividades baixas a médias e grandes amplitudes de relevo. Sua área é de 19,77 km^2.

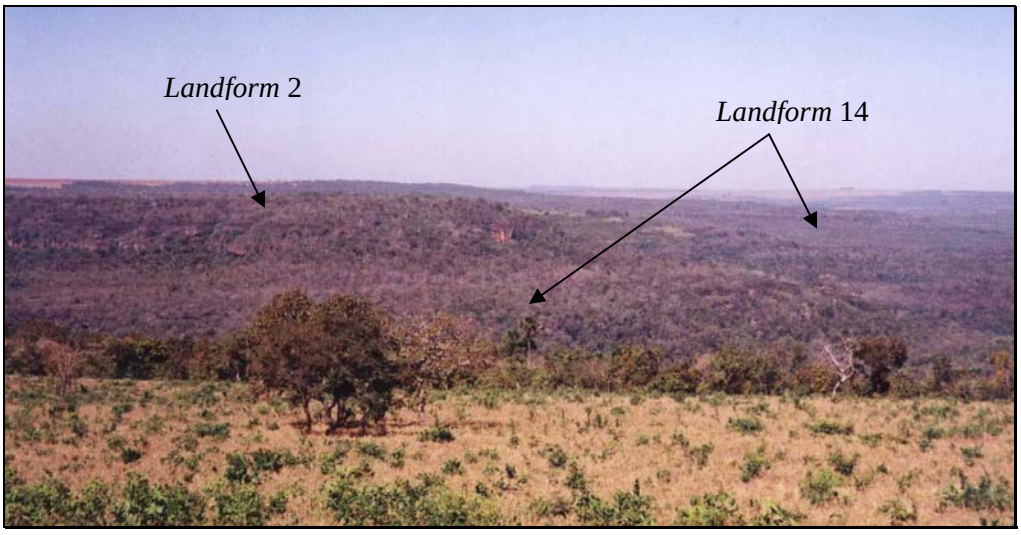


Figura 5.21. Vista parcial do *Landform* 14, o qual encontra-se limitado pelo *Landform* 2 (Ponto 14).

Neste *landform*, verifica-se o contato entre os sedimentos laterizados da Formação Cachoeirinha sobrepondo os arenitos mediamente alterados da Formação Furnas. A espessura do pacote superior não ultrapassa os 2 metros, como visto no Ponto 1 em que o perfil de alteração não atinge 0,5 m, (Figura 5.22).

Figura 5.22. Perfil de alteração típico do *Landform* 14, formado por arenito medianamente alterado e solo laterítico de pequena espessura.

5.3.15. *LANDFORM* 15

É uma região constituída por encostas com média declividade e forma convexa, (Figura 5.23). Os topos são sub-angulosos, associados a vales pouco entalhados. Apresentam amplitude de relevo que varia de média a alta, com baixa densidade de drenagem com padrão indefinido. Sua área é de 14,30 km^2.

Figura 5.23. Forma de encosta comum no *Landform* 15 (primeiro plano).

Este *landform* apresenta perfil de alteração pouco evoluído, caracterizado por uma camada de material residual arenoso, com espessura nunca superior a 1 metro, seguido, em alguns locais, por um nível de concreções lateríticas que pode atingir até 1 metro aproximadamente. O substrato rochoso é constituído de arenito da Formação Furnas fortemente alterado (Figura 5.24).

Figura 5.24. Material inconsolidado arenoso pouco espesso, sobre arenito friável, comum no *Landform* 15 (Ponto 19).

5.3.16. *LANDFORM* 16

Este *landform* caracteriza-se por apresentar extensas encostas com formatos retilíneos e paralelos entre si, associadas a vales em “V” entalhados (Figura 5.25). Possui amplitudes que variam de média à alta e declividade média. O padrão de drenagem é retilíneo e classificação de 2ª ordem. Sua área é de 84,64 km^2.

Figura 5.25 Forma de relevo típica do *Landform* 16 (Ponto 34).

O *Landform* 16 é constituído de pacote arenoso com espessuras de até 5 metros, sendo que nos vales, são comuns espessuras de no máximo 2 metros. O substrato rochoso é representado por arenitos finos muito alterados pertencentes à Formação Furnas, (Figura 5.26), facilmente exposto nos fundos de vales e margens de estradas próximas a estes. É freqüente, também, ocorrer níveis de concreções lateríticas nos topos das encostas.

Figura 5.26. Arenitos finos muito alterados, comuns no *Landform* 16 (Ponto 35).

5.3.17. *LANDFORM* 17

Ocorre em partes mais ampla do vale do Ribeirão Ponte de Pedra, dos córregos Buriti, Anhumas e Vertente Comprida. A forma do vale é em "U" e se encontra sempre associado a uma planície de inundação com larguras variadas, as quais são mais expressivas na parte central da bacia, (Figura 5.27). Nestes locais, a declividade é muito baixa. Sua área é de 136,21 km^2.

Figura 5.27. Planície de inundação pertencente ao *Landform* 17 (Ponto 38).

Este *landform* caracteriza-se por apresentar um material inconsolidado arenoso, transportado, pouco espesso (<2 metros) associado, principalmente, aos arenitos pouco alterados da Formação Furnas, (Figura 5.28). Contém os maiores depósitos aluvionares presentes na área estudada.

Figura 5.28. Perfil de alteração comum no *Landform* 17 (Ponto 7).

5.3.18. *LANDFORM* 18

Constitui a zona de transição entre terrenos aplainados do *Landform* 1 para o vale do Ribeirão Ponte de Pedra, representado pelo *Landform* 17. Difere dos *landforms* 16 e 24 por apresentar maior declividade e dos *landforms* 2 e 3, por possuir formas de relevo mais heterogêneas, (Figura 5.29). O padrão de drenagem é sub-dendrítico, na maioria das vezes associados aos canais de 1ª ordem. Sua área é de 17,51 km^2.

O *Landform* 18 exibe um pacote de material residual pouco espesso, (<2 metros) associado a arenitos medianamente alterados da Formação Furnas.

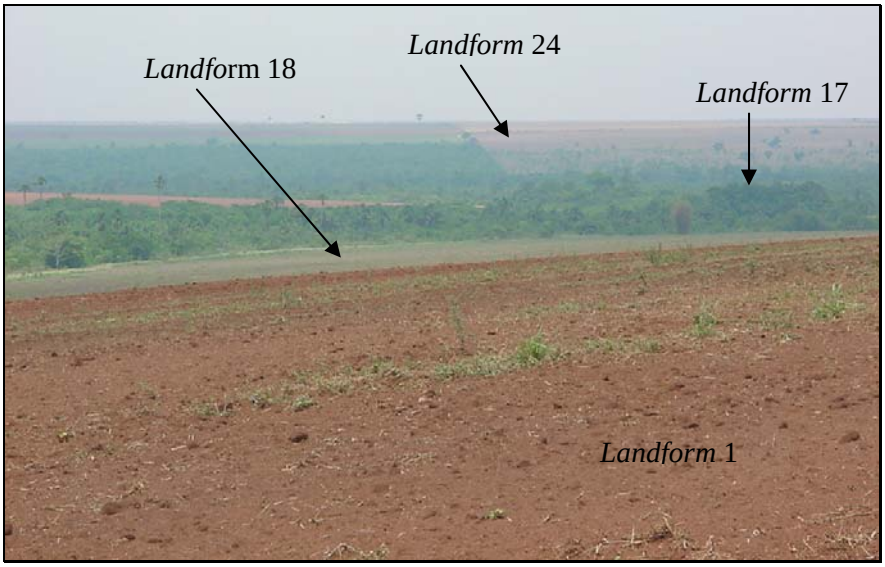


Figura 5.29. Limite entre o *Landform* 1 e 18, ao fundo vê-se o 17 e as encostas do 24 (Ponto 78).

5.3.19. *LANDFORM* 19

Formado por porção de terreno tendo como característica principal, um padrão de drenagem típico com baixa densidade de canais, que são formadores das nascentes do córrego Anhumas. Este *landform* ocorre integralmente em cotas inferiores em relação aos seus vizinhos (depressão). As encostas são de pequeno porte, com baixas amplitudes e declividade relativamente baixa, com topos tendendo a serem arredondados. Sua área é de 48,26 km^2.

O material inconsolidado presente nesta unidade se compõe uma mistura percentuais iguais de areia e argila, por se encontrar nas cotas inferiores, deduz-se que estes materiais sejam depósitos coluvionares associados à Formação Furnas.

5.3.20. *LANDFORM* 20

Trata-se do *landform* com a segunda menor expressão em área, ocupando 292 km^2. Apresenta encostas amplas, com formas convexas típicas associadas a topos aplainados e

canais de drenagem com muito baixa densidade (Figura 5.30). Difere do *Landform* 1 justamente por apresentar uma maior convexidade de suas bordas.

Figura 5.30. Forma de encosta típica do *Landform* 20 (Ponto 57).

Caracteriza-se por apresentar um material inconsolidado areno-argiloso amarelo (laterizado), com espessuras que variam de 2 a 5 metros disposto sobre um pacote de concreções lateríticas com mais de 2 metros de espessura, (Figura 5.31). Devido à remoção da camada de concreções lateríticas para aproveitamento em obras viárias, são possíveis observar feições erosivas de pequeno porte (sulcos e ravinas) se desenvolvendo em encostas com maiores declividades, (Figura 5.32). Nos pontos 72, 76 e 77 também foram catalogados estes níveis lateríticos.

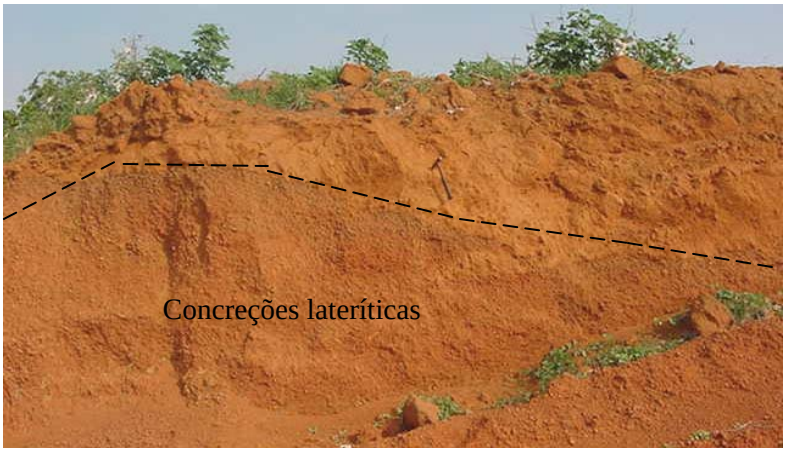


Figura 5.31. Perfil de alteração muito comum no *Landform* 20. Notar a continuidade lateral do nível de concreções lateríticas (Ponto 62a).

Figura 5.32. Feições erosivas instaladas sobre o material exposto (Ponto 81).

As maiores manifestações erosivas encontradas neste *landform* estão justamente onde não existe o horizonte de concreções lateríticas, principalmente nas áreas utilizadas para pastagem, (Figuras 5.33 e 5.34). Isto ocorre próximo do limite deste *landform* com seus vizinhos, onde é comum um pequeno aumento na declividade. Nestes casos, são encontrados materiais arenosos com espessuras superiores a 5 metros. Tais feições, no entanto, são de ocorrência restrita.

O representante principal do substrato rochoso encontrado neste *landform* é o arenito, algumas vezes com nível conglomerático (Figura 5.35), da Formação Furnas, podendo também ocorrer sedimentos da Formação Cachoeirinha, geralmente na porção central do *landform.*

Figura 5.33. Boçoroca desenvolvida em material arenoso com ausência da camada laterítica (Ponto 58).

Figura 5.34. Feição erosiva encontrada em um pequeno açude (Ponto 48).

Figura 5.35. Ocorrência de arenito conglomerático (Ponto 68).

5.3.21. *LANDFORM* 21

Trata de um *landform* similar ao *Landform* 19, diferindo-se deste graças a maior densidade de canais de drenagem com padrão dendrítico típico e topos mais angulosos. As encostas são de pequeno porte, predominando as formas retilíneas e convexo-retilíneas, (Figura 5.36). Sua área é de 20,19 km^2.

O perfil de alteração deste *landform* é constituído de pacote arenoso pouco espesso (< 2 metros) associado a arenitos vermelhos de matriz argilosa, pouco alterado pertencentes à Formação Botucatu.

Figura 5.36. Aspecto de encosta do *Landform* 21.

5.3.22. *LANDFORM* 22

Representado por regiões de pequenos platôs localizados nas cotas inferiores em relação ao *Landform* 1, (Figura 5.37). Apresenta baixa densidade de canais de drenagem e relevo ondulado. Sua área é de 23,36 km^2.

Figura 5.37. Forma de relevo típico do *Landform* 22 (Ponto 131).

Caracteriza-se por apresentar um material inconsolidado essencialmente arenoso com espessuras de até 5 metros, associado aos arenitos medianamente alterados do Grupo Bauru.

5.3.23. *LANDFORM* 23

Trata-se de uma região mista, sendo em parte constituída por terrenos aplainados na porção central, com declividade baixa e padrão de drenagem sub-dendrítico, associado a planícies de inundações de pequeno porte do Ribeirão Ponte de Pedra e outra de terrenos escarpados de face livre e topo plano, com declividades médias a altas a oeste e norte, (Figura 5.38). Ocupa 81,05 km^2.

Figura 5.38. Relevo representativo do *Landform* 23 (Ponto 128).

O perfil de alteração deste *landform* é caracterizado pela ocorrência de material arenoso com espessura média de 2 metros, podendo chegar a 5 metros em alguns pontos próximos a vales, sendo que, a leste, ocorre um material essencialmente fino com espessura inferior a 2 metros. A oeste o substrato contém tanto rochas arenosas, em médio estágio de

alteração, pertencentes à Formação Aquidauana, enquanto que nas porções sul e leste, ocorrem siltitos avermelhados e sílex dentro da Formação Palermo.

No Ponto 118, limite norte entre este *landform* e o de nº 1, observa-se grandes feições erosivas, (Figura 5.39), região com forte quebra positiva do relevo, representando o contato entre os arenitos finos das formações Aquidauna e Cachoeirinha.

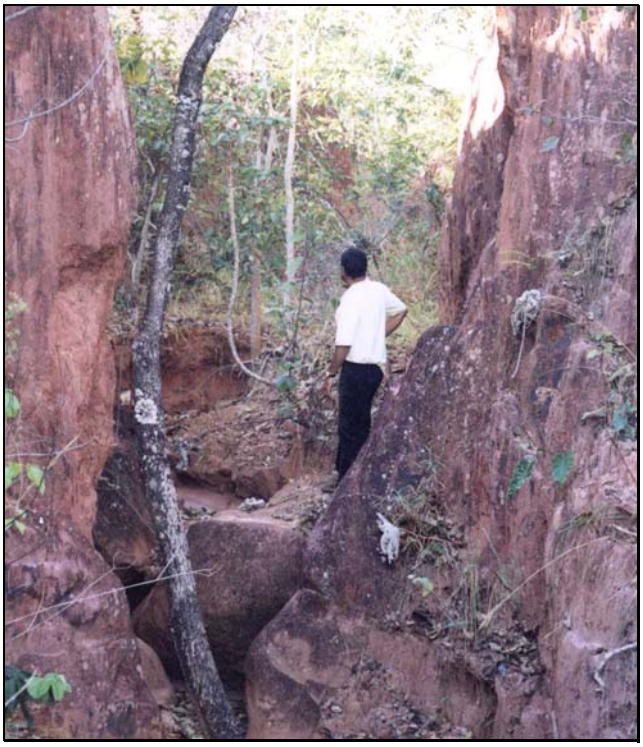


Figura 5.39. Boçoroca desenvolvida no arenito completamente alterado da Formação Aquidauana (Ponto 118).

5.3.24. *LANDFORM* 24

É região que compreende uma porção elevada com topo aplainado, encosta côncava, associado a uma pequena *"cuesta"* e um sopé medianamente evoluído, com padrão de drenagem paralela, (Figura 5.40). Ocupa uma área de 91 km^2.

Figura 5.40. Porção aplainada de terreno contido no *Landform* 24 (Ponto 89).

O perfil de alteração deste *landform* se caracteriza por apresentar uma camada de solo essencialmente arenoso com espessura entre 0 e 2 m, (nas partes superiores), podendo chegar a 5 metros, em alguns pontos nas zonas mais baixas.

Muitas vezes, na transição entre as partes altas e baixas, ocorre um nível de concreções lateríticas, (Fm. Cachoeirinha). Nas porções de cotas inferiores, mostra-se pouco evoluído, ocorrendo apenas uma camada (< 2m) de concreções lateríticas, (Figura 5.41). Nestes locais, o substrato rochoso é formado por arenitos medianamente alterados da Formação Aquidauna a oeste e leste, por arenitos pouco alterados do Grupo Bauru.

Figura 5.41. Perfil pouco evoluído, rico em seixos e concreções lateríticas. Terreno típico das porções basais do *Landform* 24 (Ponto 115).

5.3.25. *LANDFORM* 25

Trata-se de região de relevo dissecado com topos sub-arredondados associados a vales em forma de “V” de porte médio. O padrão de drenagem é sub-dendrítico com média densidade de canais de 2ª ordem, (Figura 5.42). Ocupa uma área de 131 km^2.

Figura 5.42. Forma de encosta típica do *Landform* 25 (Ponto 105).

O perfil de alteração é formado por solo areno-argiloso, transportado, com espessura não superior a 2 metros, (pontos 105 e 106), relacionado à Formação Aquidauana, (Figura 5.43). Na meia encosta, é possível verificar ocorrência de um solo essencialmente arenoso, ocupando grande extensão areal, transportado e assentado sobre as rochas da Formação Ponta Grossa.

Figura 5.43. Material transportado, pouco espesso. Notam-se seixos arredondados na base do depósito (próximo do Ponto 111).

Neste *landform*, são comuns áreas exibindo indícios de falhamentos e feições indicativas de movimentos tectônicos, (Figura 5.44). Estas falhas justificam a sua grande heterogeneidade do ponto de vista de substrato rochoso, mas predominam os arenitos vermelhos pouco alterados da Formação Aquidauana.

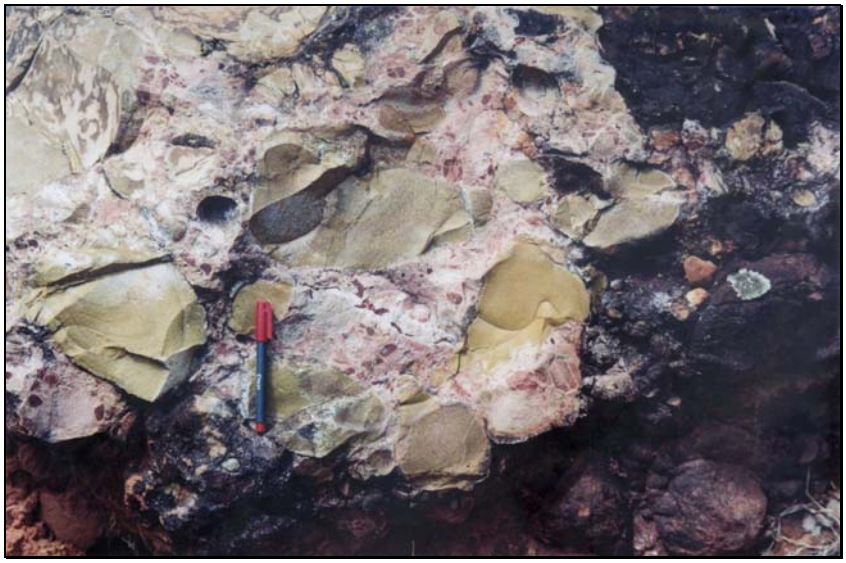


Figura 5.44. Brecha de falha tectônica (Ponto 111).

Na porção noroeste deste *landform* é possível encontrar feições erosivas de médio porte instaladas em material arenoso, avermelhado, com espessuras de até 5 metros. Tais feições se encontram, preferencialmente, margeando rodovias, (Ponto 100) e exibem níveis com concreções lateríticas também erodidas, (Figura 5.45). O substrato rochoso desta área é formado por siltitos e argilitos de cor cinza pertencente à Formação Ponta Grossa.

Figura 5.45. Feição erosiva de médio porte desenvolvida em material arenoso contendo concreções lateríticas (Ponto 100).

5.3.26. *LANDFORM* 26

É uma região mista, caracterizada, principalmente, pelos morros testemunho em meio a regiões aplainadas associadas a vales em "U" e poucos entalhados, (Figura 5.46). Apresenta uma área de 21,11 km^2.

Figura 5.46. Formas de relevo típico do *Landform* 26 (Ponto 110).

Este *landform* caracteriza-se por conter um material inconsolidado residual arenoso fino com argila, de coloração vermelho claro relacionado aos arenitos vermelhos da Formação Aquidauana que, neste *landform*, encontram-se alterados e com espessura de até 5 metros.

5.3.27. *LANDFORM* 27

Este *landform* Ocupa área de 34 km^2. Caracteriza-se por região que compreende uma porção elevada de terreno plano com forte quebra positiva, configurando um relevo de *"cuesta"* e um sopé medianamente evoluído, (Figura 5.47), tal como ocorre na porção norte do *Landform* 23, porém mais íngrime que o *Landform* 24, possui padrão de drenagem dentrítica.

Figura 5.47. Topo da encosta do *Landform* 27, material arenoso coberto por seixos de quartzo e concreções lateríticas (Ponto 132).

Na maior parte da sua área, exibe um perfil pouco evoluído, caracterizado ora por pequenos afloramentos de siltitos vermelhos, (próximo ao topo), possivelmente relacionado com a Formação Palermo, ora por uma camada laterítica na meia encosta. Nas partes mais baixas deste *landform* ocorre um material arenoso, amarelado, cuja espessura não ultrapassa a 5 metros.

O substrato rochoso é constituído, pelos sedimentos Terciários da Formação Cachoeirinha no topo, tendo na base os arenitos silicificados do Grupo Bauru.

5.3.28. *LANDFORM* 28

Constituído por terrenos ondulados, compostos por encostas convexas de grande porte, associados a vales pouco entalhados em forma de “V” (Figura 5.48). Apresenta baixa declividade e baixa densidade de canais de drenagem de 1ª ordem. Contempla a região de nascente do Ribeirão Ponte de Pedra, numa área de 75,47 km^2.

Figura 5.48. Forma de encosta típica do *Landform* 28 (Ponto 121).

O perfil de alteração é composto, na sua porção norte, por um material inconsolidado areno-argiloso com espessuras que não ultrapassam os 2 metros ocorrendo ainda uma faixa de arenito pouco alterado de pequena extensão areal, (Figura 5.49). Na porção central e sul, predominam solos essencialmente arenosos com espessuras superiores a 5 metros. O substrato rochoso é formado por arenitos da Formação Botucatu.

Associado ao material com fração areno-argiloso, são comuns as feições erosivas de médio porte, e estão relacionadas com a abertura de estradas, (Figura 5.50).

Figura 5.49. Afloramento de arenito Botucatu pouco alterado, exibindo o desenvolvimento de sulcos em material exposto (Ponto 121).

Figura 5.50. Feição erosiva ativa presente no *Landform* 28 (Ponto 120).

5.4. MAPA DE SUBSTRATO ROCHOSO (ANEXO 4)

O Mapa de Substrato Rochoso foi elaborado na escala 1:100.000, o mapa Geológico do Programa de Integração Mineral no Município de Rondonópolis, do Projeto PRIMAZ-MT, executado por (SCISLEWSKI et al., 1998), de STURZA (1999) e trabalhos de campo obtidos neste estudo.

Através de mapas pré-existentes, procurou-se gerar informações que completassem os dados necessários para caracterizar os tipos geológicos e estratigráficos, (Figura 5.51 e Anexo 4) e seus perfis de alteração relacionados aos materiais inconsolidados presentes na bacia estudada.

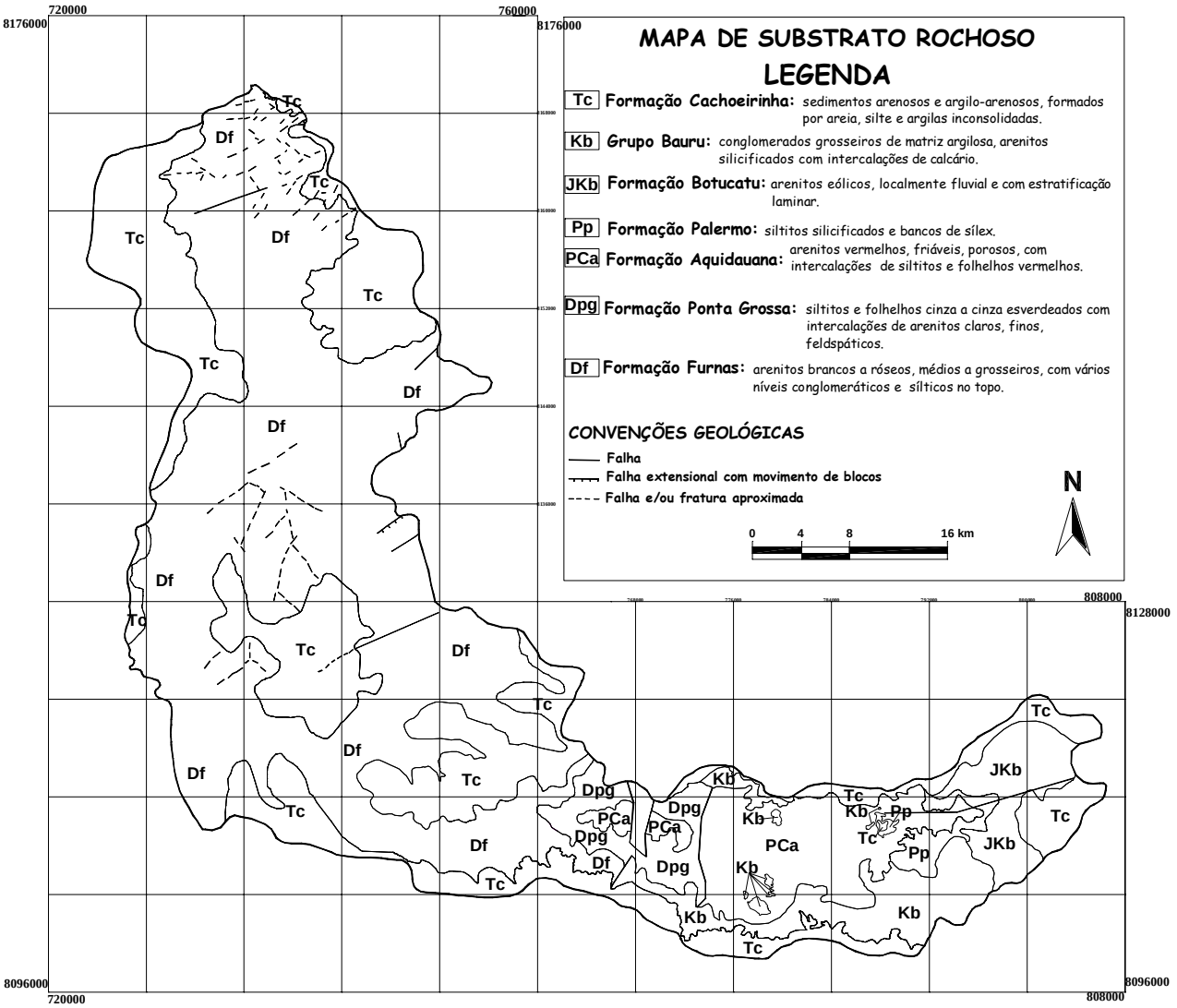


Figura 5.51. Mapa de Substrato Rochoso da bacia do Ribeirão Ponte de Pedra.

5.5. MAPA DE MATERIAIS INCONSOLIDADOS (Anexo 5)

O Mapa de Materiais Inconsolidados foi produzido seguindo-se a metodologia da EESC-USP, proposta por ZUQUETE (1993). É um documento cartográfico de grande importância para o estudo geotécnico de uma determinada área, por estar nele registrados os produtos resultantes de alteração dos materiais do substrato rochoso e exposição na superfície do terreno, sendo residuais e/ou transportados.

A confecção do Mapa de Materiais Inconsolidados foi procedida da seguinte forma:

- fotointerpretação em escala 1:60.000, inicialmente, com ênfase na separação das unidades de relevo e da caracterização do substrato rochoso;
- amostragem de campo;
- ensaios em laboratório;
- agrupamentos das amostras através de analises estatísticas através do programa; *Statistica ® 5.5*, classificando-as em classes texturais em função das porcentagens de areia, silte e argila das amostras ensaiadas;
- plotagem dos pontos em fotografias aéreas; e através de fotointerpretação, delimitação das classes de materiais inconsolidados, considerando gênese, textura e espessura;
- transferência para o mapa topográfico com o auxílio do *Sketch Master*,
- escaneamento e digitalização no *Auto Cad ® 14*.

Os materiais inconsolidados amostrados e mapeados foram identificados como sendo de natureza residual e os que sofreram retrabalhamento, tem como origem, os

sedimentos das formações Furnas e Aquidauana, ocorrem também, aluviões próximas ao Ribeirão Ponte de Pedra e demais córregos da bacia.

Com o objetivo de proceder à classificação textural dos materiais inconsolidados, realizou-se uma análise estatística multivariada, com uso da técnica de agrupamento pareado igualmente ponderado, empregando-se a medida de distância euclidiana com o auxílio do aplicativo *STATISTICA*® 5.5. Conforme LANDIM (2001), esta técnica classificatória pode ser utilizada quando se deseja explorar os níveis de similaridades entre indivíduos (pares/grupos), (modo Q), ou entre variáveis, (modo R), definindo-os em grupos, considerando simultaneamente, no modo Q, todas as variáveis medidas em cada indivíduo.

O resultado é ilustrado em um dendrograma, que permitiu uma melhor separação textural dos solos a partir dos *clusters*, (agrupamentos), verificados. Esta técnica de agrupamento dos dados das análises granulométricas de amostras de solo foi utilizada de modo satisfatório por AMORIM (2003), como subsídio para obtenção do mapa de materiais inconsolidados.

Através do dendograma produzido e dos possíveis agrupamentos e especificamente quando a distância euclidiana igual a 25, foram definidos (5) cinco grupos de materiais inconsolidados, em função dos percentuais de areia, silte e argila. Estes materiais foram separados utilizando-se fotos áreas, dados de descrições de 172 pontos em campo e as unidades de terreno do Mapa de *Landforms*, (Anexo 3), classificando-os como: materiais muito arenosos, arenosos, areno-siltosos, argilosos e muito argilosos, além das aluviões depositadas nos leitos e margens dos córregos e do Ribeirão Ponte de Pedra.

Foi produzido o dendograma resultante da análise de agrupamento de 81 amostras, (Figura 5.52). A partir destes dados foi produzido o Mapa de Materiais inconsolidados final.

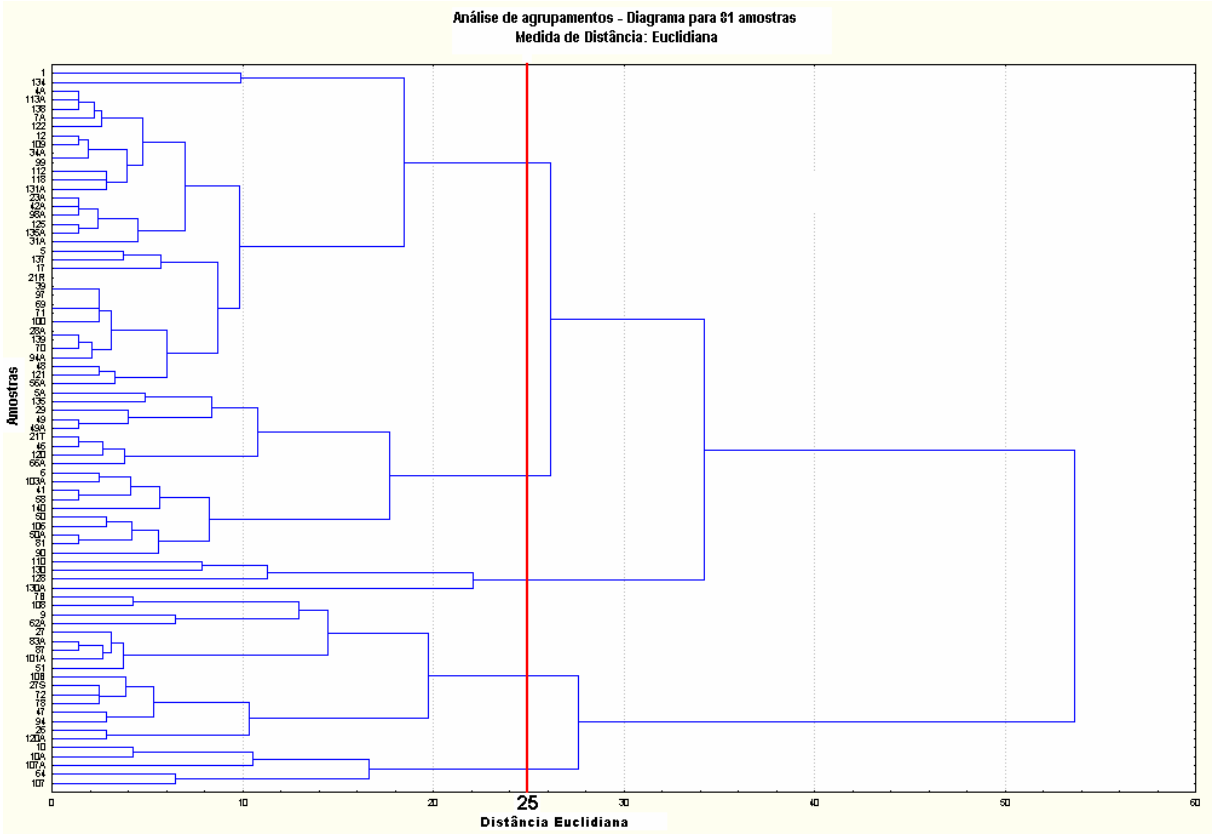


Figura 5.52. Dendograma mostrando análise de agrupamentos entre as 81 amostras de materiais inconsolidados conforme os resultados dos ensaios de granulometria conjunta.

Para melhor caracterização dos materiais inconsolidados ora amostrados, foram realizados ensaios de azul de metileno para verificação da capacidade de troca catiônica, (CTC), tanto das amostras de solo com da fração argilosa, a superfície específica (SE) total, o valor de adsorção de azul de metileno para os solos (Vb), o índice de adsorção da fração argila dos solos (Acb). Para determinação do comportamento laterítico foi procedida inferência através da Figura 5.53 e da atividade das argilas através da Figura 5.54, conforme (PEJON, 1992), do potencial expansivo, conforme a Figura 5.55 (PEJON, 2000). A massa específica dos sólidos (ρs) foi determinada para as 81 (oitenta e uma) amostras de solos deformadas; em amostras indeformadas, foram obtidos outros índices físicos, como massa específica seca (ρ_d), índice de vazios (e) e porosidade (n).

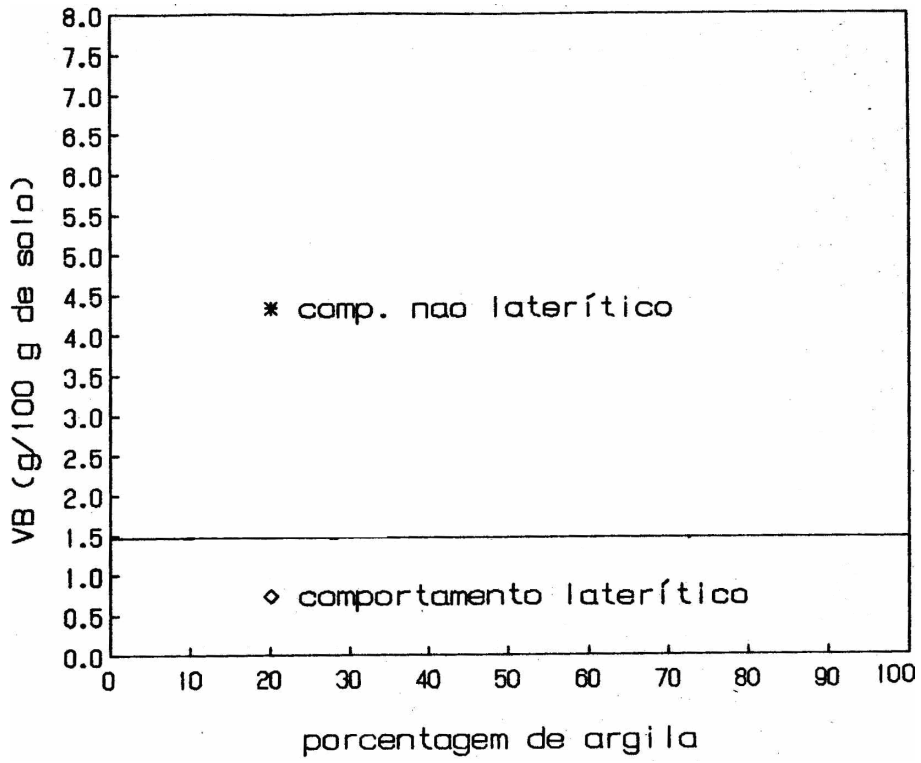


Figura 5.53. Gráfico utilizado para classificar os materiais inconsolidados através do ensaio por adsorção de azul de metileno em função da porcentagem de argila presente na amostra. LAUTRIN (1987 e 1989), apud PEJON (1992).

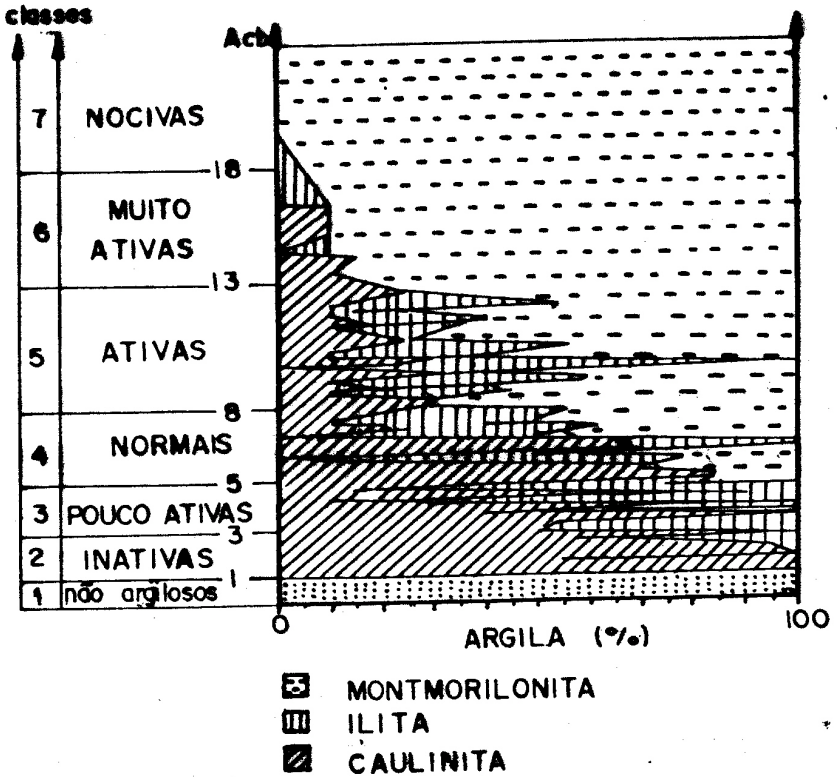


Figura 5.54. Diagrama utilizado para determinação da atividade e o tipo das argilas presentes nas amostras de Material Inconsolidado, através do ensaio pelo método do azul de metileno (LAUTRIN (1989), apud PEJON, 1992).

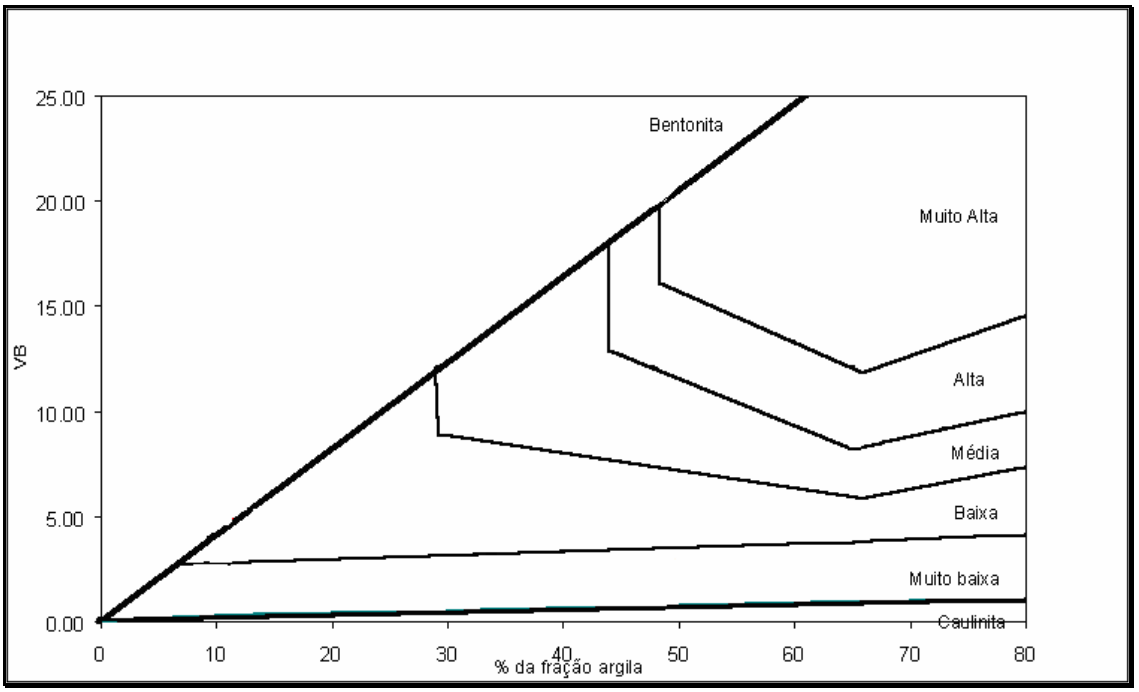


Figura 5.55. Gráfico utilizado para determinação do potencial expansivo das amostras ensaiadas pelo método de azul de metileno.(PEJON, 2000).

Os resultados dos ensaios realizados indicam que os materiais inconsolidados da Bacia do Ribeirão Ponte de Pedra possuem comportamento laterítico, com a presença de argilas do tipo caulinita, inativas ou pouco ativas, apresentam potencial expansivo muito baixo. Os tipos de materiais inconsolidados mapeados na área de estudo estão descritos a seguir.

Classe 1

Os materiais inconsolidados desta unidade foram classificados como muito arenosos pouco evoluídos e possuem composições granulométricas variando de 71% a 93% de areia, 2% a 20% de silte e de 4% a 20% de argila; possuindo espessuras menores que 5 metros, de colorações claras, às vezes avermelhadas, dependendo do material de origem, sendo considerados residuais aqueles formados a partir das Formações Furnas, Ponta Grossa, Aquidauana, Botucatu e Grupo Bauru e os retrabalhados, os oriundos das Formações Furnas e Aquidauana. Ocupam uma superfície de aproximadamente 724 km^2 ou 34% da área da bacia

estudada, ocorrem em setores desde fundo de vales a cabeceiras, que correspondem a zonas de transição entre a depressão do Ribeirão Ponte de Pedra e as regiões de planalto. Das amostras analisadas, todas apresentaram comportamento laterítico e argilas inativas ou poucas ativas. A Tabela 5.2 mostra os resultados dos ensaios laboratoriais que deram subsídios para a caracterização desses materiais.

	Granulometria %			r d g/cm^3	r s g/cm^3	e	N%	CTC-solo Cmol/kg	CTC-argila Cmol/kg	SE m^2/g*	Vb g/100g de solo	Acb g/100g de argila
	Areia	silte	Argila									
Máximo	93	20	20	1,755	2,715	1,04	0,51	3,50	25,00	27,76	0,82	8,10
Mínimo	71	2	4	1,327	2,587	0,49	0,33	0,40	2,86-	2,12	0,09	0,96

m = massa de azul de metileno seco (g)

Tabela 5.2. Caracterização das amostras dos materiais inconsolidados da Classe 1.

Das 27 (vinte e sete) amostras pertencentes a esta classe para determinação do índice de erodibilidade, 8 (oito) posicionaram-se na parte superior do gráfico construído (domínio E < 1) (Figura 5.56) , utilizando-se a equação E = 40 S/P de PEJON (1992), sendo **S,** o índice de absorção de água do corpo de prova e **P,** o peso inicial seco da amostra, (Tabela 5.3). Essas amostras correspondem aos materiais inconsolidados muito arenosos e relacionados às 27 feições erosivas mapeadas, (15 boçorocas de grande porte, 10 áreas com sulcos e ravinamentos, 2 erosões marginais).

A Figura 5.57 mostra um terreno muito arenoso pertencente à classe 1, enquanto que a Figuras 5.58 e 5.59, além de exibir esses materiais, os relacionam com as feições erosivas cadastradas pertencentes a classe 1.

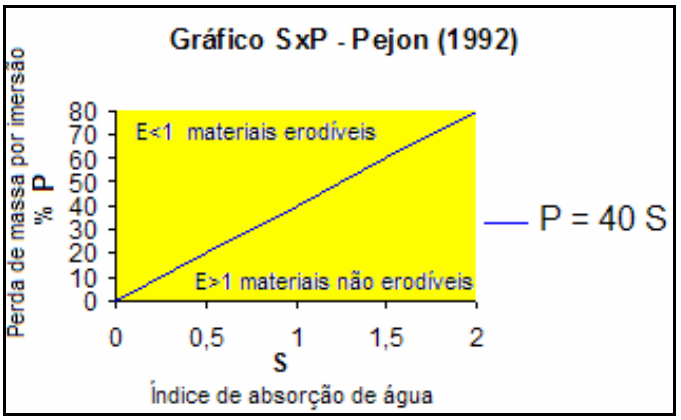


Figura 5.56. Gráfico SxP utilizado para classificação da erodibilidade de amostras de ensaios de materiais inconsolidados.

Figura 5.57. Material muito arenoso da Classe 1 (Ponto 5).

Figura 5.58. Exemplo de boçoroca verificada no domínio dos Materiais Inconsolidados da Classe 1 (Ponto 28a).

Ponto Nº	areia%	silte%	argila%	E40	Feições erosivas
1	76	20	4	33.45	não
4a	83	8	9	3.02	não
5	82	9	7	18.21	sim
7a	85	6	9	0.80	sim
12	87	5	8	*	sim
17	78	10	12	197.00	não
21	81	6	13	*	sim
23a	91	3	6	*	não
28a	82	4	14	0.87	sim
31a	93	3	4	1.09	sim
34	86	4	10	*	sim
39	81	6	13	924.10	não
42	91	2	7	*	não
48	78	4	18	*	sim
56a	78	2	20	6.90	não
69	80	5	15	7.00	não
70	83	4	13	0.60	sim
71	80	5	15	6.42	sim
94a	83	5	12	70.17	sim
97	81	6	13	3.98	sim
98a	90	3	7	22.43	sim
99	86	4	10	0.73	sim
100	79	7	14	0.85	sim
109	87	4	9	462.55	não
112	88	7	5	*	não
113a	83	7	10	49.49	não
118	86	7	7	0.47	sim
121	80	3	17	0.68	sim
122	82	7	11	5.33	não
125	90	2	8	*	não
131a	88	5	7	0.92	sim
134	71	17	12	168.15	não
135a	89	2	9	174.00	não
137	80	12	8	11.01	sim
138	84	7	9	*	sim
139	82	4	14	44.10	não

Tabela 5.3. Textura, resultado de ensaio de erodibilidade e existência de feições erosivas em ponto de amostra de material inconsolidado da Classe 1.

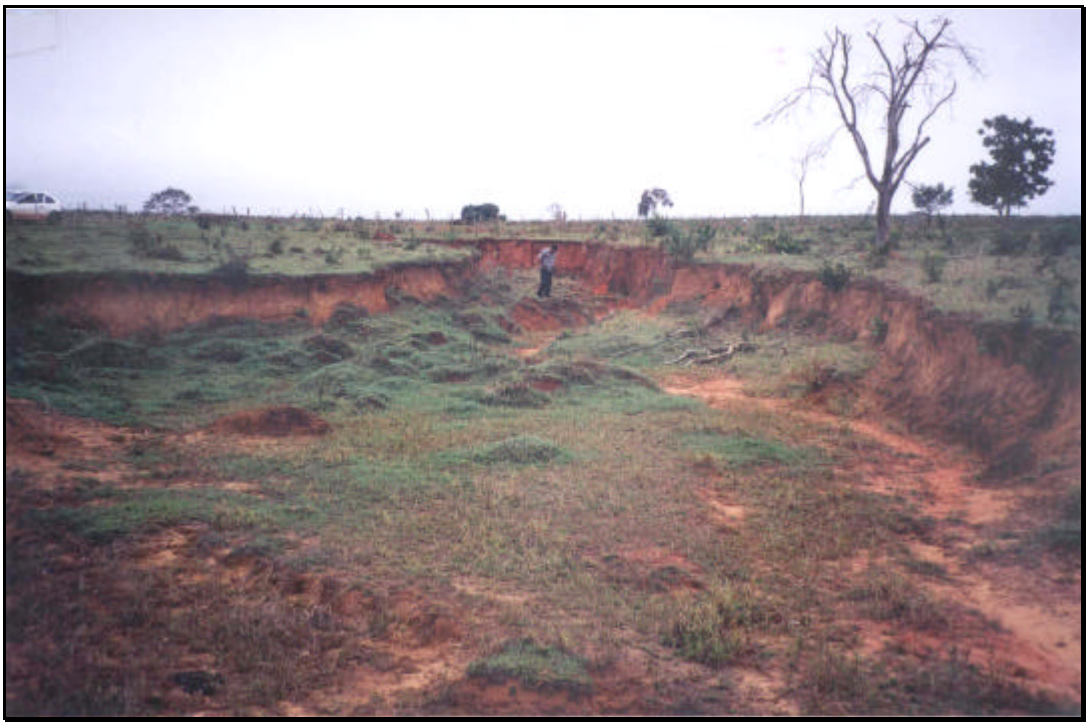


Figura 5.59. Boçoroca existente no domínio dos Materiais Inconsolidados da Classe 1 (Ponto 97).

Classe 2

Os materiais desta unidade caracterizam-se por ser de textura arenosa ou areno-argilosa e composições granulométricas variando nas proporções: areia de 52% a 76%, silte de 4% a 12% e argila de 18% a 41%, (Tabela 5.4); as espessuras verificadas são menores que 5 metros e às vezes estão assentados diretamente sobre a rocha matriz. Os materiais situados em altos topográficos, possuem espessuras superiores a 5 metros, colorações cinza, às vezes amarelada e são formados a partir de materiais arenosos pertencentes às Formações Furnas e Cachoeirinha. Ocupam área em torno de 491 km^2 ou 23,4% da área da bacia, ocorrendo em bordas de platôs, em relevo de declividade até 10%. Correspondem a faixas situadas entre áreas planas constituídas de materiais muito arenosos presentes na porção central da bacia e outras duas áreas situadas nas nascentes do Ribeirão Ponte de Pedra. A amostra que apresentou CTC do solo igual a 6,00 Cmol/kg e CTC da argila igual a 27,27 Cmol/kg, caracterizada como

sendo representante dessa classe com comportamento não laterítico e argilas ativas, em vista das demais amostras que exibiram comportamento laterítico e argilas inativas.

	Granulometria %			γ_d g/cm^3	γ_s g/cm^3	e	N%	CTC-solo Cmol/kg	CTC-argila Cmol/kg	SE m^2/g	Vb g/100g de solo	Acb g/100g de argila
	Areia	silte	Argila									
Máximo	76	12	41	1,655	2,708	1,18	0,54	6,00	27,27	47,33	1,93	8,79
Mínimo	52	4	18	1,213	2,609	0,60	0,38	0,80	3,44	6,39	0,26	1,06

Tabela 5.4. Caracterização das amostras dos materiais inconsolidados da Classe 2.

Da Classe 2, foram ensaiadas 16 amostras para se determinar o índice de erodibilidade, sendo que somente 3 (três) corresponderam a materiais erodíveis (Tabela 5.5), porém foram mapeados 16 feições erosivas, 11 boçorocas de grande porte e 5 áreas com sulcos e ravinamentos. A Figura 5.60 exibem imagem do corte em terreno expondo materiais inconsolidados pertencente da classe 2.

Ponto Nº	areia%	silte%	argila%	E40	feições erosivas
5a	54	12	34	47.30	não
6	75	6	19	0.40	sim
21	63	7	30	*	sim
29	52	7	41	0.83	sim
41	73	5	22	2.39	não
46	62	8	30	44.84	não
49	55	6	39	2.17	sim
49a	55	7	38	83.75	não
50	69	7	24	8.26	sim
50a	66	9	25	1.78	não
58	73	4	23	0.93	sim
66a	64	4	32	101.11	não
81	66	8	26	9.92	sim
90	70	4	26	*	não
103a	76	4	20	10.94	não
106	69	9	22	57.68	não
120	62	6	32	1.92	sim
135	58	10	32	12.96	sim
140	73	9	18	*	não

Tabela 5.5. Texturas, resultados dos ensaios de erodibilidade e presença de feições erosivas nos locais de amostragem de materiais inconsolidados da Classe 2.

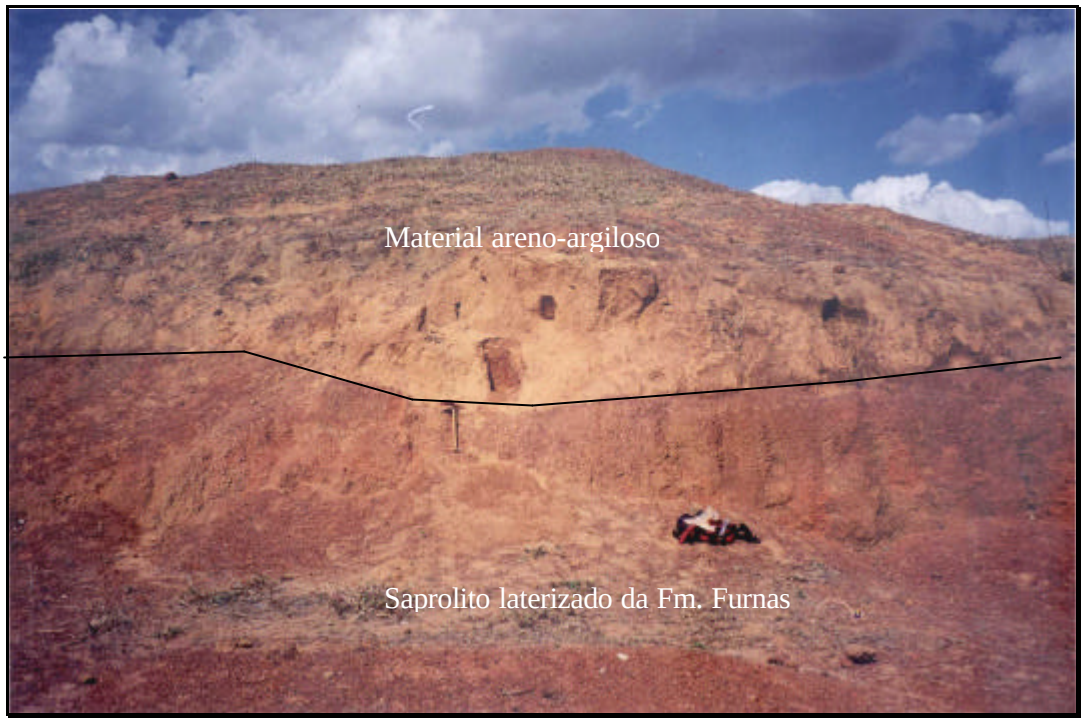


Figura 5.60. Material areno-argiloso da classe 2, sob saprolitos laterizados da Formação Furnas (Ponto 81).

Classe 3

Os materiais inconsolidados desta classe são areno-siltosos, com composições granulométricas variando de areia de 44% a 63%, silte de 19% a 40% e argila de 16% a 23%, (Tabela 5.6); são mediamente espessas, possui terrenos escarpados por erosão, principalmente na porção nordeste da Serra do Espigão Mestre, onde expõem as rochas do Grupo Bauru e da Formação Palermo. A área de ocupação dessa classe é de 74,91 km^2 ou 3,5 % da bacia.

Todas as amostras desta classe apresentam comportamento laterítico e somente uma apresentou argilas pouca ativas, diferentemente das demais que são inativas.

	Granulometria %			r d g/cm^3	r s g/cm^3	e	N%	CTC-solo Cmol/kg	CTC-argila Cmol/kg	SE m^2/g	Vb g/100g de solo	Acb g/100g de argila
	Areia	Silte	Argila									
Máximo	63	40	23	1,645	2,694	0,93	0,48	1,90	9,44	15,21	0,62	3,08
Mínimo	44	19	16	1,379	2,664	0,67	0,40	0,90	5,63	6,84	0,28	1,75

Tabela 5.6. Caracterização das amostras dos materiais inconsolidados da Classe 3.

Nesta Unidade, em que os ensaios de erodibilidade caracterizaram os materiais como não erodíveis, foi encontrado somente um ravinamento desencadeado por um corte de estrada, (Ponto 128). Na Tabela 5.7, estão apresentados os resultados de ensaios para 4 amostras de materiais inconsolidados coletados nesta classe, enquanto a Figura 5.61 mostra a forma de ocorrência dos materiais areno-siltosos, típico da classe 3 no terreno estudado.

Ponto Nº	areia%	silte%	argila%	E40	feições erosivas
110	54	28	18	182.18	não
128	63	19	18	377.97	sim
130	55	22	23	*	não
130a	44	40	16	15.56	não

Tabela 5.7. Texturas e resultados dos ensaios de erodibilidade em amostras de materiais inconsolidados da Classe 3.

Figura 5.61. Terreno areno-siltoso mediamente espesso da Classe 3 (em primeiro plano), (Ponto 130).

Classe 4

Esta classe é formada por materiais argilo-arenosos, com frações de areias variando de 32% a 47%, de silte entre 6% a 23% e de argila variando de 30% a 57%, (Tabela 5.8), apresentam perfis evoluídos; espessos a mediamente espessos, posicionados em áreas com declividade abaixo de 5%, possuem coloração entre vermelho e amarelo, por vezes

amarelado e são formados a partir dos materiais rochosos de composição menos argilosa da Formação Cachoeirinha. Ocupa uma área em torno de 446 km^2 ou 21,3% da superfície estudada, ocorre em porções de relevo suavemente ondulado da região central da bacia, facilmente observadas nas proximidades das vilas de Anhumas e São José do Planalto e a nordeste, na Serra da Onça e Pedreira Emal Ltda. A única amostra classificada como não laterítica e argilas pouca ativa apresentou Vb 2,5 g/100g de solo e Acb 4,38 g/100g da fração argilosa; as demais apresentaram comportamento laterítico, com argilas inativas.

	Granulometria %			r d g/cm^3	r s g/cm^3	e	N%	CTC-solo Cmol/kg	CTC-argila Cmol/kg	SE m^2/g	Vb g/100g de solo	Acb g/100g de argila
	Areia	silte	argila									
Máximo	47	23	57	1,595	2,783	1,53	0,64	7,80	13,68	61,10	2,50	4,38
Mínimo	32	6	30	1,047	2,639	0,66	0,4	1,40	3,33,	11,02	0,45	1,07

Tabela 5.8. Caracterização das amostras dos materiais inconsolidados da Classe 4.

Desta classe foram coletadas 11 amostras para estudo de erodibilidade, sendo caracterizadas como erodíveis apenas duas, justamente a coletada dentro da boçoroca do Ponto 26, (Figura 5.62), e outra, coletada próxima às outras 3 feições erosivas com extensões kilométricas, localizadas na Fazenda Ijuí, também se registrou 2 erosões marginais, uma no córrego ao lado da BR 364 (Ponto 87) e outra na margem do Córrego Buriti (Ponto 51 – Figura 5.63). As demais amostras ensaiadas não estão relacionadas com feições erosivas, que são raras nessa classe.

A Tabela 5.9 mostra os resultados de ensaios das amostras de material inconsolidado dessa classe.

Figura 5.62. Boçoroca kilométrica existentes no domínio dos Materiais Inconsolidados da Classe 4 (Ponto 26).

Figura 5.63. Erosão marginal desenvolvida as margens do Corrego Buriti, em Materiais Inconsolidados da Classe 4 (Ponto 51).

Ponto Nº	areia%	silte%	Argila%	E40	feições erosivas
7b	47	23	30	19.56	não
9	35	23	42	44.35	não
10b	32	14	54	*	não
26	42	8	50	0.63	sim
27	33	10	57	*	sim
47	37	8	55	0.92	não
51	45	14	41	*	sim
62a	40	22	38	*	sim
72	34	11	55	123.48	sim
78	32	12	56	*	não
83a	46	12	42	102.79	não
87	47	11	42	15.67	sim
94	35	8	57	11.09	não
101a	46	10	44	60.07	não
108	47	20	33	696.90	sim
120a	42	6	52	6.48	não

Tabela 5.9. Composições granulométricas, erodibilidade e presença de feições erosivas em materiais inconsolidados da Classe 4.

Classe 5

Nesta classe, os materiais inconsolidados caracterizam-se por serem muito argilosos, com perfis profundos, coloração vermelha escura, composições granulométricas variando nas seguintes frações: areia de 16% a 23%, silte de 10% a 24% e argila de 58% a 72%, conforme a (Tabela 5.10). Ocupam relevos tabulares entre plano a suavemente ondulado, declividade variando de 0 a 5 % e são formados a partir de materiais argilosos pertencentes à Formação Cachoeirinha. Ocupam 191,38 km^2 ou 9,14% da bacia. São solos lateríticos. Apenas uma amostra revelou característica não argilosa (Acb 0,91g/100g de argila); enquanto que as demais foram consideradas com argilas inativas.

Através dos resultados dos ensaios para determinação de índice de erodibilidade concluiu-se que esta classe é constituída de materiais não erodíveis, conforme a Tabela 5.11 e Figura 5.64.

	Granulometria %			r d g/cm³	r s g/cm³	e	N%	CTC-solo Cmol/kg	CTC-argila Cmol/kg	SE m²/g	Vb g/100g de solo	Acb g/100g de argila
	Areia	silte	argila									
Máximo	23	24	72	1,181	2,732	1,42	0,59	4,40	7,21	34,65	1,42	2,32
Mínimo	16	10	58	1,13	2,617	1,25	0,55	1,60	2,92	12,53	0,51	0,91

Tabela 5.10. Caracterização das amostras dos materiais inconsolidados da Classe 5.

Ponto Nº	areia%	silte%	argila%	E40	feições erosivas
10	20	19	61	94.55	**não**
10a	23	19	58	*	**não**
64	18	10	72	*	**não**
107	17	15	68	4.94	**não**
107a	25	24	51	36.06	**não**

Tabela 5.11. Composições granulométricas, erodibilidade e não ocorrências de feições erosivas em materiais inconsolidados da Classe 5.

Figura 5.64. Terreno de ocorrência de Materiais muito argilosos da Classe 5 (Ponto 11).

Aluviões

Os depósitos aluvionares são constituídos, predominantemente, por areias de granulação grosseira a fina, de coloração clara, além de silte e argilas cinza escura. São encontradas, principalmente nas calhas e planícies do Ribeirão Ponte de Pedra, córregos Anhumas, Vertente Comprida e do Birro.

O Anexo 8, mostra os resultados, de forma integralizada, de todos os ensaios laboratoriais realizados e enquanto a Figura 5.65, os tipos e espessuras dos materiais inconsolidados da Bacia do Ribeirão Ponte de Pedra.

Figura 5.65 – Mapa de Materiais inconsolidados

5.6. MAPA DE USO E OCUPAÇÃO (Anexo 6)

Este mapa tem por objetivo, fornecer informações a respeito dos tipos de uso e de ocupação dos terrenos da região da bacia estudada, além de delimitar a distribuição e analisar as conseqüências ambientais relacionadas às ações antrópicas. Na sua confecção, foi utilizada imagem de satélite LANDSAT 7 – TM de 2002, com resolução espacial de 30 m e dados coletados em campo.

Em etapa preliminar de escritório, foi efetuada análise prévia da imagem de satélite em composição colorida Bandas 4, 5 e 3 ou RGB (*Red, Green e Blue*), que são as mais utilizadas para essa finalidade, por existir a melhor definição dos padrões de uso, (na qual foram selecionadas áreas a serem utilizadas como amostras de treinamento para a classificação supervisionada da imagem). A Figura 5.66 mostra a imagem original recortada, antes do geoprocessamento.

O georeferenciamento, ou correção geométrica foi necessário para o ajuste da imagem um espaço definido por um sistema de coordenadas de referência, ou seja, ao sistema UTM (*Universal Transversa de Mercator*). Utilizou-se 11 pontos com coordenadas, que foram retiradas das folhas topográficas do ME-DSG (Ministério do Exército – Diretoria de Serviços Geográficos) e devidamente reconhecidas na área estudada, tais como, cruzamentos de estradas e de pontes em rodovias, que não tiveram mudanças desde execução da folha, até o registro da imagem pelo satélite. Após a correção geométrica, calculou-se o valor *RMS* (Erro Médio Quadrático) que foi de 1,3801, que representa o desvio entre os valores calculados em relação aos originais.

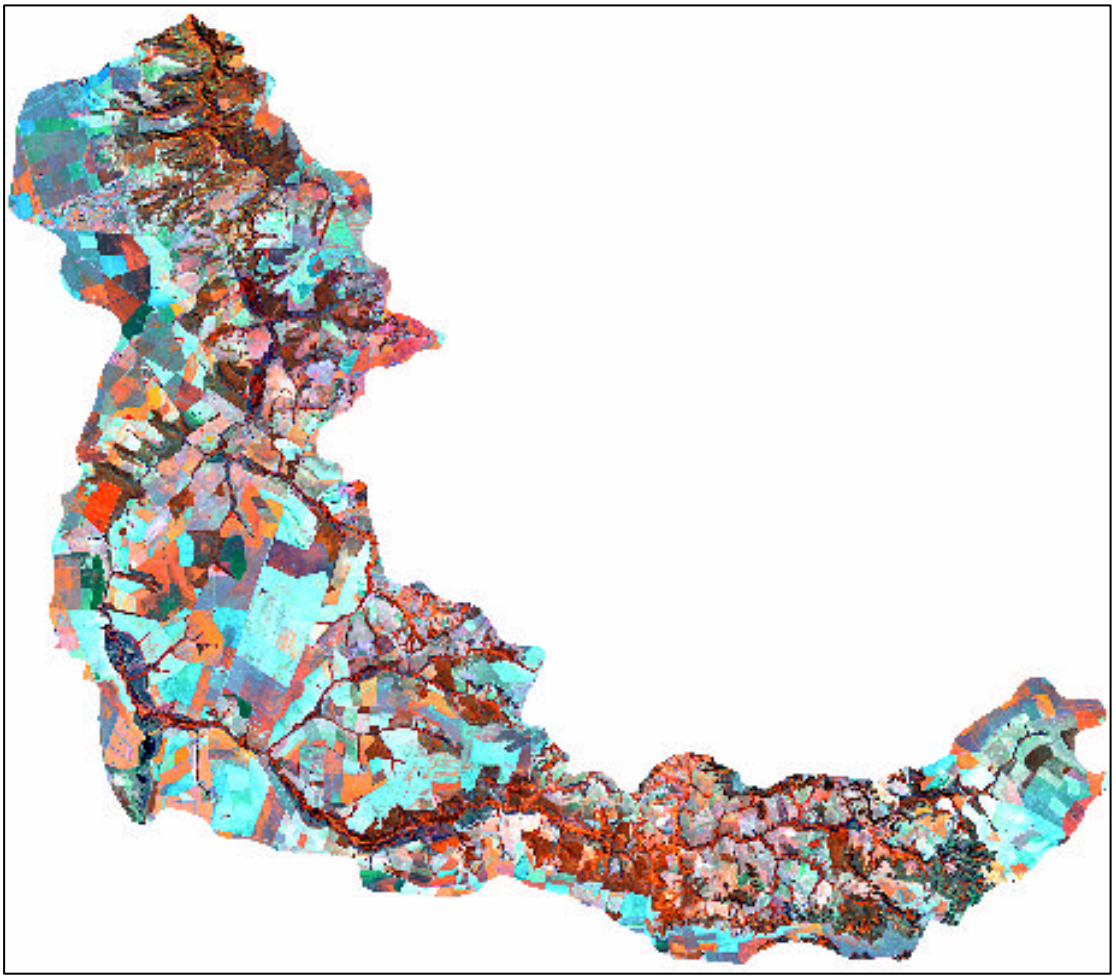


Figura 5.66. Imagem do satélite LANDSAT – TM, nas composições coloridas (RGB) da bacia estudada de junho/2002.

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

Seguiu os seguintes comandos, para proceder ao georeferrenciamento:

- *Registro/Selecionar Pontos de Controle e Rectificar Imagens/Imagem para Mapa*

- *Registro/Rectificar com Ponto de Controle Predefinidos/Imagem para Mapa*

Outra etapa de geoprocessamento é a correção geométrica da imagem, que consiste na *transformação afim*, ou seja a correção de quaisquer distorções de escala, deslocamento ou rotação existente entre a imagem e o mapa. A transformação de coordenadas é então modelada usando-se um único polinômio linear de baixa ordem, obtido através de um ajuste pelo método dos mínimos quadrados em relação aos Pontos de Controle de Terreno (CROSTA 1993). Este método foi utilizado para a transformação polinomial de 2ª ordem na correção da distorção da imagem em relação aos pontos de controle de terreno estabelecidos.

Através da imagem georeferenciada, foram determinadas as classes de uso e ocupação verificada na bacia estudada e com base nas informações obtidas em campo, definindo na imagem, as regiões de interesse das diferentes classes de uso.

Em seguida, partiu-se para o procedimento de classificação multiespectral, que consistiu em atribuir a cada *pixel* da imagem, um grupo de classes definidas, obtendo regiões mais homogêneas possíveis do ponto de vista espectral. De acordo com CROSTA (1993), existem duas abordagens na classificação de imagens multiespectrais de sensoriamento remoto. A primeira dela denomina-se **classificação supervisionada**, em que o usuário identifica alguns dos *pixels* pertencentes às classes desejadas e deixa o computador a tarefa de localizar todos os demais *pixels* pertencentes àquelas classes, outra é chamada de **classificação não-supervisionada**, em que o computador decide, quais as classes a serem separadas e quais os *pixels* pertencentes a cada uma.

A classificação supervisionada foi adotada neste trabalho, em vista das informações prévias de classes de uso da área em questão. Para se definir as regiões de interesse, adotou os seguintes comandos do *ENVI ®3.2:*

- *Basico/Região de Interesse/Definir Região de Interesse.*

- *Classificação/Supervisionada/ Máxima Verossimilhança*

Com estes procedimentos foi gerando um arquivo de regiões de interesse (*ROI*) que serviu de base para a classificação final da imagem pelo método de Máxima Verossimilhança, conforme as amostras de treinamento definidas abaixo:

- reflorestamento (eucalíptos);
- pastagem;
- Solo Exposto/Extração Mineral;
- planície de inundação/represa/várzea/rio;
- lavoura;
- vegetação de cerrado/campo cerrado;
- mata de galeria/floresta.

O resultado da classificação pode ser verificado através do *ENVI ® 3.2* no módulo de matriz de confusão ou de erros, fornecendo a sua exatidão global e o seu coeficiente *kappa*. A exatidão global representa a relação percentual entre o número de *pixels* bem classificados nos setores ocupados pelas amostras de treinamento, pelo número total de pixels que as amostras de treinamento ocupam. O coeficiente *kappa* incorpora a informação dos *pixels* mal classificados por erros de omissão e inclusão de *pixels* que afetam cada uma das classes de uso. O Coeficiente *Kappa* da imagem após a classificação, foi de 0,8634, considerada como excelente em comparação com os valores da estatística *Kappa* da Tabela 5.12.

Após esses procedimentos, com o objetivo de eliminação de pixels mal classificados, pode-se aplicar filtros para corrigir esses erros através do refinamento da classificação, conforme os comandos abaixo do *ENVI ®3.2*:

- *Filtros/Filtros de Convolução/Mediano;*

- *Classificação/ Pos Classificação/ "Clump" classes;*

- *Classificação/ Pos Classificação/ "Sieve" classes;*

Valor de Kappa	Qualidade do mapa temático
< 0,00	Péssima
0,00 – 0,20	Ruim
0,20 – 0,40	Razoável
0,40 – 0,60	Boa
0,60 – 0,80	Muito Boa
0,80 – 1,00	Excelente

Tabela 5.12. Qualidade da classificação e valores da estatística *Kappa*. (conforme LANDIS ; KOCH, (1977).

O filtro de convolução mediana é feito com uma máscara por cima da imagem, geralmente utilizando-se uma matriz 3x3, onde o pixel central da máscara adquire o valor médio dos seus vizinhos. Os filtros *Clump* e *Sieve* servem para aglutinar ou separar *pixels* isolados contidos num domínio de classe.

Ocorreram alguns erros na classificação final da imagem, apesar dos cuidados adotados nos procedimentos acima descritos, devido a algumas indefinições dos padrões de cores espectrais de áreas com plantio de soja, algodão e milho, assim como de terrenos arados e de solo exposto. Para as correções desses erros de classes de uso, utilizou-se a função editar classificação (C*lassedit*).

A Tabela 5.13 apresenta a distribuição em área, das classes de uso e ocupação na Bacia do Ribeirão Ponte de Pedra; há também três projetos de construção de PCHs (Pequenas Centrais Hidrelétricas), respectivamente com capacidade de 26,6, 26,4 e 18,60 MW, utilizando o potencial de geração de energia da bacia através de represamento das águas e desvio do leito do rio. Constatou-se a existência de dois assentamentos rurais, em que os colonos utilizam suas terras no plantio e pecuária e de dois parques ecológicos, um particular e outro estadual criado respectivamente, em 1997 e 2002, com o objetivo de preservar as

florestas e áreas virgens próximas à foz do Ribeirão Ponte de Pedra e à margem esquerda do Rio Vermelho; foram identificadas duas áreas com acúmulo de lixos nocivos (irregular), utilizadas por fazendas da região para disposição de materiais orgânicos, (restos de animais e grãos prensados de algodões) e até embalagens de agrotóxicos. Estes locais de uso, não estão representados no Mapa de Uso e Ocupação e tão pouco na tabela de classes de uso, uma vez que não foram visualizados em imagem de satélite, mas as localizações estão plotados no Mapa de Documentação (Anexo 1).

Tipo de Uso	**Área km^2**
Reflorestamento (eucalíptos)	13,55
Pastagem	582,32
Solo Exposto/Extração Mineral	1,09
Planície de inundação/Represa/Várzea/Rio	34,89
Lavoura (soja, algodão, milho, sorgo)	916,52
Cerrado/Campo Cerrado	393,31
Mata de Galeria/Floresta	149,03

Tabela 5.13. Classes de Uso e Ocupação classificadas e delimitadas na área estudada.

A título comparativo entre o uso atual e principalmente, no tocante a substituição de grande áreas de cerrados por lavouras ou pastagens e a diminuição acentuada de matas e florestas, nota-se claramente na Figura 5.67, que mostra o uso e ocupação da bacia no ano de 1982, conforme (LOUREIRO et al., 1982) e a Figura 5.68, que exibe o uso e ocupação gerada pela imagem de satélite no ano de 2002, checados em campo nesse mesmo período e em 2003.

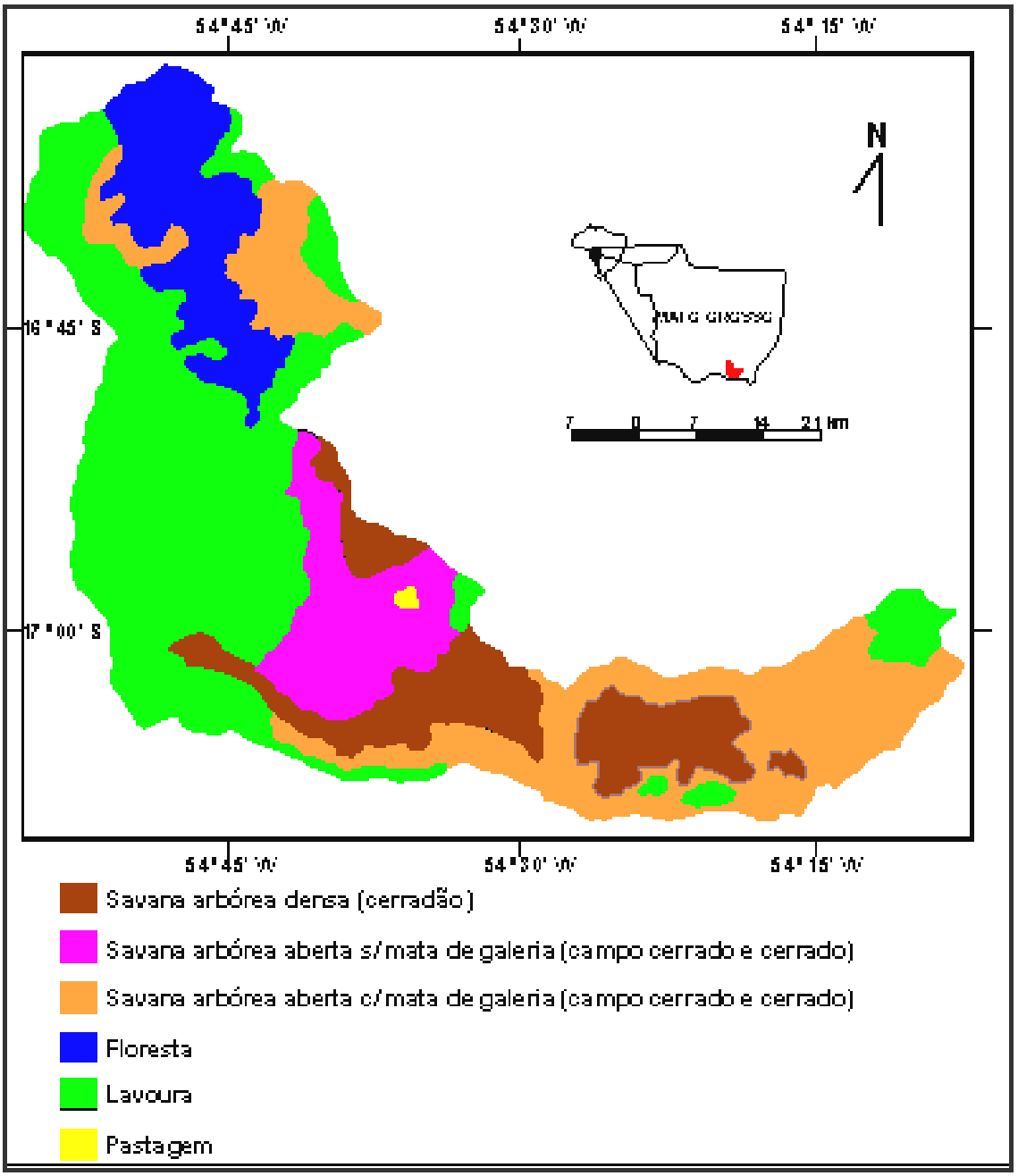


Figura 5.67. Uso e ocupação da bacia em 1982, conforme LOUREIRO et al. (1982).

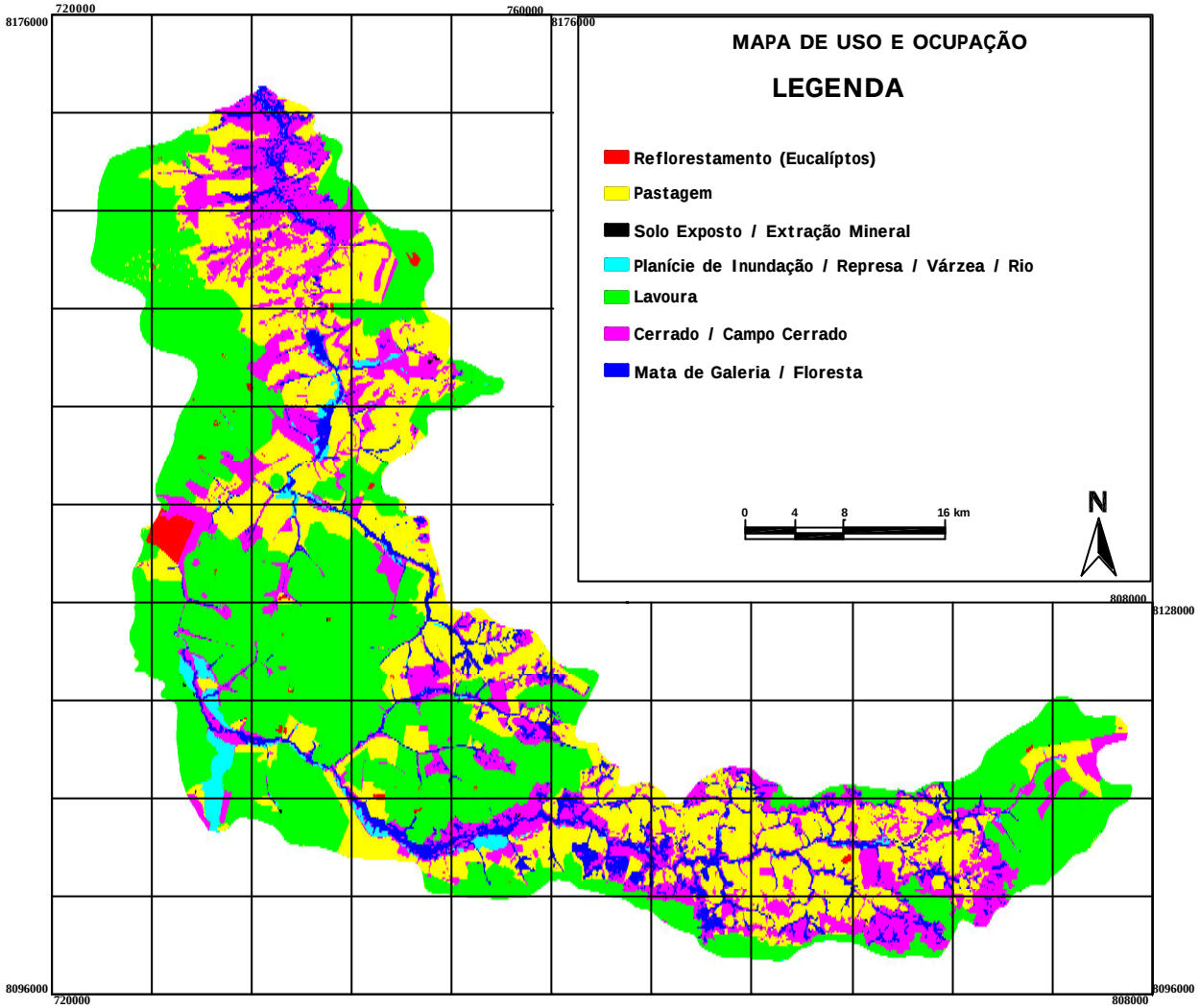


Figura 5.68. Uso e ocupação da bacia estudada pela imagem de 2002.

A Bacia do Ribeirão Ponte de Pedra foi segmentada em 7 tipos de uso e ocupação do solo. A descrição e a visualização (em imagem de satélite e em fotografia de campo) de cada tipo são mostradas a seguir:

5.6.1. Reflorestamento (eucalíptos)

São formações florestais homogêneas, a partir de plantações de eucalipto (Figuras 5.69 e 5.70). É de ocorrência restrita e ocupa apenas 13,55 km^2 ou 0,6% da área total da bacia.

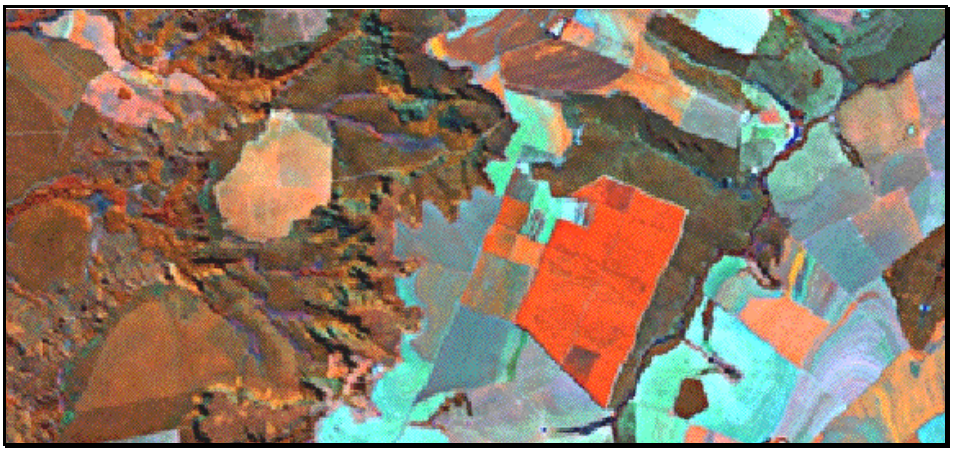


Figura 5.69. Porção de terreno ocupada por eucalipto (em vermelho).

Figura 5.70. Visão em campo de uma área de reflorestamento de eucalipto.

5.6.2. Pastagem

Esta classe é constituída de pastagem e, subordinadamente, de vegetação esparsa e com arbustos de médio porte (capoeira). As pastagens constituem uma das principais atividades antrópicas registradas e ocupam 582,32 km^2 ou 27,83% da área, (Figuras 5.71 e 5.72).

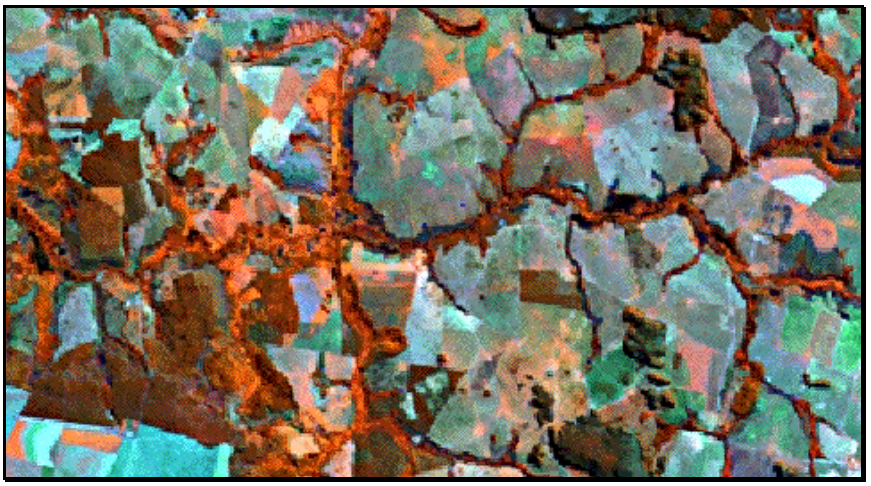


Figura 5.71. Porção de terreno ocupada por pastagem (tonalidade azul claro).

Figura 5.72. Vista panorâmica com ocorrência de pastagem.

5.6.3. Solo Exposto/Extração mineral

Nesta classe, foram agrupados as áreas com solo e substrato rochosos expostos, caracterizando ausência e/ou remoção da cobertura vegetal original. A principal atividade antrópica relacionada com esta classe é a mineração, (pedreiras e retirada de material de empréstimo), ocupando uma área muito pequena (1,09 km^2) ou aproximadamente 0,05% da área da bacia, conforme mostra as Figuras 5.73 e 5.74.

Figura 5.73. Área exposta devido à remoção de cascalho (proximidades da Fazenda Sementes Mônica), Ponto 62a).

Figura 5.74. Ocorrência de substrato rochoso exposto, arenito silicificado da Formação Furnas (Pedreira Emal Ltda.).

5.6.4. Planície de inundação/Represa/Várzea/Rio

Esta classe compreende a vegetação arbustiva associada aos terraços e às planícies aluviais dos canais de drenagens de porte maiores. Ocorre nos vales abertos desprovidos de mata ciliar localizado na porção central da bacia e nas zonas de margens mais amplas apresentando, às vezes, aspecto pantanoso que são característica de várzeas próximas ao rio principal (Figuras 5.75 e 5.76). Ocupam 34,89 km^2, cerca de 1,66% da área total.

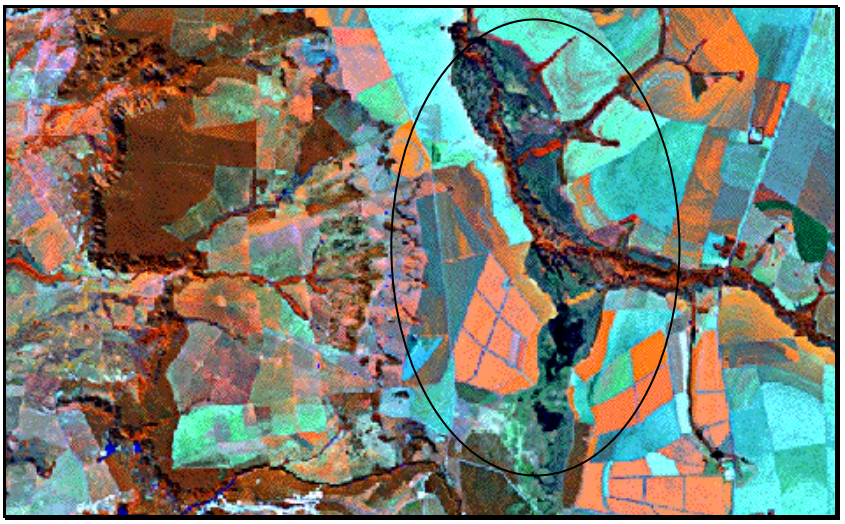


Figura 5.75. Ocorrência de várzea.

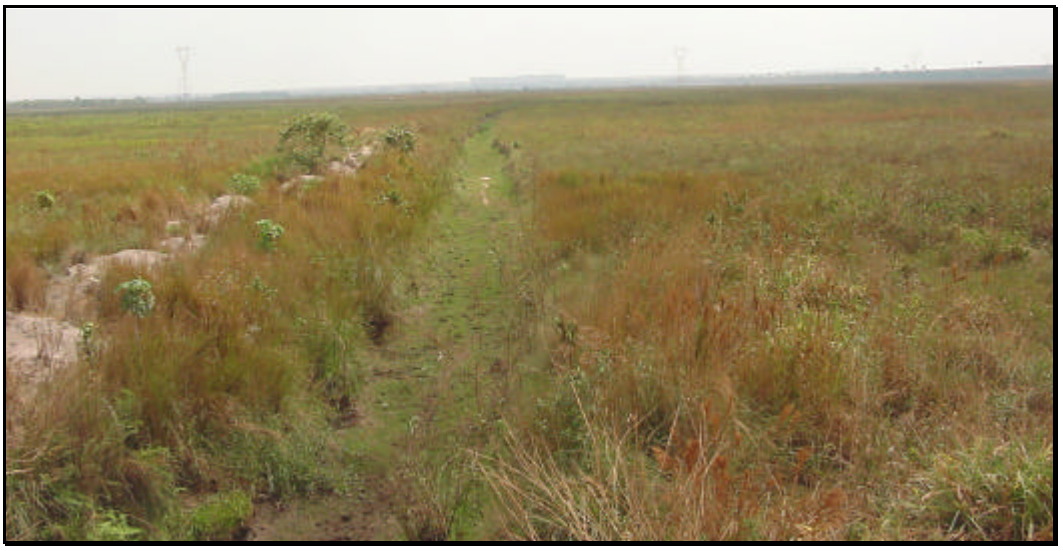


Figura 5.76. Visualização de áreas inundáveis com vegetação típica de várzea.

5.6.5. Lavoura (soja, algodão, milho, sorgo)

Esta classe corresponde a extensas áreas ocupadas por lavouras mecanizadas de grande porte. O tipo de cultura varia sazonalmente, mas são freqüentes as culturas de: algodão, soja, milho e sorgo. Em termos de área, a mesma se constitui na principal forma de uso do solo, ocupando 916,52 km^2 ou 43,81% de toda bacia, como mostra as Figuras 5.77, 5.78, 5.79 e 5.80.

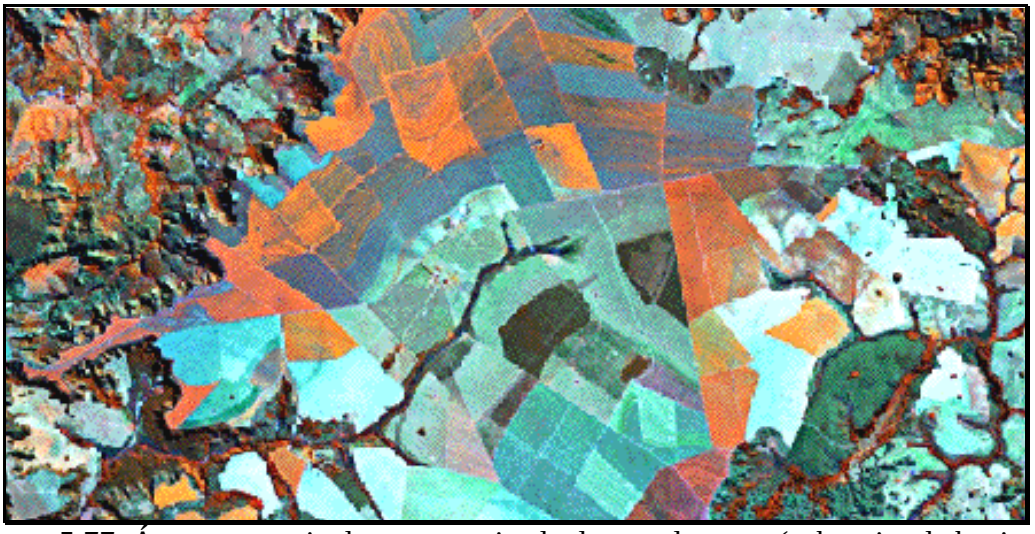


Figura 5.77. Área com agricultura mecanizada de grande porte (cabeçeira da bacia do Ribeirão Ponte de Pedra).

Figura 5.78. Visão de terreno essencialmente agrícola (soja na colheita).

Figura 5.79. Área de plantio de soja (pulverização de herbicida).

Figura 5.80. Visão da ocupação por lavoura da Serra de São Jerônimo e foz do Ribeirão Ponte de Pedra. (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 2005).

5.6.6. Cerrado/Campo Cerrado

Vegetação nativa com arvores de médio porte, comuns de cerrado e campo cerrado (Figuras 5.81 e 5.82). Ocorre, principalmente, na Serra da Jibóia e em áreas ainda preservadas na foz do Ribeirão Ponte de Pedra, (Parques ecológicos). Ocupa 393,31 km^2, 18,80% da bacia.

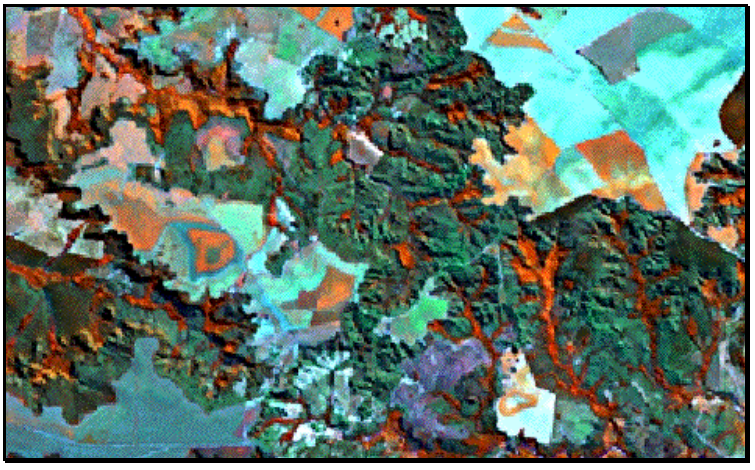


Figura 5.81. Porção da imagem mostrando ocorrência de vegetação de cerrado de porte médio (tonalidade verde escuro).

Figura 5.82. Visão da vegetação representativa desta classe.

5.6.7. Mata de Galeria/Floresta

Esta classe de uso abrange os terrenos cobertos por vegetação nativa com árvores de média a grande porte, localiza-se preferencialmente, em áreas de proteção permanente de grandes propriedades agrícolas da região, em áreas de declividades acima de 20%, nas proximidades da foz do Ribeirão Ponte de Pedra e interior do Parque Ecológico João Basso e Parque Estadual Dom Osório Stoffel, (Figuras 5.83 e 5.84). São também representadas, por matas ciliares ou matas de galerias ao longo dos principais canais de drenagem da bacia do Ribeirão Ponte de Pedra, (Figuras 5.85 e 5.86). Ocupam 149,03 km^2, cerca de 12% da área total da bacia.

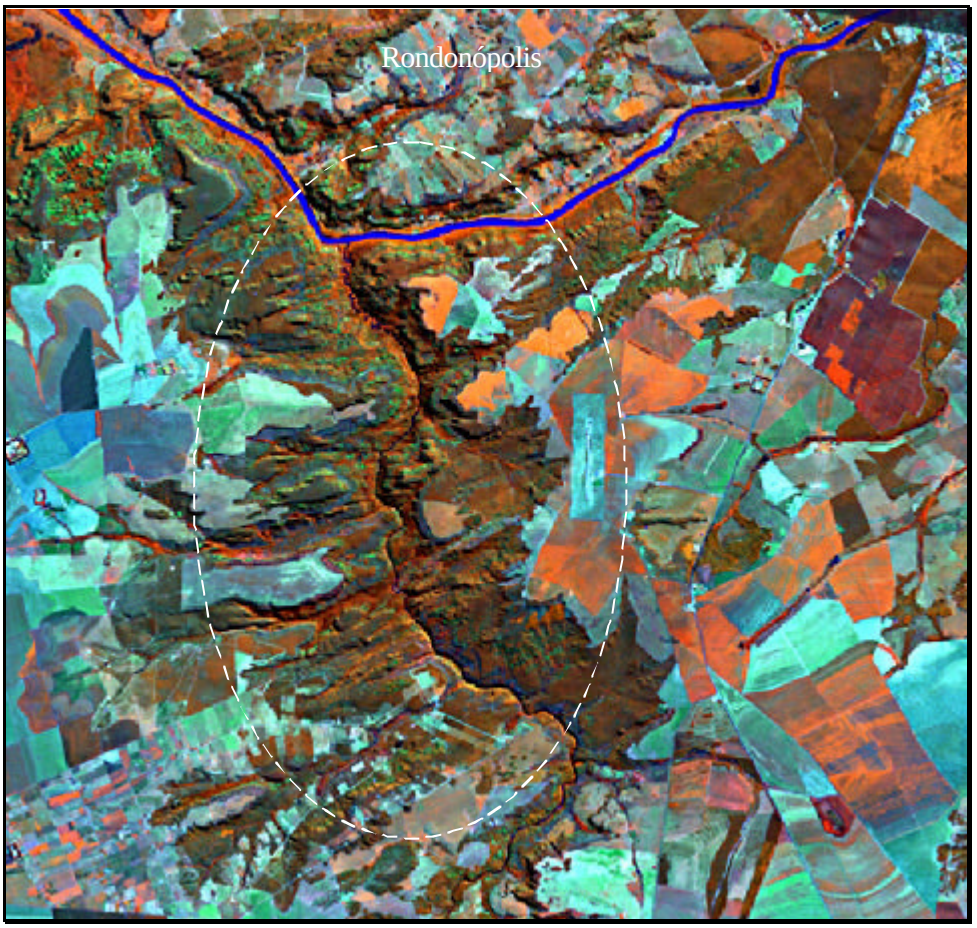


Figura 5.83. Ocorrência de áreas preservadas na foz da bacia vista em imagem de satélite (tonalidade marrom).

Figura 5.84. Vista do terreno ocupado por mata densa (próximo à foz do Ribeirão Ponte de Pedra).

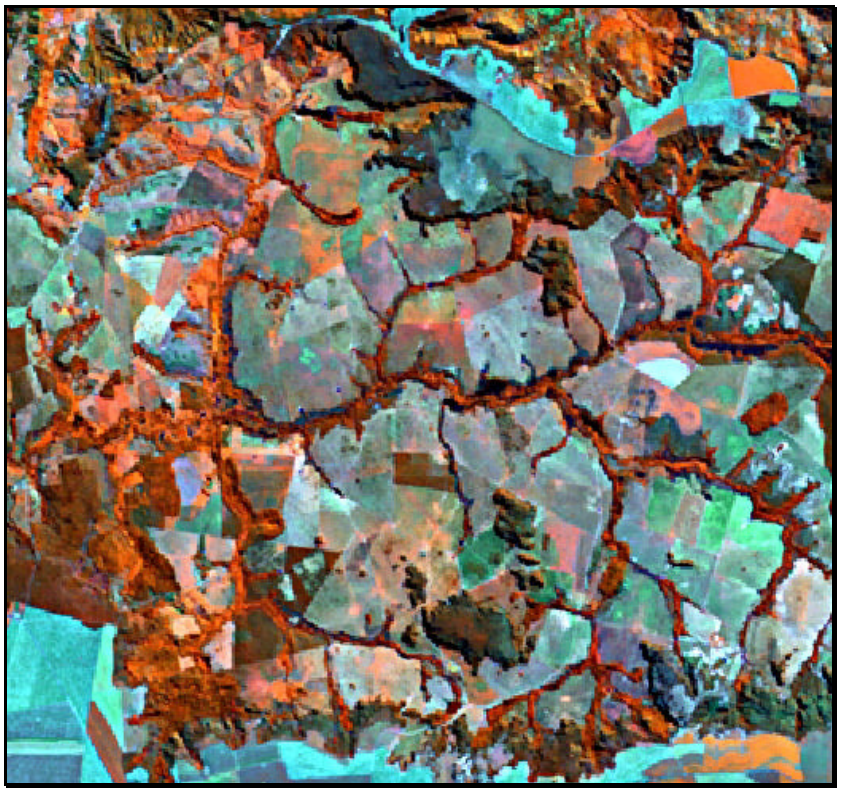


Figura 5.85. Mata ciliar acompanhando os principais canais de drenagem.

Figura 5.86. Mata de galeria presente no baixo curso do Ribeirão Ponte de Pedra.

5.6.8. Outros tipos de Uso.

Durante o trabalho de campo, foram constatados outros tipos de uso e ocupação não revelados na imagem de satélite, sendo as áreas de disposição irregular de lixo, assentamentos rurais do Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA), um

Parque Ecológico e um Parque Estadual e 3 projetos de PCHs – Pequenas Centrais Hidrelétricas.

a. Áreas de disposição de lixo irregulares

Foram identificadas 3 (três) áreas utilizadas para disposição irregular de lixo produzido de atividades agrícolas ou de pecuária (suína e bovina), localizadas na Fazenda Maggi Ltda (Figura 5.87), Fazenda Sementes Mônica (Ponto 29) (Figura 5.88) e Próximo à BR-163 (Figuras 5.89 e 5.90), onde são acumulados restos animais, resíduos e caroço de algodão e, até mesmo, recipientes usados de defensivos agrícolas.

Figura 5.87. Restos animais em lixo irregular, nos fundos da Faz. Maggi Ltda.

Figura 5.88. Disposição de restos vegetais e bota fora de fazendas próximo à Fazenda Sementes Mônica.

Figura 5.89. Disposição de recipientes de produtos agrícolas (defensivos), em voçoroca próximos ao Ponto 29. (20.06.2002)

Figura 5.90. Local da imagem anterior (Ponto 29), nota-se que os recipientes de defensivos e produtos agrícolas na voçoroca foram encobertos por camada de solo (11.02.2003).

b. Áreas de Assentamento Rural.

Tratam-se de ocupação rural medianamente adensada, dispostos em lotes, com ocorrência restrita nas porções noroeste e central da Bacia do Ribeirão Ponte de Pedra.

Resultantes de ação do INCRA e que foram denominados “Projeto de Assentamento Carimã” (194 lotes de 30 ha), Figura 5.91 e “Projeto Assentamento Santa Luzia – Pioneira” (27 lotes de 28 ha), (Figura 5.92). Estão representados no Mapa de Documentação (Anexo 1). Nestes locais, de terrenos planos, o uso principal do solo destina-se à agricultura e nos terrenos mais acidentados são desenvolvidas as pastagens.

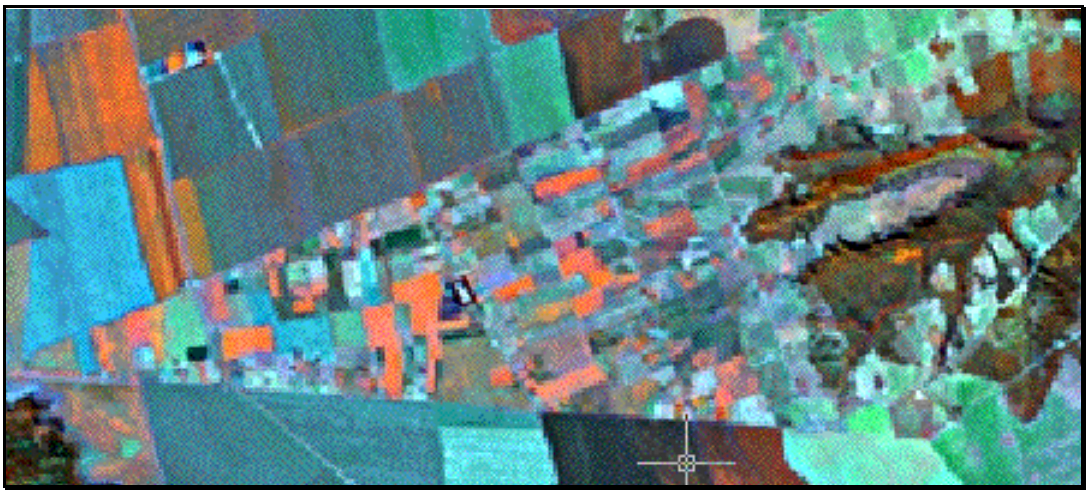


Figura 5.91. Visão, na imagem de satélite, do Assentamento Carimã, notar a heterogeneidade do uso da terra.

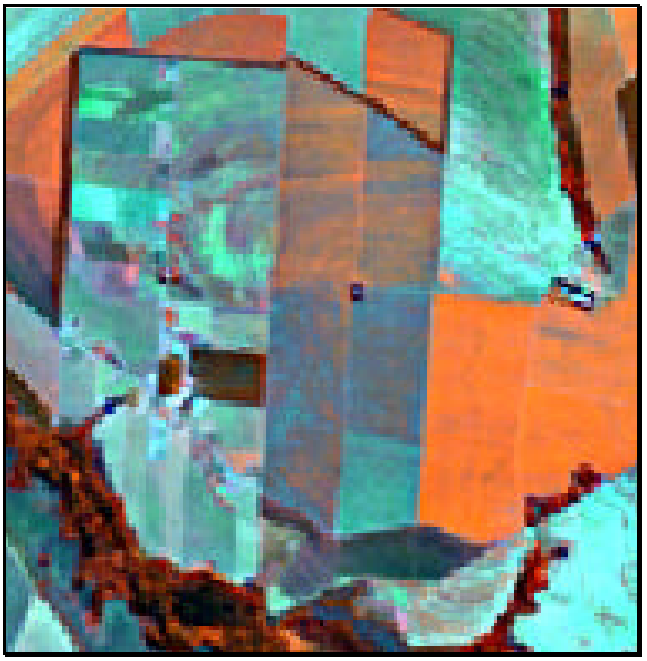


Figura 5.92. Visão, na imagem de satélite do Assentamento Santa Luzia (Pioneira), na porção central da Bacia.

c. Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs)

Como já mencionado anteriormente, existem para a área estudada, 3 (três) projetos privados de construção de PCHs (Pequenas Centrais Hidrelétricas), com utilização do potencial hidráulico para geração de energia elétrica, através de represamento da água e desvio do leito do Ribeirão Ponte de Pedra. Estes projetos estão bcalizados na parte centro norte da bacia, (vide Mapa de Documentação no Anexo 1), local onde o rio principal flui por vale muito encaixado, formando cachoeiras. A primeira PCH, José Gelázio da Rocha está em fase de implantação e terá capacidade para gerar 26,60 MW de energia; a PCH Rondonópolis, em estudos para implantação, poderá gerar cerca de 26,4 MW e a PCH João Basso, com capacidade nominal para geração de 18,60 MW, está com sua implantação suspensas, por situar-se nos domínios do Parque Estadual Dom Osório Stoffel, criado em 2002.

concentram-se no fundo dos vales ao longo do Ribeirão Ponte de Pedra e em encostas das Serras do Espigão Mestre e Jibóia, constituindo-se de materiais arenosos e muitos arenosos; materiais com espessuras variando entre 2m a 5m, (peso 3), representam 825,73 km^2 (39,47%) e estão posicionados nos topos de encostas de declives menos acentuados, sendo constituídos por materiais arenosos, areno-siltosos e argilosos; já os materiais com espessura superior a 5m (peso 4), ocupam uma superfície de 638,44 km^2 (30,51%), estão presentes nas partes planas dos topos das Serras de São Jerônimo e Espigão Mestre e na porção central da bacia. São constituídos predominantemente de materiais argilosos e muito argilosos.

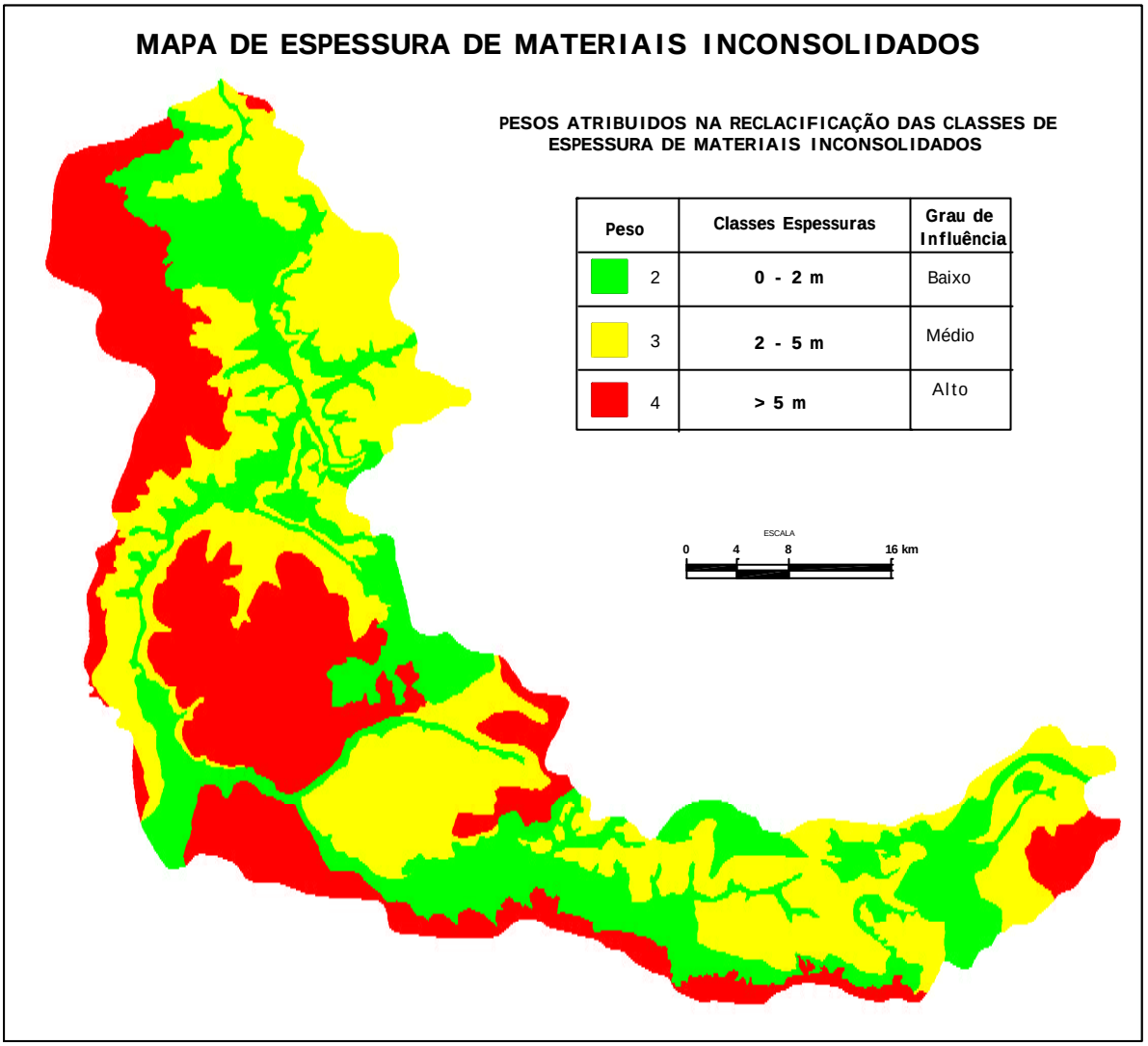


Figura 6.5. Reclassificação das espessuras dos Materiais inconsolidados para geração da Carta de Susceptibilidade à Erosão.

No mapa de substrato rochoso, foram analisadas as propriedades litológicas, grau de intemperismo, existência de fraturas etc., quanto às potencialidades de cada tipo rochoso em sofrer processo erosivo.

Os tipos rochosos classificados como sendo de peso 1, são os sedimentos argilo-arenosos da Formação Cachoeirinha, apresentando-se parcialmente laterizados, compactos e possuem muito baixo grau de influência para o desenvolvimento de processos erosivos nas zonas em que afloram. A área desta classe perfaz 534,84 km^2 ou (25,56%) da bacia estudada e ocupa as porções planas e altas da bacia, nas serras de São Jerônimo, Espigão Mestre e Jibóia; os materiais rochosos que compõem o Grupo Bauru, Palermo e Ponta Grossa, (peso 2), apresentam-se silicificados, compactos ou litificados, somando área de 181,56 km^2 (8,67%), situam-se nas proximidades do *Graben* da Jibóia e da Serra do Espigão Mestre; aos materiais arenosos da Formação Botucatu que apresentam níveis calcíferos e com finas estratificações plano-paralelas, às vezes grosseiros ou conglomeráticos, presente nas nascentes do Ribeirão Ponte de Pedra, foi atribuído (peso 3) e ocupam cerca de 70,32 km^2 (3,36%); enquanto que os materiais com textura arenosa e/ou muito arenosas, friáveis e porosos das formações Furnas e Aquidauna (peso 4), ocupando 1.305,32 km^2 (62,39%). Estes, dependendo de suas exposições, são susceptíveis a deflagração de processos erosivos lineares e estão situados nas partes mais baixas da bacia, desde a foz do Ribeirão Ponte de Pedra até a porção central, no vale do *Graben* da Jibóia e encosta da serra homônima.

A Tabela 6.5 indica os pesos para cada formação mapeada, enquanto que a Figura 6.6 mostra a reclassificação do mapa original.

Classes	Pesos atribuídos	Grau de influência
Formação Cachoeirinha	1	1 – Muito baixo 2 – Baixo 3 – Médio 4 – Alto
Grupo Bauru – Formação Palermo – Formação Ponta Grossa	2	
Formação Botucatu	3	
Formação Aquidauana Formação Furnas	4	

Tabela 6.5. Atributos e pesos adotados na reclassificação do Mapa de Substrato Rochoso com vistas à geração da Carta de Susceptibilidade à Erosão.

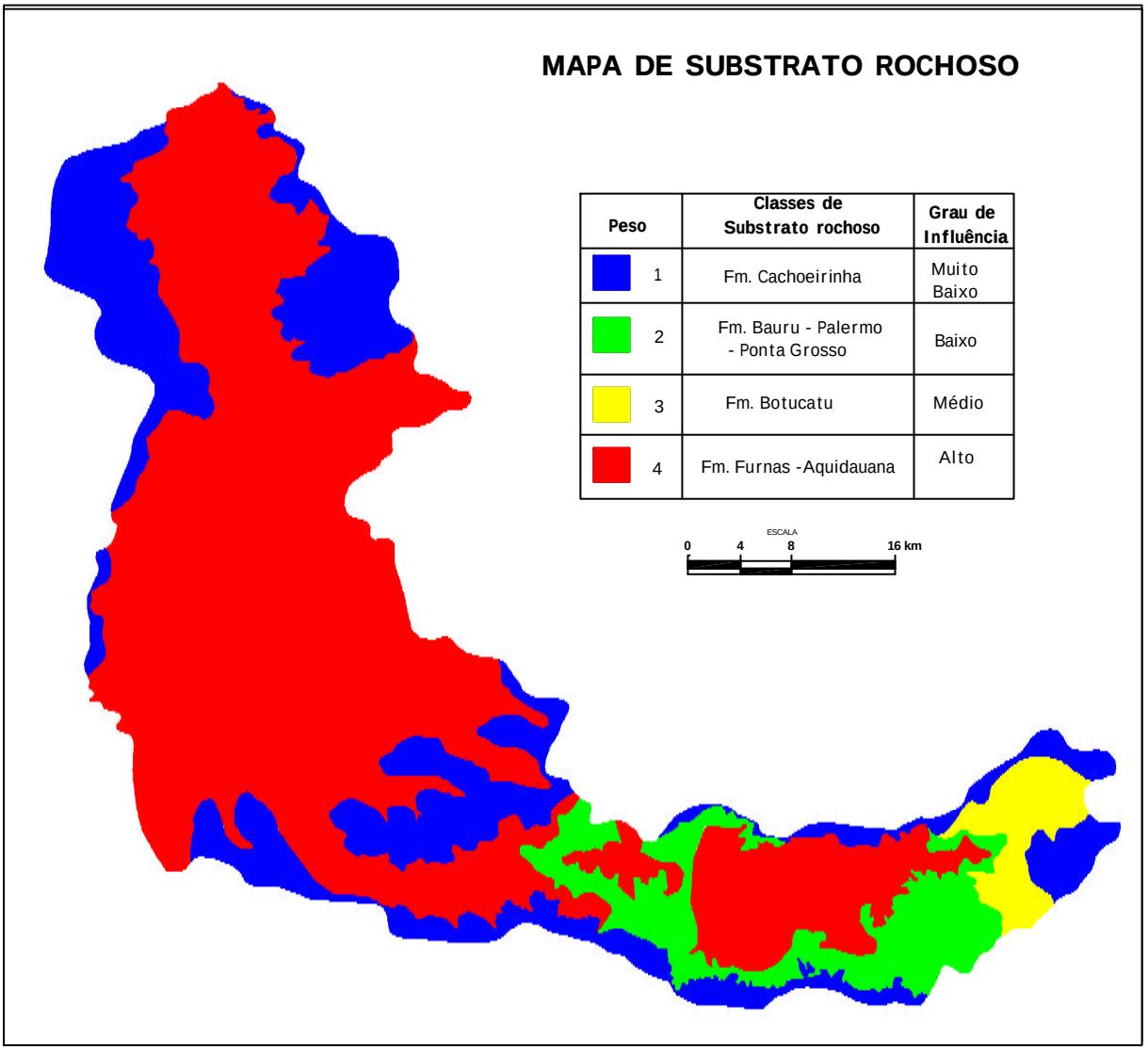


Figura 6.6. Reclassificação do Mapa de Substrato Rochoso para geração da Carta de Susceptibilidade à Erosão.

Na geração da Carta de Susceptibilidade à Erosão da bacia estudada foram utilizados os procedimentos e comandos dos programas *AutoCad®R14* e *Idrisi ® kilimajaro versão 12.02* a seguir:

Entrada de dados e informações de cada documento vetorial no programa *Idrisi ® kilimajaro*, versão 12.02, sendo necessária a exportação do programa *AutoCad®*R14, com formato (*.dxf)* e importado pelo *Idrisi*, onde é convertido para o formato *raster*, utilizando-se os seguintes comandos:

? *FILE/ IMPORT/ DESKTOP PUBLISHING FORMATS/ DXFIDRISI.*

A conversão o arquivo vetorial para o formato *raster* obedeceu aos comandos abaixo:

? *REFORMAT/RASTER/VECTOR CONVERSION/POLYRAS*

A reclassificação de cada documento cartográfico foi obtida através dos seguintes comandos:

? *ANALYSIS/DATABASE QUERY/ RECLASS/ ATRIBUTE VALUES FILE*

A tarefa de atribuir pesos a cada documento cartográfico reclassificado, contou com a técnica de ordenação hierárquica desenvolvida por SAATY (1977), apud FERREIRA (1996), denominada Processo Analítico Hierárquico (AHP), adaptado ao SIG por EASTMAN (1993). O processo consiste na construção de uma matriz de comparação entre critérios, de acordo com a importância relativa entre pares de modelo de susceptibilidade adotado. Foram examinadas as importâncias relativas de cada atributo, através de uma escala contínua de 9 pontos. Os fatores são comparados entre si e classificados segundo a maior importância em relação aos demais e controlam como os fatores irão compensar-se uns aos outros, numa

escala variável de extremamente menos importante até extremamente mais importante (pesos de 1/9 a 9). No processo de comparação é determinada a razão de consistência, que nada mais é que uma orientação sobre quaisquer inconsistências ocorridas durante o processo de comparação pareada.

Para atribuição de pesos aos arquivos a serem combinadas do Módulo de Avaliação Multicriterial (MCE) e geração da carta de susceptibilidade à erosão, foram utilizados os seguintes comandos:

?GIS ANALYSIS/ DECISION SUPPORT/ WEIGHT (Figuras 6.7 e 6.8).

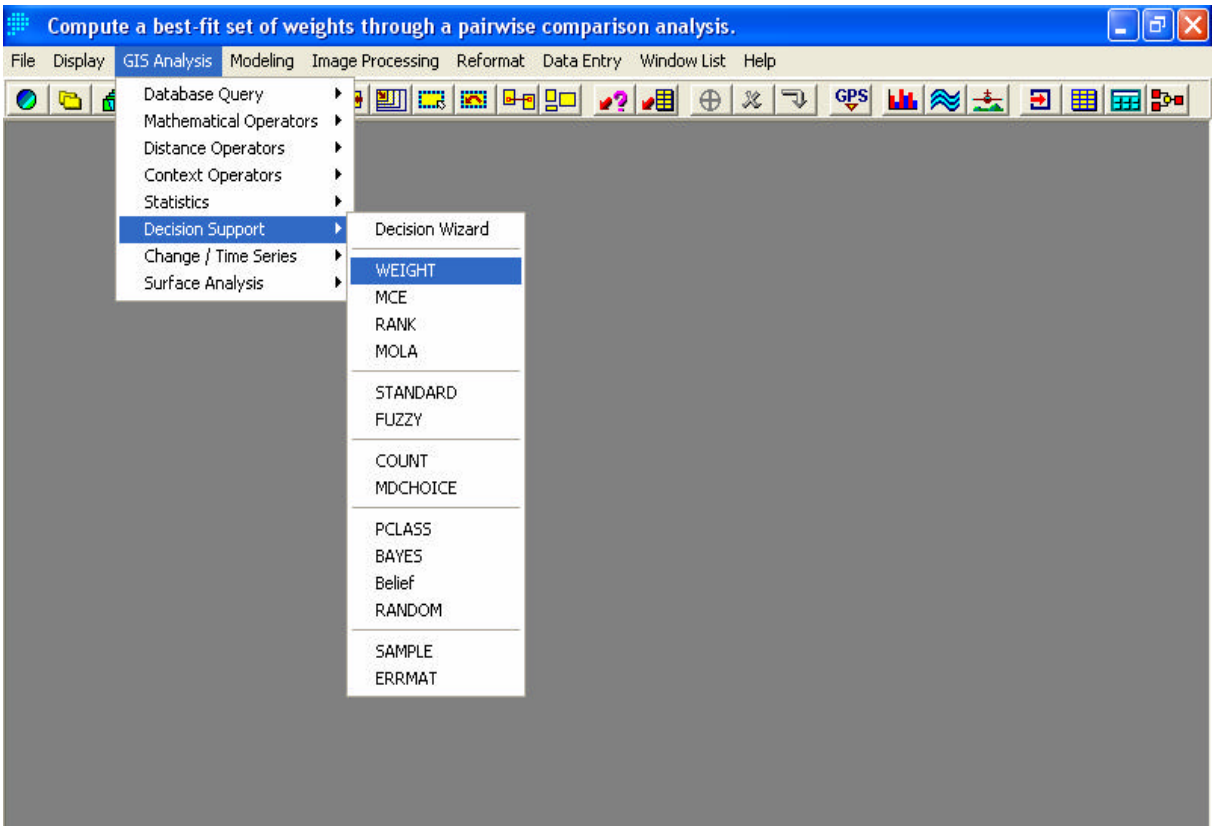


Figura 6.7. Comandos utilizados para atribuição de pesos (*weight*) aos atributos de cada documento cartográfico analisado.

Atributo	*Declividade*	*Uso e Ocupação*	*Materiais Inconsolidados*	*Espessura de M. Inconsolidado*	*Substrato Rochoso*
Declividade	***1***	*x*	*x*	*x*	*x*
Uso e Ocupação	***3***	***1***	*x*	*x*	*x*
Textura dos Materiais Inconsolidados	***5***	***2***	***1***	*x*	*x*
Espessura de M. Inconsolidados	***1/3***	***1/3***	***1/5***	***1***	*x*
Substrato Rochoso	***1/3***	***1/5***	***1/5***	***1***	***1***

Figura 6.8. Matriz de comparação relativa entre os atributos do meio físico considerado para cruzamentos e geração da Carta de Susceptibilidade à Erosão.

O Módulo permitiu fazer a ponderação entre atributos de mapas e de cartas gerados durante este estudo, (Carta de Declividade, Substrato Rochoso, Materiais inconsolidados e Uso e Ocupação), com os quais foi efetuada a comparação paritária entre os atributos, através do processo analítico hierárquico (AHP).

Levando em consideração que na bacia pesquisada, declividades superiores a 20%, seria o principal fator para deflagração de processos erosivos e que essas regiões representam (55,77 km^2 ou 2,66% da bacia), passou-se a considerar que os fatores mais importantes para o desenvolvimento ou geração de erosões lineares na área estudada estão associados aos tipos de materiais inconsolidados (textura), combinados com a ocupação em locais de declividades médias. Tem menos importância, espessura dos materiais inconsolidados e os tipos de substrato rochoso.

O método de apoio à decisão utilizado para geração da Carta de Susceptibilidade à Erosão foi o da Avaliação por Critérios Múltiplos, do tipo, Combinação Linear Ponderada, conforme o Manual do *Idrisi* em versão digital, (EASTAMAN, 1997). A Figura 6.9 e a Tabela 6.6 mostram os parâmetros da metodologia para a geração do Mapa de Susceptibilidade à Erosão da Bacia do Ribeirão Ponte de Pedra.

Atributo	*Peso*
Declividade	*0,1379*
Uso e Ocupação	*0,2767*
Textura dos Materiais Inconsolidados	*0,4535*
Espessura de M. Inconsolidados	*0,0695*
Substrato Rochoso	*0,0623*
Índice de consistência: 0,04	

Tabela 6.6. Pesos e índice de consistência obtida para cruzamento dos documentos cartográficos e seus atributos.

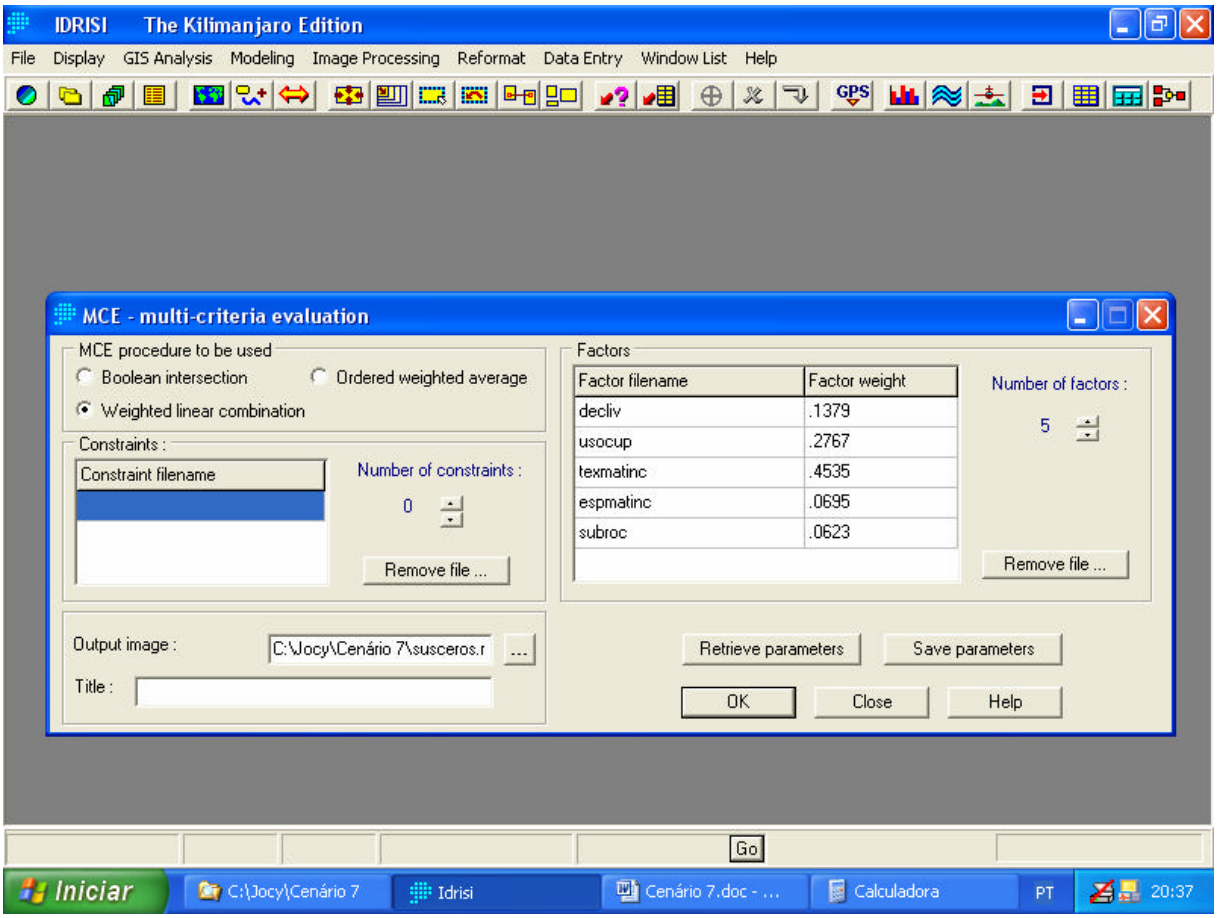


Figura 6.9. Método de apoio à decisão utilizado para geração da Carta de Susceptibilidade à Erosão (Avaliação por Critérios Múltiplos, do tipo, Combinação Linear Ponderada).

Considerando a susceptibilidade à erosão na Bacia e analisando a carta resultante dos cruzamentos da metodologia utilizada, definiram-se quatro classes de susceptibilidade: muito baixa, baixa, média e alta.

- a classe muito baixa abrange uma área de 231,27 km^2 (11,04%) e caracteriza-se por conter aluviões depositadas em fundo de vale aberto, com mata de galeria preservada; áreas de várzeas e em terrenos planos muitos argilosos e espessos, associados à Formação Cachoeirinha, geralmente utilizados pela agricultura. Não contém feições erosivas e nem amostras de materiais inconsolidados consideradas erodíveis;

- a classe baixa possui 607,73 km^2 (20,05%), sendo representada por ocorrências de solos argilosos, com espessura mediamente espessa; tais terrenos apresentam declividades inferiores a 5%, e está associada a sedimentos terciários da Formação Cachoeirinha e em áreas planas da Formação Furnas. Quando utilizadas em atividades agrícolas mecanizadas, podem ocorrer feições erosivas em áreas de transição para as classes de médias e altas susceptibilidades, principalmente se utilizadas para pecuária.

- a classe média abrange 973,23 km^2 (46,52%) e contém materiais com textura muito arenosa a arenosa ou areno-siltosa, com espessuras variando entre 2 a 5 metros e declividades abaixo de 15%, estão nesta classe as áreas utilizadas em pecuária com declividades de 15%, em relação ao substrato rochoso, esta classe ocorre preferencialmente em terrenos onde são encontrados os arenitos das formações Furnas e Ponta Grossa e em áreas planas das formações Botucatu e Grupo Bauru, sendo utilizadas geralmente em pecuária. Também podem surgir sulcos e até voçorocas nessas regiões, quando interagirem solos muito arenosos, declividades entre 5 a 15%, somados ao uso do solo agrícola sem a devida prática conservacionistas correta (plantio em nível), conforme mostra a Figura 6.10.

Figura 6.10. Terreno em área de susceptibilidade média, com surgimento de sulcos devido rompimento de plantio em nível (próximo ao Ponto 27).

- a classe de susceptibilidade alta ocupa área 283,08 km^2 (13,53%) e correspondem aos materiais essencialmente arenosos, espessuras de pouco e mediamente espessas. Nestes locais, quando utilizados para pecuária, com declividades até 15% e nos locais com declividade acima de 15%, não corresponderam à classe de alta suscetibilidade, pois relacionam as regiões geralmente preservadas, com florestas densas em escarpas próximas da foz do Ribeirão Ponte de Pedra ou nas Serras da Jibóia e do Espigão Mestre. Nesta classe aflora as litologias das formações Furnas, Aquidauana, parte do Grupo Bauru e Formação Palermo. A maior parte das amostras de materiais inconsolidados submetidas a ensaios para verificar o índice de erodibilidade, situa-se dentro dessa classe e em campo, observa-se a presença de feições erosivas do tipo voçoroca.

A Tabela 6.7 mostra em forma sintetizada os mapas e seus atributos do meio físico que ponderados e comparados através do processo analítico hierárquico (AHP), que através do método de apoio à decisão foi utilizado para geração da Carta de Susceptibilidade à Erosão. A Figura 6.11 apresenta a Carta de Susceptibilidade à Erosão, produto final do estudo do meio físico da Bacia do Ribeirão Ponte de Pedra.

Classes de susceptibilidade	Textura de Materiais inconsolidados	Classes de uso e ocupação	Classes de declividade	Espessura de materiais inconsolidados (m)	Classes de substrato rochoso
Baixa	Muito argilosa aluvião	Cerrado -– campo cerrado - mata de galeria - floresta	0% - 5%	-	Formação Cachoeirinha
Média	Argilosa	Reflorestamento - lavoura - planície de inundação - várzea - represa e rio	5% - 10%	0 – 2	Grupo Bauru Formação Palermo Formação Ponta Grossa
Alta	Areno-siltosa	solo exposto extração mineral	10% - 20%	2 – 5	Formação Botucatu
Muito alta	Arenosa muito arenosa	Pastagens	>20%	> 5	Formação Aquidauana Formação Furnas

Tabela 6.7. Atributos do meio físico que ponderados e comparados através do processo analítico hierárquico (AHP) e através do método de apoio à decisão foi utilizado para geração da Carta de Susceptibilidade à Erosão.

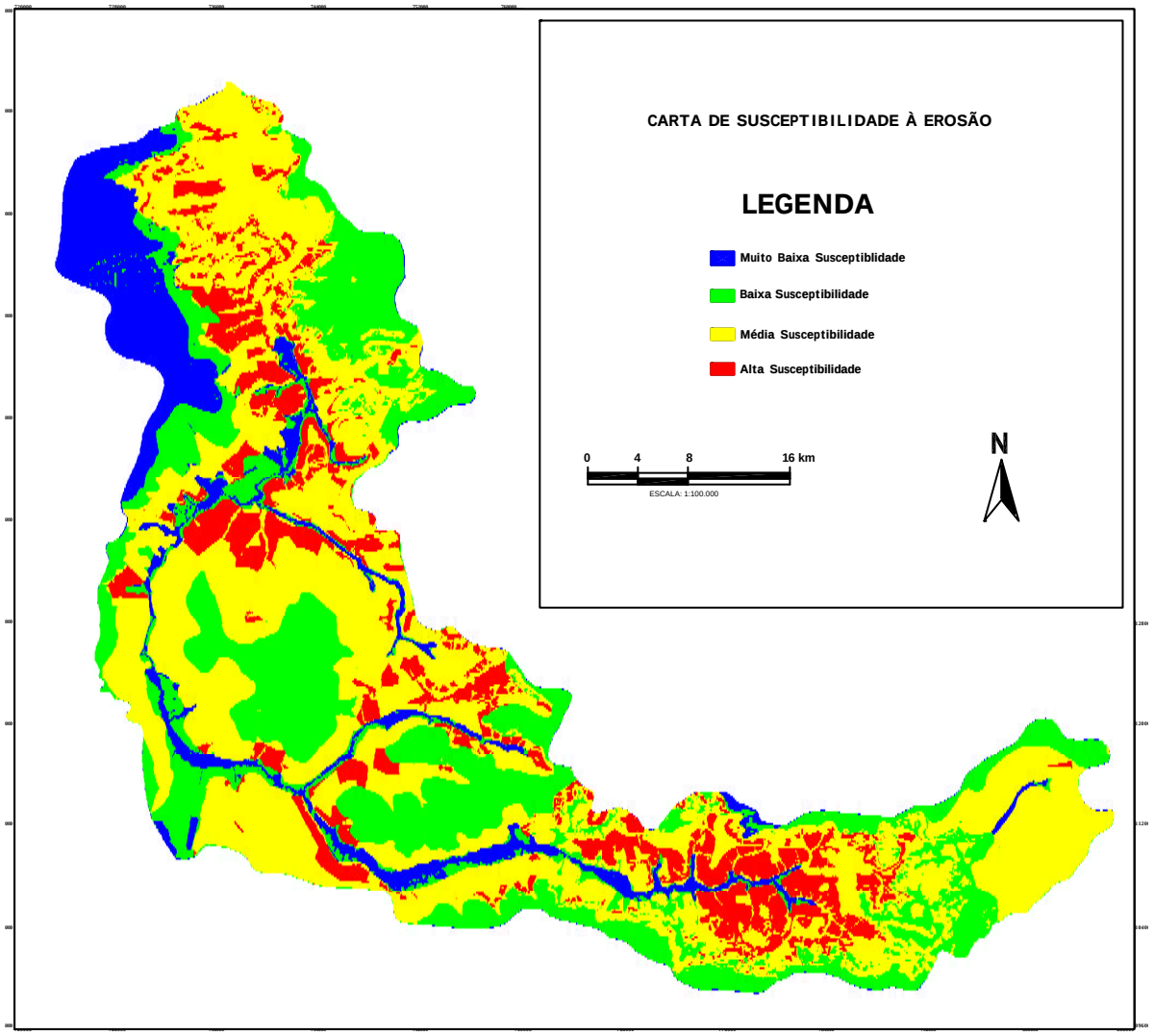


Figura 6.11. Carta de Susceptibilidade à Erosão da Bacia do Ribeirão Ponte de Pedra (Anexo 7).

CAPÍTULO 7

CONCLUSÕES

É de suma importância a conscientização do homem com relação ao manejo adequado do solo em sua ocupação no meio rural, através de atividades agropecuárias, principalmente em regiões de cerrado, com o objetivo claro de manter e melhorar suas características, diminuindo sua degradação com a manutenção de suas matas e a utilização de controles de processos erosivos no plantio, bem como a racionalização do uso de fertilizantes e de agrotóxicos. No caso do Cerrado brasileiro, que abrange vários estados do país, a má utilização dos seus recursos irá afetar todo um ecossistema vulnerável, que constitui o limite entre as bacias hidrográficas Amazônica e Platina. Podendo ser exemplificado a visualização do estágio atual de desmatamento da vegetação dos cerrados na Bacia estudada no Mapa de Uso e Ocupação (Anexo 6), atingindo mais de 70% da área.

As áreas de cerrados vêm sendo intensamente utilizadas por diversas formas de ocupação e a tendência é a intensificação do cultivo de grãos, antes restrito às áreas planas de solos argilosos, vem avançando em direção aos domínios de areias quartzosas e de declividades médias, que eram utilizadas tradicionalmente para pecuária. Áreas susceptíveis ao surgimento de feições erosivas podem interferir na dinâmica hídrica da bacia, tanto superficial quanto

subsuperficialmente, vindo a comprometer as nascentes de cursos de água e a incrementar o aporte de sedimentos para a Bacia do Rio Vermelho e outras bacias da região que formam o Pantanal Mato-grossense.

A aplicação do conhecimento científico e tecnológico no uso do solo agrícola no Brasil, verificada também em áreas de plantio na Bacia do Ribeirão Ponte de Pedra, é bastante significativa, em termos qualitativos e quantitativos de produção agrícola, o que demonstra uma evolução positiva desse cenário nos últimos anos. Todavia, o controle ambiental dos órgãos fiscalizadores, no tocante ao uso do solo e suas possíveis degradação e contaminação, pode ser considerado falho, pois essa fronteira agrícola tende a expandir-se, causando preocupações às entidades ambientalistas até mesmos internacionais. Estudos, medidas mitigadoras e de monitoramento, por parte de organismos federais, são necessidades prementes, em face ao avanço da utilização dos cerrados na agricultura que poderá trazer perdas irreparáveis do solo, da vegetação e de fontes de água, portanto, prejuízos ambientais relevantes.

Observando-se as classes de susceptibilidade à erosão, obtidas a partir da análise e estudo dos atributos do meio físico, em comparação com os principais tipos de uso e ocupação do solo existentes na bacia, verificou-se que:

- em áreas de transição entre o cultivo agrícola e as pastagens, com solos argilosos a areno-siltosos ou arenosos, ocorrem preferencialmente feições erosivas do tipo voçorocas, principalmente em declives mais acentuados, quando o gado tende a criar caminhos preferenciais para a sua locomoção e gerar canais de escoamento concentrado de água de chuva, conforme os pontos 31, 31A, 32 e 51 apresentados no Mapa de Documentação (Anexo 1);
- nas áreas com lavoura mecanizada, situadas em terrenos planos associados aos sedimentos argilosos e argilo-arenosos da Formação Cachoeirinha, não há feições

erosivas; porém, podem ocorrer voçorocas em terrenos de lavoura em solos silte-arenosos, declividades moderadas, quando não se utilizam técnicas de conservação do solo, fato muito observado em campo, principalmente na região em torno dos pontos 26, 27, 28 e 28a (Mapa de Documentação, Anexo 1);

- foram observadas 31 feições erosivas do tipo voçoroca, de até centenas de metros de extensão e de grandes profundidades, atingindo os níveis freáticos e diversos sulcos e ravinas em locais de solos arenosos de pouca espessura, atingindo muitas vezes a rocha fresca e erosões em margens do ribeirão principal da bacia e em seus tributários;
- recomenda-se que a ocupação da bacia deve seguir algumas precauções e práticas nas áreas caracterizadas como susceptíveis ao surgimento de processos erosivos, tais como: restringir a ocupação em encostas com declividades acima de 15%; proteger as nascentes dos córregos que compõem a rede de drenagem da bacia; em áreas ocupadas pela agricultura, continuar a utilizar as técnicas conservacionistas de uso de solo; revegetar áreas com desmates nas cabeceiras e matas ciliares, mantendo as áreas de preservação estabelecidas por lei.

Dentre os ensaios de erodibilidade das 62 amostras indeformadas coletadas, a maioria associada às feições erosivas cadastradas, apenas 13 (treze) posicionaram-se na parte superior do gráfico construído (domínio dos materiais erodíveis), utilizando a equação de PEJON (1992). Embora essas amostras correspondam aos materiais inconsolidados muito arenosos, arenosos ou areno-siltosos, a ação antrópica nesses locais, aliada aos fatores do meio físico, predispõe ao surgimento de feições erosivas.

A utilização do programa *Statistica 5.5* para a análise de agrupamentos dos tipos granulométricos de materiais inconsolidados permitiu delimitar satisfatoriamente as 5 unidades mapeadas na bacia estudada, caracterizando como importante ferramenta a ser utilizada em mapeamentos geotécnicos.

Em relação às metodologias de cartografia geotécnica mais utilizadas, a proposta da EESC-USP, após adaptações efetuadas por ZUQUETTE ; GANDOLFI (1990), ZUQUETTE (1993) e ZUQUETTE et al. (1997), atende perfeitamente à análise e aos diagnósticos ambientais relativos ao uso do solo pela atividade antrópica, indicando assim diretrizes ao planejamento para implantação dos diferentes tipos de ocupação e à reorganização territorial. Tal metodologia, aliada a técnicas de processamento digital de imagens em mapeamentos geotécnicos ou geoambientais, através de geração de banco de dados digital, e a integração desses dados via Sistema de Informação Geográfica (SIG), proporciona subsídios para confecção de mapas de zoneamento ambiental, de uso e ocupação e das demais cartas derivadas e interpretativas, como as utilizadas neste trabalho. Dessa forma, é possível conhecer as propriedades geológicas e comportamento geotécnico da área estudada, bem como visualizar com clareza suas potencialidades e pontos vulneráveis. Os resultados obtidos podem e devem ser utilizados pelos órgãos e entidades competentes com o objetivo de se estabelecer um desenvolvimento ambientalmente correto da região.

9. BIBLIOGRAFIA

AGENDA 21 BRASILEIRA **Bases para discussão**. Novaes W. (Coord.). MMA/PNUD 2000. Brasília. 2000. 196 p.

AGUIAR, R.L. **Análise do mapeamento geotécnico nos processos de gestão ambiental**. São Carlos. (Revisão Bibliográfica). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 1994. 88p.

ALCÂNTARA, M.A.T. **Estudo da erodibilidade de alguns solos do Estado de São Paulo**. São Carlos. 129f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 1997.

ALMEIDA, L.T. **Política Ambiental***:* Uma análise econômica. Campinas, SP: Papirus. São Paulo. Fundação Editora da Unesp. 192p. 1998.

AMORIM, H.R. **Estudos dos atributos do meio físico como base para o zoneamento geoambiental da região de influência do reservatório da usina hidroelétrica de Caconde (SP), escala: 1:50.000, com uso de geoprocessamento.** 2003. 174 f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.

ANDRADE, H. ; SOUZA. J.J. **Solos:** Origem, componentes e organização. Lavras, UFLA/FAEPE, 1998. 170p.

ANTENUCCI, J.C. et al. **Geografic information systems**: a guide to the technology. New York: Chapman and Hall. 1991.

ANUÁRIO ESTATÍSTICO DO ESTADO DE MATO GROSSO. Secretaria de Estado de Planejamento e Coordenação Geral. Cuiabá: **SEPLAN-MT.** v.25: Central de Texto. 2004. 708p.

ASSAD, E.D. ; LOPES ASSAD, M.L. **Cerrado brasileiro**: possibilidades alternativas para produção e preservação. Brasília, 1999. (Texto preparado como subsídio à formulação da Agenda 21, área temática agricultura sustentável).

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 6508 (ABNT MB – 28). Grãos de solos que passam na peneira de 4,8mm. **Determinação da massa específica dos sólidos**. Rio de Janeiro. 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 7181 (ABNT MB – 32). Solo. **Análise granulométrica**. Rio de Janeiro. 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Norma Degradação do Solo. Terminologia (NBR 10.703). 1989

BACCARO, C.A.D. Processos erosivos no domínio do cerrado. GUERRA, A.J.T. et al. **Erosão e conservação dos solos:** conceitos, temas e aplicações. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, Cap. 6, 1999. p.195-227.

BARGUIL, S.R. **Geoprocessamento aplicado ao monitoramento de cerrado: um estudo de caso na porção noroeste da APA Corumbataí (SP).** 1998. 151 f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1998.

BARROSO, J.A. et al. Geological-geotechnical mapping of Rio de Janeiro metropolitan region. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF THE IAEG, 5., 1986, Buenos Aires. **Proceedings...**Buenos Aires:IAGE,v.6, p.1715-1724. 1986.

BARROSO, J.A. et al. Subsídios geológicos-geotécncos como apoio ao plano diretor do município do Rio de Janeiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 7, 1993, Poços de Caldas. **Anais...**São Paulo: ABGE. v.2, p.167-176. 1993.

BERTONI, J.O espaçamento de terraços em culturas anuais, determinado em função das perdas por erosão. **Boletim Técnico do Instituto Agronômico do Estado de São Paulo**. Campinas, v.10, n. 18: p.113-140, 1959.

BERTONI, J. ; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 4.ed. São Paulo, Ícone. 1999. 355p.

BORGES, C.A. et al. **Geomorfologia.** In: BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal. Plano de Conservação da Bacia do Alto Paraguai (Pantanal) - PCBAP: Brasília. v.2. 1997. p.75-119.

BRASIL. **Glossário de engenharia ambiental.** Brasília. DNPM. 119p. 1986.

BRASIL. Constituição. **Constituição da República Federativa do Brasil**. Brasília, DF: Senado, 212p. 1988.

BRASIL. **Consolidação da legislação mineral e ambiental.** Brasília. 6º ed. atualizada e revisada por PINTO, U.R. 542p. 2004.

BURSZTYN, M. Estado e meio ambiente no Brasil: desafios institucionais. In: Bursztyn, M. (org.). **Para Pensar o Desenvolvimento Sustentável.** São Paulo, 1993. Brasiliense. p. 83-101. (1993).

CÂMARA, G. et. al. **Anatomia de Sistemas de Informações Geográfica.** Campinas, UNICAMP. 193p. 1996.

CARSON, M.A. ; KIRKBY, M.J. **Hillslope form and process**. Cambridge University Press. 1975. 475p.

CELESTINO, T.B. ; DINIZ, N.C. Informática. In: SANTOS, A.M. et al., ed. **Geologia de engenharia.** São Paulo, Associação Brasileira de Geologia de Engenharia. Cap. 17, p.227-241. 1998.

CENDRERO, A. Enviroment Geology of the Santander by Area. Northern Spain. **Enviromenmtal Geology,** Springer Verlag, New York, v.1, p.97-114. 1975.

CERRI, L. E. S. Carta geotécnica: contribuições para uma concepção voltada as necessidades brasileiras. In: CONG. BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA. 6. **ANAIS…**Salvador: ABGE. 1990.

COOH, N.K. **Geohazards natural and human**. Simon & Schuster Company, New Jersey. 1995, 481p.

COTTAS, L.R. **Estudo geológico aplicado ao planejamento urbano de Rio Claro**. SP. 1983. 171f. Tese (Doutorado em Geociências). Universidade Estadual Paulista, Rio Claro. 1983.

CROSTA, A.P. **Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto**. ed. rev. Campinas, SP: IG/UNICAMP., 1993, 170p.

DEL´ARCO, J.O. et al. Geologia. In: BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. **Projeto RADAMBRASIL**. Folha SE.21 e parte da Folha SE.20-Corumbá. Rio de Janeiro, 1982, p.25-143.

DERISIO, J.C. **Introdução ao controle de poluição ambiental**. 2.ed. São Paulo, Signus Editora. 2000. 164p.

DIAS, R.W. Planos diretores de geoprocessamento: desenvolvimento e aplicações. In: CONFERÊNCIA LATINOAMERICANA SOBRE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA, 4 e SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOPROCESSAMENTO, 2, São Paulo, 1993. **Anais ...**.p. 687-707.

DIAS, R.D. **Proposta de metodologia de definição de carta geotécnica básica em regiões tropicais e subtropicais.** Rev. IG, São Paulo. V. Esp., p.51-55. 1995.

DINIZ, N.C.; et al. Mapeamento geoambiental em base de dados georreferenciados como suporte de análise de riscos e avaliação ambiental regionais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOTECNIA AMBIENTAL, 4, 1999, São José dos Campos. **Anais ...** São José dos Campos: 1999. p. 49-62.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **O Brasil visto do espaço**. Mato Grosso, Carta: SE-21-X. http://www.cdbrasil.cnpm.embrapa.br/mt/htm1 /mt21_16.htm. Acessado (20.Jan.2005).

EASTMAN, J.R. **IDRISI for Windows users's guide version 2.0 introduction**. Worcester – MA. Clark University. 1997. Disponível em http://www.ecologia.ufrgs.br/labgeo/cridrisi /tutorial.pdf. Acesso em: 28 jan. 2005.

FERREIRA, M.C. Modelagem Cartográfica aplicada a mapemento de susceptibilidade a danos ambientais: Um ensaio no SIG Idrisi. **Revista Geociências**. V.15,n2.p.485-502.São Paulo. 1996.

FLORENZANO, T.G. **Imagens de satélite para estudos ambientais.** São Paulo: Oficina de Texto, 95p. 2002.

FORNASARI FILHO, N. Coord. **Alterações no meio físico decorrentes de obras de Engenharia.** São Paulo, IPT (Boletim 61). 165p. 1992.

FOURNIER, F. **Climat et erosion**: La relation entre l'erosion du sol par l'e au et les precipitations atmosphèriques, Paris, University Press. 1960.

FRANCO, R. M. Principais problemas ambientais municipais e perspectivas de solução. In: PHILIPPI JR, A. et al., 1.ed. **Municípios e Meio Ambiente:** perspectivas para a municipalização da gestão ambiental no Brasil. São Paulo: Associação Nacional de Municípios e meio ambiente. 1999. p.19-31.

FRANCO, M.S.M. ; PINHEIRO, R. Geomorfologia. In: BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. **Projeto RADAMBRASIL**. Folha SE.21 e parte da Folha SE.20-Corumbá. Rio de Janeiro, 1982, p.161-224.

GEOLOGICAL SOCIETY ENGINEERING GROUP WORKING PARTY REPORT. The description and classification of weathered rocks for engineering purposes. **Quaterly Journal of Engineering Geology**. v. 28, 1995, p. 207-242.

GONÇALVES, A. ; SCHNEIDER A.C. **Geologia do Centro Leste de Mato Grosso**. Ponta Grossa. PETROBRAS-DESUL, 1970, 43 p. (Relatório Técnico, n.394).

GLOSSÁRIO GEOLÓGICO. Disponível em http://www.dct.fct.unl.pt/GGeo/GG1572-1635.html Acesso em 02.out. 2001.

GRANT, K. (1970). **The PUCE programme for terrain evaluation for engineering purpose**. Austrália: CSIRO: Divison of applied geomechanics. Paper 15.

GRANT, K.; FINLAYSON, A. The application of terrain analysis to urban and regional planning: In: INTERNATIONAL CONGRESS OF THE IAEG, 3., Madri, 1978,. ***Proceedings...*** Madri : IAEG. p.79-91. 1978.

GRECCHI, R.C. **Zoneamento geoambiental da região de Piracicaba – SP, com auxílio de geoprocessamento. Escala 1:100.000**. 1998. 132 f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1998.

GRINOVER, L. **O planejamento físico – territorial e a dimensão ambiental**. Cad. FUNDAP, São Paulo. Cap.16, p.25-32. 1989.

GUERRA. A.J.T. O início do processo erosivo. In: GUERRA et. al. **Erosão conservação do solos**: conceitos, temas e aplicações. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, Cap. 1, 1999. p.17-55.

GUIA DO ENVI 3.5 EM PORTUGUÊS (2002). Disponível em: http://www.envi.com.br/guiadoenvi. Acesso em: 20 jun. 2003.

HANIGAN, F. **Erosion**. Review of soil erosion models. Disponível em http://www.mackblackwell.org/research/finals/MBTCOldFinals/MBTC1005.pdf. Acesso em: 28 jan. 2005.

HERMANN, H. **Mineração e meio ambiente**: Metamorfose jurídico-institucionais. 1995. 355 f. Tese (Doutorado em Geociências). Universidade Estadual Paulista, Rio Claro. 1995.

INTERNATIONAL ASSOCIATION OF ENGINEERING GEOLOGY. Engineering Geological Maps: A Guide to Their Preparation. Paris, Unesco. 79p. 1976.

INTERNATIONAL EROSION CONTROL ASSOCIATION (IECA), **Applications of erosion and sediment control products.** http://www.ieca.org/index_gallery.html. acesso em 23.Nov. 2001.

INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO. **Mineração e meio ambiente**. IBRAM. Brasília. 111p. 1992.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Orientações para o combate à erosão no Estado de São Paulo, Bacia do Peixe-Paranapanema**. São Paulo. 6v. 1986. (IPT. Relatório, 24:739p).

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, **Levantamento sistemático da produção agrícola.** Confronto das safras de 2003 e das estimativas para 2004 - Brasil - Setembro de 2004. Disponível em < http://www.ibge.com.br>. Acesso em 01 nov. 2004.

KARMANN, I. Ciclo da água, água subaterrânea e sua ação geológica. In TEIXEIRA, W. et. al. (org.). **Decifrando a terra**. São Paulo, Oficina de Textos. Cap. 7, 2000. p.115-138.

LACERDA FILHO, J.V. et al. Geologia e Recursos Minerais do Estado de Ma\to Grosso. Esc. 1.100.000. Goiânia: CPRM. 2004, (Convênio CPRM/SICME). 200p.

LAL, R. Erodobility and erosivity. In: LAL, R. (ed.) **Soil erosion research methods**. Ankeny, Iowa: Soil and Water Conservation Society,. Cap.7, 1988. p.140-160.

LAL, R. **Soil Erosion in the Tropics**: Principles and management. McGraw-Hill, Inc, 1990, 580p.

LANDIM, P.M.P. **Geologia quantitativa. Introdução à analise estatística de dados geológicos multivariados**. Rio Claro: Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, 2001, 93p.

LANDIS, J.R. ; KOCH, G.G. The measurement of. observer agreement for categorical data. **Biometrics**, v.33. n.1. 1977, p.159-174.

LEINZ, V. ; LEONARDOS O.H. **Glossário Geológico**. 2. ed. São Paulo, Ed. Nacional. 1977, 236p.

LOLLO, J. A. O **Uso da técnica de avaliação do terreno no processo de elaboração do mapeamento geotécnico: Sistematização e aplicação na quadrícula de Campinas.** 1996. 2v.Tese (Doutorado em Geotecnia). Escola de Engenharia de São Carlos.Universidade de São Paulo. São Carlos. 1996.

LOLLO, J.A. ; ZUQUETTE, L.V. **Avaliação do terreno aplicada à elaboração do mapeamento geotécnico.** Apostila SGS-820: Aerofotointerpretação e processos de elaboração do mapeamento geotécnico. São Carlos. Universidade de São Paulo. Escola de Engenharia de São Carlos. 1997. 20p.

LOMBARDI NETO, F. ; MOLDENHAUER, W.C. Erosividade da chuva: sua distribuição e relação com perdas de solo em Campinas, S.P. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA SOBRE CONSERVAÇÃO DO SOLO, 3, 1980, Recife. **Anais...**São Paulo:SBCS, 1980. p13.

LOPES, P.M.S. **Estudo dos atributos do meio físico como base para o zoneamento geoambiental das bacias do Rio Passa Cinco e Rio da Cabeça: Escala: 1:50.000.** 2000. 136 f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000.

LOUREIRO, R.L. ; LIMA, J.P.S. ; FONZAR, B.C. Vegetação. In: BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. **Projeto RADAMBRASIL**. Folha SE.21 e parte da Folha SE.20-Corumbá. Rio de Janeiro. 1982, p.329-372.

MANUAL DO SURFER ® 7.00. **User's guide.** Contouring and 3D surface mapping for scientists and engineers. Golden Software, Inc, 1999.

MARQUES, J.Q.A. ; BERTONI, J. ; BARRETO, G.B. Perdas por erosão no Estado de São Paulo. **Boletim Técnico do Instituto Agronômico do Estado de São Paulo**. Campinas, n. 18: 1961, p.1143-1181.

MATHEWSON, C.C.; FONT, R.G. Geologic environment: Forgotten aspects in the land use planning process. **The Geological Sociaty of America. Engineering Geology** case histories, Boulden, v.10. p.23-28. 1974.

MATULA, M. **Principles and types of engineering geological zoning**. Mem. Soc. Geol. Int. Itália, n.14, p.327-336. 1976.

MEDEIROS, J.S. ; CÂMARA, G. GIS para estudos ambientais. In: CÂMARA, G. et al. **Introdução a Ciência da Geoinformação (livro on-line)**. 2003. http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/cap10-aplicacoesambientais.pdf. Acesso junho de 2003.

MILARÉ, E. Principais problemas ambientais municipais e perspectivas de solução. In: PHILIPPI JR, A. et al., ed. **Instrumentos legais e econômicos aplicáveis aos Municípios.** Sistema municipal do meio ambiente–SISMUNA/SISNAMA*:* São Paulo: Associação Nacional de Municípios e meio ambiente. 1999. p.35- 42.

MINISTÉRIO DO EXÉRCITO. DIRETORIA DE SERVIÇOS CARTOGRÁFICOS. Região Centro Oeste do Brasil. **Rondonópolis,** Folha SE.21-X-B-II. Rio de Janeiro, 1976. Escala 1:100.000.

MINISTÉRIO DO EXÉRCITO. DIRETORIA DE SERVIÇOS CARTOGRÁFICOS. Região Centro Oeste do Brasil. **Jurudorê,** Folha SE.21-X-B-III. Rio de Janeiro, 1976. Escala 1:100.000.

MINISTÉRIO DO EXÉRCITO. DIRETORIA DE SERVIÇOS CARTOGRÁFICOS. Região Centro Oeste do Brasil. **Anhumas,** Folha SE.21-X-B-V. Rio de Janeiro, 1976. Escala 1:100.000.

MINISTÉRIO DO EXÉRCITO. DIRETORIA DE SERVIÇOS CARTOGRÁFICOS. Região Centro Oeste do Brasil. **Pedra Preta,** Folha SE.21-X-B-VI. Rio de Janeiro, 1976. Escala 1:100.000.

MINISTÉRIO DO EXÉRCITO. DIRETORIA DE SERVIÇOS CARTOGRÁFICOS. Região Centro Oeste do Brasil. **Córrego Cachoeira,** Folha SE.21-X-D-II. Rio de Janeiro, 1976. Escala 1:100.000.

MINISTÉRIO DO EXÉRCITO. DIRETORIA DE SERVIÇOS CARTOGRÁFICOS. Região Centro Oeste do Brasil. **Itiquira,** Folha SE.21-X-D-III. Rio de Janeiro, 1976. Escala 1:100.000.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Gestão dos recursos naturais:** Subsídios à elaboração da Agenda 21 Brasileira**.** BEZERRA, M.C.L. ; MUNHOZ, T.M.T. (Coord.). Brasília: Ministério do Meio Ambiente; Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, 2000. 200p.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Cidades sustentáveis***:* Subsídios à elaboração da Agenda 21Brasileira**.** BEZERRA, M.C.L. ; FERNANDES, M. A. (Coord.). Brasília: Ministério do Meio Ambiente; Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, 2000a. 155p.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Agricultura sustentável**: Subsídios à elaboração da Agenda 21Brasileira**.** BEZERRA, M.C.L. ; VEIGA, J. E. (Coord.). Brasília: Ministério do Meio Ambiente; Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, 2000b. 190p.

MORAIS, L.F.B., et al. Índice EI30 de chuva e sua relação com o coeficiente de chuva do sudoeste de Mato Grosso. **Rev. Bras. Ciencias do Solo.** n.15, 1991. p.339– 344.

MOTA, S. **Introdução à engenharia ambiental.** Rio de Janeiro: ABES, 1997. 292p.

MORGAN, R.P.C. **Soil erosion & conservation**. 2. ed. New York. John Wiley & Sons.1995. 198p.

NISHIYAMA, L. **Erosão do solo:** uma visão integrada dos fatores e processos que condicionam o seu desenvolvimento. 1995.São Carlos. 95p. Revisão Bibliográfica, Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. 1995.

NISHIYAMA, L. **Procedimentos de mapeamento geotécnico como base para análises e avaliações ambientais do meio físico, em escala 1:100.000: aplicação no Município de Urbelândia– MG.** 1998. São Carlos, 2v. 363f. Tese (Doutoradoem Geotecnia). Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. 1998.

NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 1989. 421p.

NOGAMI, J.S. ; VILLIBOR, D.F. Characterization of mapping units for higway purposes in a tropical area. **Bulletin of the International Association of Engineering Geology**. n.19, 1979, p.196-199.

OLIVEIRA, A.M.S., et al.. Geologia de engenharia e meio ambiente. In: BITAR, O. Y. (Coord.). **4º Curso de geologia aplicada ao meio ambiente.** São Paulo, IPT. 1993. p.07-19.

OLIVEIRA, A.M.S. Processos erosivos e preservação de áreas de risco de erosão por voçorocas. In: GUERRA et. al. **Erosão e conservação dos solos:** conceitos, temas e aplicações. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, Cap. 2, 1999. p.57-99.

OLIVEIRA JUNIOR, R.C. ; MEDINA, B.F. A erosividade das chuvas em Manaus (AM). Rev. Bras. **Ciências do Solo**. n.14, 1990. p.235–239.

OLIVEIRA JUNIOR, R.C. A erosividade das chuvas na parte leste do Pará. Dissertação. 1988. (Mestrado em Ciências) Faculdade de Ciências Agrárias do Pará, Belém, 1988.

OKA-FIORI, C. ; SOARES, P.C. Aspectos evolutivos das voçorocas. **Notícias Geomorfológicas**. Campinas. v.16. n.32. 1976, p. 114-124.

OKA-FIORI, C. **Geomorlogia e dinâmica temporo-espacial da bacia do Rio Itiquira: Pantanal Mato-grossense – MT,MS**. 2002. 208 f. Tese (Doutorado em Geociências) - Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2002.

ORIOLI, A.L. ; AMARAL FILHO, Z. P. ; OLIVEIRA, A.B. Pedologia. In: BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. **Projeto RADAMBRASIL**. Folha SE.21 e parte da Folha SE.20-Corumbá. Rio de Janeiro. 1982, p.225-328.

PASTORE, E.L. ; FONTES, R.M. Caracterização e classificação de solos. In: OLIVEIRA, A.M.S. et al., ed. **Geologia de Engenharia.** São Paulo, Associação Brasileira de Geologia de Engenharia. Cap. 12, 1998. p.197-210.

PEJON, O.J. **Mapeamento Geotécnico de Piracicapa, escala 1:100.000:** Estudo de aspectos metolológicos, de caracterização e de apresentação dos atributos. 1992, 2v. 224 f. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1992.

PEJON, O. J. **Estudo dos fenômenos de expansão de rochas sedimentares de granulometria fina. Identificação, caracterização e mapeamento**. 2000. 197f. Tese Livre Docência – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000.

PIRES NETO, A.G. ; YOSHINAGA, S. O Planejamento territorial no Instituto Geológico: revisão e avaliação da experiência. **Rev. IG**, São Paulo, v. esp., p.37-43. 1995.

PRANDINI, F.L.; NAKAZANA, V. A. ; FREITAS, C.G.L; DINIS, N. C. Cartografia geotécnica nos planos diretores regionais e municipais. In: BITAR, O. Y. cood. (1993). **Curso de geologia aplicada ao meio ambiente.** São Paulo, ABGE/IP. p. 233-251. 1993.

RAJAB, A. et al. **Catálogo de rochas ornamentais do Estado de Mato Grosso.** Cuiabá: DNPM, 1998. 78p.

RAZZO, G. **Challenge of erosion control**. Gabion lined channel. 1997. http://www.ieca.org/index_gallery.html. acesso em 23 nov.2001.

RISSO, A. et. al. Produção de sedimentos. In: BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal. Plano de Conservação da Bacia do Alto Paraguai (Pantanal) - PCBAP: **Hidrossedimentologia do Alto Paraguai**. Brasília. v.2. tomo II-A. 1997, p.282-317.

RODRIGUES, J. E. **Estudo de fenômenos acelerados: Boçorocas**. 1982. São Carlos. 162f. Tese (Doutorado em Geotecnia). Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. São Carlos. 1982.

RODRIGUES, J.E. Estudos geotécnicos de fenômenos erosivos acelerados (boçorocas). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 4, 1984, Belo Horizonte. **Anais...**São Paulo: ABGE, 1984. p.169-182.

ROSS, J.L.S. **Geografia do Brasil**. São Paulo. Edusp, 1995, p.13-51. (didática, 3). 2001.

RUFINO, R.L. et al. Determinação do potencial erosivo da chuva do estado do Paraná. **Rev. Bras. Ciências do. Solo**. n.17, 1993. p.439– 444.

SAATY, T.L. **A scaling method for priorities in hierarchical structures** . Jounal of Math. Psychology. V.15, p.234-281, 1977.

SACHS, I. **Espaço, tempos e estratégias do desenvolvimento**. São Paulo, Vértice. 1986.

SALOMÃO, F.X.T. Controle e prevenção dos processos erosivos. In: GUERRA et. al. **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, Cap. 7, 1999. p.229-267.

SALOMÃO, F.X.T. ; ANTUNES, F.S. Solos em pedologia. In: OLIVEIRA, A.M.S. ; BRITO, S.N.A., 1.ed. **Geologia de Engenharia**. São Paulo, Associação Brasileira de Geologia de Engenharia. Cap. 6, 1998. p.87-99.

SALOMÃO, F.X.T. ; IWASA, O.Y. Erosão e ocupação rural e urbana. In: **4º Curso de geologia aplicada ao meio ambiente.** São Paulo, ABGE/IPT, 1995.

SANT`ANA, E.M. et al. **Contribuição ao estudo da geomorfologia da área de Rondonópolis com fins ao uso agrícola da terra**. Rio de Janeiro: IBGE, Departamento de Recursos naturais e Estudos Ambientais. 1989, 84p.

SANEJOUAND, R. **La cartograhie Geótechinique en France.** Paris: Ministère de l`Equipement et du Logement. D.A.F.U.; A.R.M.I.N.E.S.; L.C.P.C. 96p. 1972.

SANTORO, J. **Fenômenos erosivos acelerados na região de São Pedro. SP. Estudo da fenomenologia, com ênfase geotécnica.** 1991. Rio Claro. 140f. Dissertação (Mestrado em Geociências). Instituto de Geociências e Ciência Exatas. Universidade Estadual Paulista. 1991.

SCHOBBENHAUS FILHO, et al. **Carta geológica do Brasil ao milionésio**. Folha Goiás. SD.22. Brasília, DNPM, 1975.

SCISLEWSKI et al. Programa de Integração Mineral no Município de Rondonópolis, Socioeconomia, **Projeto PRIMAZ-MT,** CPRM, Goiânia. 25p. Anexo I. 1998

SELBY, M. J. **Hillslope materials and process.** Oxford, Oxford Press, 1993. p. 5-44.

SILVEIRA, L.L. **Elaboração de Carta de Susceptibilidade à Erosão das Bacias dos Rios Araraquara e Cubatão – SP, Escala 1:50.000.** 2002. 187 f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2002.

SILVA, A.M. Rainfall erosivity map for Brazil. **Catena.** Elsevier. n.57. 2004. p.251-259.

SOBREIRA, F.G. **Estudo Geoambiental do Conselho de Sesimbra.** Lisboa, 347p. Tese (Doutorado). Departamento de Geologia, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa. 1995.

SOUZA, M.P. **Instrumentos de gestão ambiental:** Fundamentos e prática. São Carlos. ed. Riani Costa. 2000. 112p.

SOUZA, M.L**. Estudos geológico-geotécnico de feições erosivas voltadas à tomada de procedimentos de decisões quanto a medidas correlativas, mitigadoras e preventivas: aplicação no Município de Umuarama (PR).** 2001. Rio Claro, 284f. Tese (Doutorado em Geociências). Universidade Estadual Paulista, Rio Claro. 2001.

STRAHLER, A. N. Quantitative analysis of watershed geomorphology. **Transaction of the American Geophysical Union**. v.38. n.6. 1957. p.913-920.

STURZA J.A.I. **Paisagem e organização espacial na Bacia do Ribeirão Ponte de Pedra – MT.** 1999. 104 f. Dissertação (Mestrado em Geografia). Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Estadual Paulista - UNESP, Presidente Prudente, 1999.

TD ENGENHARIA LTDA. **Diagnóstico ambiental prévio da PCH Rondonópolis:** Hidrossedimentologia. Cuiabá, 2002. p.41-64.

TD ENGENHARIA LTDA. **Diagnóstico ambiental prévio da PCH João Basso**: Hidrossedimentologia. Cuiabá, 2002a. p.42-59.

THOEH, F.R. **Landform equations fitted to contour maps.** American Journal of Science, New York, 263. 1965. p.616-627.

TOLEDO, M.C.M. et al. Intemperismo e formação do solo. In: TEIXEIRA, W. et al. (org.). **Decifrando a Terra.** São Paulo: Oficina de Texto. Cap. 8, 2000. p.139-166.

VAL, L.A., et al. Erosividade das chuvas em Lavras, MG. **Ciência Prática**. 10, 1986. 199–209.

VAZ, L.F. Classificação genética de solos e horizontes de alteração de rocha em regiões tropicais. São Paulo. **Revista Brasileira de Geotecnia**, ABMS/ABGE. 1996.

VEROCAI, I. **Dicionário básico de meio ambiente.** http://www.redeambientalrj.org.br/dic_amb/s.htm. acesso em 14 nov.2001

VILLAR, O.M. **Formulação de um modelo matemático para a erosão dos solos pela chuva.** 1987. Tese (Doutorado em Geotecnia). Escola de Engenharia de São Carlos. 1987.196p.

VILLAR, O.M. ; PRANDI, E.C. Erosão dos solos. In: CINTRA, J.C.A. ; ALBIERO, J.H. (eds.). **Solos do Interior de São Paulo**. São Carlos. Cap. 7, 1993. p.177-206.

WISCHMEIER, W.H. ; SMITH D.D. Rainfall energy and its relationshps to soil loss. **Amer. Geophys. Union Transactions**, Washington, v.2.n.39, 1958, p.285-291.

WISCHMEIER, W. H. ; SMITH, D.D. Predicting rainfall erosion losses from Cropland East of the Rocky Mountains. **Agriculture Handbook**, Washington, v. 282, 1965, p.1- 47.

YOSHINAGA, S. et al. **Subsídios ao planejamento territorial de Campinas**: aplicação da abordagem de tipos de terrenos. Rev. IG. São Paulo. v. esp., p.71-75. 1995.

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

ZUQUETTE, L.V. **Análise crítica da cartografia geotécnica e proposta metodológica para as condições brasileira**. 1987. 4V**.** Tese (Doutorado em Geotecnia), Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1987.

ZUQUETTE L.V. **Importância do mapeamento geotécnico no uso e ocupação do meio físico**: fundamentos e guia para elaboração. 1993. 256f. 2v. Tese (Livre-Docência) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 1993.

ZUQUETTE, L.V. ; GANDOLFI, N. Mapeamento geotécnico: uma proposta metodológica. **Geociências**, São Paulo, v.9, 1990, p.55 – 66.

ZUQUETTE, L.V. ; GANDOLFI, N. **Cartografia geotécnica.** São Paulo: Oficina de Texto. 190p, 2004.

ZUQUETTE, L.V. ; PEJON, O.J. ; GANDOLFI, N. ; RODRIGUES, J.E. Mapeamento geotécnico: parte 1 – atributos e procedimentos básicos para elaboração de mapas e cartas. **Geociências**, v.16, n. 2., São Paulo, 1997, p.491–524.

ZUQUETTE, L. V. ; NAKAZAWA, V.A. Cartas de Geologia de Engenharia. In: SANTOS, A.M. et al., ed. **Geologia de engenharia.** São Paulo, Associação Brasileira de Geologia de Engenharia. Cap. 17, p.283-300. 1998.

Livros Grátis

(http://www.livrosgratis.com.br)

Milhares de Livros para Download:

Baixar livros de Administração
Baixar livros de Agronomia
Baixar livros de Arquitetura
Baixar livros de Artes
Baixar livros de Astronomia
Baixar livros de Biologia Geral
Baixar livros de Ciência da Computação
Baixar livros de Ciência da Informação
Baixar livros de Ciência Política
Baixar livros de Ciências da Saúde
Baixar livros de Comunicação
Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE
Baixar livros de Defesa civil
Baixar livros de Direito
Baixar livros de Direitos humanos
Baixar livros de Economia
Baixar livros de Economia Doméstica
Baixar livros de Educação
Baixar livros de Educação - Trânsito
Baixar livros de Educação Física
Baixar livros de Engenharia Aeroespacial
Baixar livros de Farmácia
Baixar livros de Filosofia
Baixar livros de Física
Baixar livros de Geociências
Baixar livros de Geografia
Baixar livros de História
Baixar livros de Línguas

Baixar livros de Literatura
Baixar livros de Literatura de Cordel
Baixar livros de Literatura Infantil
Baixar livros de Matemática
Baixar livros de Medicina
Baixar livros de Medicina Veterinária
Baixar livros de Meio Ambiente
Baixar livros de Meteorologia
Baixar Monografias e TCC
Baixar livros Multidisciplinar
Baixar livros de Música
Baixar livros de Psicologia
Baixar livros de Química
Baixar livros de Saúde Coletiva
Baixar livros de Serviço Social
Baixar livros de Sociologia
Baixar livros de Teologia
Baixar livros de Trabalho
Baixar livros de Turismo