UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOTECNIA

RÔMULO AMARAL FAUSTINO MAGRI

Análise da suscetibilidade à erosão da região do Médio Rio Grande (MG)

São Carlos – SP
2013

RÔMULO AMARAL FAUSTINO MAGRI

Análise da suscetibilidade à erosão da região do Médio Rio Grande (MG)

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

Orientador: Professor Titular Osni José Pejon

VERSÃO CORRIGIDA

São Carlos – SP
2013

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

M212a

Magri, Rômulo Amaral Faustino
Análise da suscetibilidade à erosão da região do Médio Rio Grande(MG) / Rômulo Amaral Faustino Magri; orientador Prof Osni José Pejon . São Carlos, 2013.

Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação e Área de Concentração em Geotecnia -- Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2013.

1. Erosão linear. 2. Mapeamento Geotécnico. 3. SIG. 4. *Landforms*. 5. Geoprocessamento. I. Título.

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidato: Engenheiro **RÔMULO AMARAL FAUSTINO MAGRI.**

Título da dissertação: "Análise da suscetibilidade à erosão da região do Médio Rio Grande (MG)".

Data da defesa: 22/03/2013

Comissão Julgadora:	**Resultado:**
Prof. Titular **Osni José Pejon** (Orientador) (Escola de Engenharia de São Carlos/EESC)	Aprovado
Prof. Dr. **Eduardo Goulart Collares** (Universidade Estadual de Minas Gerais/UEMG)	APROVADO
Prof. Dr. **Reinaldo Lorandi** (Universidade Federal de São Carlos/UFSCar)	Aprovado

Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Geotecnia:
Prof. Titular **Osni José Pejon**

Presidente da Comissão de Pós-Graduação:
Prof. Titular **Denis Vinicius Coury**

Dedico este trabalho aos meus pais, Irene e Roberto, com todo meu amor e gratidão.

AGRADECIMENTOS

A Deus, meu amigo presente em todos os momentos, por sempre cuidar de mim e mostrar a direção correta a seguir.

Ao Prof. Osni Pejon pela orientação, paciência, amizade e estímulo que me proporcionaram um crescimento profissional e pessoal.

Ao Prof. Eduardo Collares que, ao ter me aceitado como aluno de iniciação científica em 2009, me possibilitou chegar onde cheguei. Pelas preciosas discussões, pelo estímulo, pela confiança em mim depositada e pela grande amizade construída desde os primeiros anos da minha graduação.

À Profª Valéria pela oportunidade de realização de dois estágios em docência, pelas valiosas discussões e, acima de tudo, pela amizade.

Ao Prof. Lázaro pelas valiosas discussões acerca dos mais variados temas.

Ao Bruno Medeiros (Piá), Filipe Biaggioni (Filito) e Jaqueline Ruiz (Jaqui), grandes amigos que fiz no Depto de Geotecnia, e à minha amiga de longa data, Camila Cerdeira (Absoluta), pelas discussões geotécnicas, pelos momentos de descontração e, sobretudo pela amizade que perdurará para a vida inteira.

Ao Fernando Proença e Diogo Gontijo, pela convivência harmoniosa em São Carlos e pela grande amizade construída.

Aos meus amigos pacenses Ricardinho, Fernandinha, Áppia, Caio, Maicon, Marina, Paulo, Carol e Allysson, pelo apoio, por estarem comigo nos momentos difíceis e também nos momentos de alegria e descontração.

À minha namorada Thais, por sempre me incentivar, pela compreensão e por se fazer presente nos momentos em que eu estive ausente.

À minha mãe Irene, ao meu pai Roberto e à minha irmã Vanessa, pelo apoio incondicional, por acreditarem em mim e nunca me deixarem desanimar.

À galera do Mapeamento: Claudia, Simone, Camila Natália, Lígia, Ju, Maria Paula, pelos conhecimentos compartilhados, pela convivência harmoniosa e pela amizade estabelecida.

À Paola pelo valioso auxílio nas primeiras etapas de campo e pela amizade.

Aos técnicos e funcionários do Departamento de Geotecnia, pelo apoio e atenção a mim dispensados.

Ao Projeto Grande Minas e toda a sua equipe brilhante, em especial aos alunos de iniciação científica Leonardo Dias (Bino) e Amanda Almeida (Gabriela), por tornar as atividades de campo tão divertidas (e muito produtivas)!

Ao CNPq pela concessão da bolsa de estudos.

RESUMO

MAGRI, R. A. F. **Análise da suscetibilidade à erosão da região do Médio Rio Grande (MG)**. 2013. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2013.

Este trabalho objetivou analisar a suscetibilidade à erosão linear da região do Médio Rio Grande (MG), que abrange uma área de 9794,12 km², através de documentos cartográficos interpretativos. Utilizando técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto associadas a levantamentos de campo e ensaios de laboratório, foram produzidos os seguintes documentos cartográficos: Carta de Declividade, Mapa de *Landforms,* Mapa de Materiais Inconsolidados e Inventário de Feições Erosivas. O produto final do trabalho, a Carta de Suscetibilidade à Erosão em escala 1:100.000, foi elaborada utilizando informações referentes ao substrato rochoso, formas do terreno, materiais inconsolidados e declividade. Cada documento cartográfico utilizado foi analisado de forma individual, para observar a potencialidade de cada um de seus atributos internos (ou classes) em desenvolver processos erosivos, assim, foram atribuídos pesos através do Processo Analítico Hierárquico (AHP). A Carta de Suscetibilidade à Erosão obtida conseguiu retratar bem a suscetibilidade da área, pois dos 78 processos erosivos de grande porte (boçorocas), identificados no inventário, em torno de 80% estão situados nas classes de alta e muito alta suscetibilidade à erosão. Portanto, esta Carta indica quais são as áreas em que se deve ter um controle mais rígido do uso e ocupação do solo para prevenir o desencadeamento de processos erosivos de grande porte, ou seja, auxilia no planejamento ambiental e na definição de medidas a serem tomadas.

Palavras-chave: Erosão linear. Mapeamento Geotécnico. SIG. *Landforms*. Geoprocessamento.

ABSTRACT

MAGRI, R. A. F. **Analysis of susceptibility to erosion of the Middle Rio Grande (Minas Gerais – Brazil)**. 2013. Dissertation (Master in Geotechnical Engineering) – São Carlos School of Engineering, University of São Paulo. São Carlos 2013.

This study aimed to analyze the susceptibility to linear erosion of the region of the Middle Rio Grande (Minas Gerais – Brazil) that covers an area of 9794.12 km², through interpretive cartographic documents. Using geoprocessing techniques and remote sensing associated with field surveys and laboratory tests, the following cartographic documents were produced: Chart of Slope, *Landforms* Map, Map of Unconsolidated Material and Inventory of Erosive Features. The final product of this work is the Chart of Erosion Susceptibility in scale 1:100,000. It was prepared using information relating to the bedrock, forms of terrain, unconsolidated materials and slope. Each cartographic document used was analyzed individually in order to observe the potential of each of its internal attributes (or classes) to develop erosive processes, thus were assigned weights using the Analytic Hierarchy Process (AHP). The Chart of Erosion Susceptibility obtained could well portray the susceptibility of the area because analyzing a total of 78 large erosion processes (gully erosion) identified in the inventory, about 80% are located in the classes of high and very high susceptibility to erosion. Therefore, this Chart indicates which areas in which to have a tighter control of the use and occupation of land to prevent large erosion triggering, ie assists in environmental planning and defining actions to be taken.

Keywords: Linear erosion. Geotechnical Mapping. GIS. *Landforms*. Geoprocessing.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Tipos de erosão. Adaptado de Lal (1990). **38**

Figura 2.2 – Tipos de erosão, adaptado de Hillel (1998). **39**

Figura 2.3 – Velocidades críticas da água, necessárias para que ocorra erosão, transporte e sedimentação, como uma função do tamanho das partículas (HJULSTROM, 1935 apud GUERRA, 1994). **40**

Figura 2.4 –Impacto de uma gota de chuva na superfície de um solo erodível (a); Splash em superfície inclinada (b). Fonte: Hillel (1998). **46**

Figura 2.5 – Declividades em encostas convexas e concâvas. Fonte: Rodrigues (1982). **48**

Figura 2.6 – Classificação das formas de encostas. Fonte: Troeh (1965) modificado por Rodrigues (1982). **48**

Figura 2.7 – Formas geométricas das encostas (RUHE, 1975 apud XuJiongxin, 1996). **49**

Figura 2.8 – O papel da cobertura vegetal. Modificado de Prandini et al. (1976 apud JORGE; UEHARA, 1998). **50**

Figura 2.9 – Esquema do ensaio de absorção de água. Fonte: Menezes (2010). **55**

Figura 2.10 – Esquema do aparelho Inderbitzen. Fonte: Ide (2009). **56**

Figura 2.11 – Esquema geral do equipamento para ensaio Pinhole. Fonte: Matheus (2006) modificado de ABNT (1998). **57**

Figura 2.12 – Interação dos dados de inventário no contexto dos processos erosivos. Fonte: Ferreira, Pejon e Zuquete (2010). **66**

Figura 2.13 – Aplicação da técnica de avaliação do terreno, modificado de Cooke e Doornkamp (1990), apud Lollo (1996). **69**

Figura 2.14 – Arquitetura de um SIG (CÂMARA; MEDEIROS, 1998). **73**

Figura 3.1 – Localização da área de estudo. **76**

Figura 3.2 – Mapa de Substrato Rochoso da área de estudo, escala original 1:100.000. Fonte: Gomes e Collares (2011). **78**

Figura 3.3 – Mapa de Solos do GeoMinas, escala original 1:1.500.000 (MINAS GERAIS, 1980). 79

Figura 3.4 – Vegetação Natural da área estudo, escala original 1:1.500.000 (MINAS GERAIS, 1980). 80

Figura 3.5 – Delimitação das macrounidades segundo Gomes e Collares (2010). 82

Figura 4.1 – Fluxograma com as principais atividades desenvolvidas. 87

Figura 4.2 – Articulação das cartas topográficas da área de estudo (MAGRI, 2010). 88

Figura 4.3 – Representação das formas do terreno (INPE, 2008). 93

Figura 4.4 – Perfil de alteração esquemático utilizado para caracterização dos materiais inconsolidados. 94

Figura 5.1 – Ilustração representando a validação qualitativa do MDT de uma parte da área de estudo. 100

Figura 5.2 – Percentual de ocorrência das classes hipsométricas na área de estudo. 100

Figura 5.3 – Mapa Hipsométrico sobreposto ao Modelo Digital do Terreno Sombreado. 101

Figura 5.4 – Percentual de ocorrência das classes de declividade na área de estudo. 102

Figura 5.5 – Carta de Declividades. 103

Figura 5.6 – Percentual de ocorrência dos tipos de relevo na área de estudo. 104

Figura 5.7 – Mapa de landforms sobreposto ao Modelo Digital do Terreno Sombreado. 105

Figura 5.8 – Colinas, Unidade de landforms C1. Ponto 14. 112

Figura 5.9 – Colinas, Unidade de landforms C2. Ponto 171. 112

Figura 5.10 – Arenito com matriz silto-argilosa e presença de muscovita. Ponto 4. 112

Figura 5.11 – Afloramento de arenito com estratificação cruzada. Ponto 4. 113

Figura 5.12 – Colinas sustentadas por arenitos, Unidade de landforms C3. Ponto 219. 113

Figura 5.13 – Colinas da Unidade de landforms C4 em primeiro plano e M1 ao fundo. Ponto 196. 114

Figura 5.14 – Unidade de landforms C5. Ponto 81. 114

Figura 5.15 – Colinas (em 1º plano) interceptadas por vales abertos, unidade de landforms C6. Ponto 108. 115

Figura 5.16 – Morrote isolado da unidade de landforms C6. Ponto 45. 115

Figura 5.17 – Colinas, Unidade de landforms C7. Ponto 25. 115

Figura 5.18 – Unidade de landforms C8. Ponto156. 116

Figura 5.19 – Colinas da Unidade de landforms C9. Ponto 68. 116

Figura 5.20 – Vales abertos e colinas da unidade de landforms C10, ao fundo S2. Ponto 144. 117

Figura 5.21 – Escarpas, unidade de landforms E1. Ponto 178. 117

Figura 5.22 – Escapas, unidade de landforms E2. Ponto 212. 118

Figura 5.23 – Escarpas da unidade de landforms E3. Ponto 220. 118

Figura 5.24 – Escarpas, unidade de landforms E4. Ponto 86. 119

Figura 5.25 – Afloramento de quartzito intercalado com mica-xisto. Ponto 83. 119

Figura 5.26 – Escarpas sustentadas por quartzitos, unidade de landforms E5. Ponto 244 120

Figura 5.27 – Unidade de landforms E6. Ponto 237. 121

Figura 5.28 – Unidade de landforms M2. Ponto 52. 122

Figura 5.29 – Amostra de gnaisse encontrada na Unidade M2. Ponto 53. 122

Figura 5.30 – Unidade de landforms M3. Ponto: 88. 122

Figura 5.31 – Unidade de landforms M4. Ponto: 185. 123

Figura 5.32 – Unidade de landforms M5. Ponto: 63. 123

Figura 5.33 – Unidade de landforms M6. Ponto: 39. 124

Figura 5.34 – Unidade de landforms M7. Ponto 198: 124

Figura 5.35 – Unidade de landforms M8. Ponto: 97. 125

Figura 5.36 – Unidade de landforms M9. Ponto: 44. 125

Figura 5.37 – Unidade de landforms M10. Ponto 22. 126

Figura 5.38 – Unidade de landforms M11. Ponto: 125. 126

Figura 5.39 – Unidade de landforms M12 Ponto: 29. **127**

Figura 5.40 – Perfil esquemático de um platô mesoencosta. **127**

Figura 5.41 – Unidade de landforms M14 Ponto: 143. **128**

Figura 5.42 – Relevo da Unidade de landforms Ms1 sustentado por basaltos. Ponto: 168. **128**

Figura 5.43 – Relevo da Unidade de landforms Ms1 sustentado por arenitos. Ponto: 169. **129**

Figura 5.44 – Morros com encostas suavizadas associados a colinas, Unidade de landforms Ms2. Ponto: 239. **129**

Figura 5.45 – Morro testemunho sustentado por arenito silicificado, na Unidade de landforms Ms3. **130**

Figura 5.46 – Morro testemunho sustentado por arenito silicificado, na Unidade de landforms Mt1. **130**

Figura 5.47 – Colinas aplainadas da Unidade de landforms Mt2. Ponto: 13. **131**

Figura 5.48 – Unidade de landforms Mt5. Ponto: 57. **132**

Figura 5.49 – Unidade de landforms Mt6. Ponto: 82. **132**

Figura 5.50 – Unidade de landforms Mt7. Ponto: 73. **133**

Figura 5.51 – Unidade de landforms Mt8. Ponto: 158. **133**

Figura 5.52 – Unidade de landforms Mt11. Ponto: 91. **134**

Figura 5.53 – Planície em 1º plano, Unidade S2 ao fundo. Linha tracejada indicando meandro abandonado. **135**

Figura 5.54 – Unidade de landforms Pt1. Ponto: 174. **135**

Figura 5.55 – Unidade de landforms Pt2. Ponto: 221. **136**

Figura 5.56 – Unidade de landforms Pt3. Ponto: 128. **136**

Figura 5.57 – Unidade de landforms Pt4. Ponto: 131. **137**

Figura 5.58 – Unidade de landforms S1. Ponto: 43. **137**

Figura 5.59 – Unidade de landforms S2. Ponto: 107. **138**

Figura 5.60 – Unidade de landforms S3. Ponto: 105. **139**

Figura 5.61 – Unidade de landforms V2. Ponto: 122. 140

Figura 5.62 – Unidade de landforms V3. Ponto: 238. 140

Figura 5.63 – Exemplo de perfil esquemático adotado para representar as unidades de materiais inconsolidados. 141

Figura 5.64 – Mapa de Materiais Inconsolidados. 142

Figura 5.65 – Nível de solo maduro (SM) da Unidade 1. 143

Figura 5.66 – Ilustração esquemática do perfil de alteração da Unidade 1. 143

Figura 5.67 – (a) Nível de saprolito com presença de micas, e estutura reliquiar da rocha de origem. (b) Ilustração esquemática do perfil de alteração da Unidade 2. 144

Figura 5.68 – Ilustração esquemática do perfil de alteração da Unidade 3. 145

Figura 5.69 – Arenito alterado. 145

Figura 5.70 – Afloramento de basaltos da Formação Serra Geral. 146

Figura 5.71 – Ilustração esquemática do perfil de alteração da Unidade 4. 146

Figura 5.72 – Aspecto dos materiais inconsolidados da Unidade 4 147

Figura 5.73 – Ilustração esquemática do perfil de alteração da Unidade 5. 147

Figura 5.74 – Ilustração esquemática do perfil de alteração da Unidade 6. 148

Figura 5.75 – Solo maduro sobreposto a quartzito alterado, Unidade 7. 148

Figura 5.76 – Ilustração esquemática do perfil de alteração da Unidade 7. 149

Figura 5.77 – (a) Ilustração esquemática do perfil de alteração da Unidade 8. (b) Aspecto dos materiais inconsolidados em campo. 149

Figura 5.78 – (a) Ilustração esquemática do perfil de alteração da Unidade 9. (b) Solo maduro da Unidade 9. 150

Figura 5. 79 – Aspecto do nível de saprolito em campo. 151

Figura 5.80 – Perfil de alteração da Unidade 10. 151

Figura 5.81 – (a) Ilustração esquemática do perfil de alteração da Unidade 11. (b) Aspecto dos materiais inconsolidados em campo. 152

Figura 5.82 – Saprolito e rocha alterada da Unidade 12. 153

Figura 5.83 – Ilustração esquemática do perfil de alteração da Unidade 12. **153**

Figura 5.84 – Ilustração esquemática do perfil de alteração da Unidade 13. **154**

Figura 5.85 – Ilustração esquemática do perfil de alteração da Unidade 14. **155**

Figura 5.86 – Nível de solo maduro da Unidade 14 em campo. **155**

Figura 5.87 – Ilustração esquemática do perfil de alteração da Unidade 15. **156**

Figura 5.88 – Ilustração esquemática do perfil de alteração da Unidade 16. **157**

Figura 5.89 – Estrutura reliquiar em nível saprolito de Unidade 16. **157**

Figura 5.90 – Aspecto dos materiais inconsolidados de Unidade 17 em pontos distintos. **158**

Figura 5.91 – Gráfico representando o percentual de cada classes de suscetibilidade à erosão em relação à área de estudo. **166**

Figura 5.92 – Carta de Suscetibilidade à Erosão da área de estudo. **167**

Figura 5.93 – Tipos de processos erosivos que ocorrem na área. **168**

Figura 5.94 – Distribuição das classes de alta e muito alta suscetibilidade à erosão nos diferentes tipos de uso e ocupação do solo. **170**

Figura 5.95 – Mapa de Criticidade das Macrocunidades em relação à área de processos erosivos. **174**

Figura 5.96 – (A e B) Concentração de sulcos em estágio incipiente (DEL-6). **175**

Figura 5.97 – (A e B) Ravinas ativas em estágio de evolução médio (DEL-5). **176**

Figura 5.98 – (A e B) Ravinas com sinais de estabilização em estágio de evolução médio (DEL-3). **176**

Figura 5.99 – (A) Ravina evoluindo para boçoroca (IB-18); (B) Boçoroca com maior área (IB-01); e (C) Boçoroca com maior profundidade (IB-08). **177**

Figura 5.100 – Feição erosiva intensamente vegetada (SSP-30). **178**

Figura 5.101 – Concentração de sulcos (MT-14). **179**

Figura 5.102 – Ravina com indícios de estabilização (MT-16). **179**

Figura 5.103 – Boçoroca ativa (MT-15). **180**

Figura 5.104 – Boçoroca com surgência de água (MT-3). **180**

Figura 5.105 – Sedimentos e vegetação de boçoroca (MT-3). **181**

Figura 5.106 – Boçoroca (MT-4). **181**

Figura 5.107 – Ravina em estado ativo (CP-03). **182**

Figura 5.108 – Boçoroca com vegetação rasteira (IB-25). **183**

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Classificação de boçorocas quanto à profundidade (FENDRICH, 1997). ____ 43

Tabela 2.2 – Relação entre diâmetro, velocidade, final e altura de queda de gotas d'àgua (RODRIGUES, 1982). ____ 46

Tabela 3.1 – Distribuição percentual das unidades de substrato rochoso na área de estudo. 78

Tabela 3.2 – Número de pessoas que habitam os municípios que compõem a área de estudo, segundo Pereira (2012). ____ 81

Tabela 4.1 – Critérios utilizados para a identificação das unidades de relevo. ____ 90

Tabela 4.2 – Escala de julgamento (SAATY, 1980). ____ 96

Tabela 4.3 – Valores de consistência randômica (IR) em função da ordem da matriz (n). ____ 97

Tabela 5.1 – Distribuição das classes hipsométricas na área de estudo. ____ 102

Tabela 5.2 – Distribuição das classes de declividade na área de estudo. ____ 102

Tabela 5.3 – Distribuição percentual dos tipos de encostas nas unidades de landforms. (continua) ____ 107

Tabela 5.4 – Distribuição das Unidades de Landforms na área de estudo. (continua) ____ 110

Tabela 5.5 – Matriz de comparação pareada para as unidades de materiais inconsolidados. 159

Tabela 5.6 – Matriz normalizada, autovetor (peso) e análise de consistência para as unidades de materiais inconsolidados. ____ 160

Tabela 5.7 – Matriz de comparação pareada para as classes de declividade. ____ 161

Tabela 5.8 – Matriz normalizada, autovetor (peso) e análise de consistência para classes de declividade. ____ 161

Tabela 5.9 – Matriz de comparação pareada para as formas de terreno. ____ 162

Tabela 5.10 – Matriz normalizada, o autovetor (peso) e a análise de consistência obtida para as formas de terreno. ____ 162

Tabela 5.11 – Matriz de comparação pareada para o substrato rochoso. ____ 163

Tabela 5.12 – Matriz normalizada, o autovetor (peso) e a análise de consistência obtida para o substrato rochoso. 163

Tabela 5.13 – Matriz de comparação pareada para os temas considerados influentes na suscetibilidade à erosão. 164

Tabela 5.14 – Matriz normalizada, autovetor (peso) e análise de consistência para os atributos considerados influentes na suscetibilidade à erosão. 164

Tabela 5.15 – Intervalos de valores dos pixels e suas respectivas classes de suscetibilidade à erosão. 165

Tabela 5.16 – Distribuição das classes de suscetibilidade à erosão na área de estudo. 168

Tabela 5.17 – Ocorrência de processos erosivos nas classes de suscetibilidade à erosão. 169

Tabela 5.18 – Tabulação cruzada entre a Carta de Suscetibilidade à Erosão e o Mapa de Uso e Ocupação. 169

Tabela 5.19 – Distribuição percentual das classes de suscetibilidade à erosão em relação à área total de cada tipo de uso e ocupação do terreno. 171

Tabela 5.20 – Distribuição percentual das classes de suscetibilidade à erosão nas Macrounidades. 172

Tabela 5.21 – Dados referentes aos processos erosivos ocorrentes nas macrounidades. 173

Tabela 5.22 – Intervalos de valores e suas respectivas classes de criticidade. 173

Tabela 5.23 – Macrounidades que se destacam em relação à suscetibilidade e à ocorrência de processos erosivos. 175

LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1 – Danos provocados pela erosão. Fonte: SoCo (2009). 36

Quadro 2.2 – Fatores que influenciam na erodibilidade do solo. Adaptado de LAL (1990). (continua) 52

Quadro 3.1 – Classificação das Unidades Geológicas da área de estudo. Fonte: Gomes e Collares (2011). 77

Quadro 3.2 – Nomenclatura das macrounidades e seus cursos d'agua principal (is), segundo Gomes e Collares (2010). 83

Quadro 4.1 – Definições das unidades de relevo. 91

Quadro 4.2 – Critérios utilizados para a caracterização das unidades de relevo. Adaptada de IPT (1981) e Lollo (1996). 92

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO 29

1.1 Justificativa 30

1.2 Objetivos 30

Capítulo 2: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 33

2.1 A Bacia Hidrográfica como Unidade para Planejamento Ambiental 33

2.2 Danos Provocados pela Erosão do Solo 35

2.3 Erosão 37

2.3.1 Erosão Hídrica 38

2.3.1.1 Erosão Laminar 40

2.3.1.2 Erosão Linear 41

2.3.1.2.1 Sulcos 41

2.3.1.2.2 Ravinas 41

2.3.1.2.3 Boçorocas 42

2.3.2 Fatores Intervenientes no Processo Erosivo 44

2.3.2.1 Erosividade Climática 44

2.3.2.2 Relevo 47

2.3.2.3 Cobertura Vegetal 49

2.3.2.4 Substrato Rochoso 51

2.3.2.5 Solos 51

2.3.2.5.1 Determinação da Erodibilidade 54

2.3.2.6 Ação Antrópica 57

2.4 Técnicas de Identificação e Mapeamento dos Processos Erosivos 58

2.4.1 Mapeamento Geotécnico 59

2.4.1.1 Cartas de Suscetibilidade à Erosão 60

2.4.2 Inventários 64

2.4.3 Equação Universal de Perdas de Solo 67

2.5 Mapa de Feições do Terreno (Landforms) 68

2.6 Ferramentas Auxiliares no Estudo da Erosão 70
2.6.1 Geoprocessamento 70
2.6.2 Sistema de Informação Geográfica (SIG) 72
Capítulo 3: CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO 75
Capítulo 4: MATERIAIS E MÉTODOS 85
4.1 Materiais Utilizados 85
4.2 Aspectos Metodológicos 87
4.2.1 Base Cartográfica 87
4.2.2 Modelo Digital de Elevação e Carta de Declividade 88
4.2.3 Inventário de Feições Erosivas 89
4.2.4 Mapa de Landforms 90
4.2.5 Mapa de Materiais Inconsolidados 93
4.2.6 Carta de Suscetibilidade à Erosão 95
4.2.6.1 Elaboração das matrizes de comparação pareada (AHP) 96
4.2.6.2 Procedimentos realizados no SIG 97
Capítulo 5: RESULTADOS E DISCUSSÃO 99
5.1 Mapa de Documentação 99
5.2 Modelo Digital de Elevação e Carta de Declividades 99
5.3 Mapa de Landforms 104
5.3.1 Descrição das Unidades de Landforms 111
5.3.1.1 Colinas 111
5.3.1.2 Escarpas 117
5.3.1.3 Morros 121
5.3.1.4 Morros com Encostas Suavizadas 128
5.3.1.5 Morrotes 130
5.3.1.6 Planícies 135
5.3.1.7 Platôs 135
5.3.1.8 Serras 137
5.3.1.9 Vales 139
5.4 Mapa de Materiais Inconsolidados 141

5.5 Carta de Suscetibilidade à Erosão 159
5.5.1 Suscetibilidade à Erosão x Inventário de Feições Erosivas 168
5.5.2 Suscetibilidade à Erosão x Uso e Ocupação 169
5.5.3 Análise por Macrounidades 171
CONSIDERAÇÕES FINAIS 185
REFERÊNCIAS 189
APÊNDICE A – Mapa de Documentação 203
APÊNDICE B – Mapa Hipsométrico 205
APÊNDICE C – Carta de Declividade 207
APÊNDICE D – Mapa de Landforms 209
APÊNDICE E – Resultados dos ensaios laboratoriais 211
APÊNDICE F – Mapa de Materiais Inconsolidados 215
APÊNDICE G – Carta de Suscetibilidade à Erosão 217
APÊNDICE H – Características dos processos erosivos identificados 219

INTRODUÇÃO

Com a efetivação das leis Federal 9.433/97 e Estadual 13.199/99, que prevêem a gestão descentralizada e participativa dos recursos hídricos, iniciou-se a implantação e estruturação dos Comitês de Bacias. Na região do Médio Rio Grande foi criado, em 2003, o Comitê de Bacia Hidrográfica dos Afluentes Mineiros do Médio Rio Grande (descrito pelo Instituto Mineiro de Gestão das Águas como CBH-AMERG – GD7). Este Comitê, assim como outros que foram instituídos em outras regiões hidrográficas, deve deliberar sobre os recursos hídricos e ambientais na sua área de abrangência, bem como estabelecer critérios para a cobrança do uso das águas e definir as diretrizes para a conservação ou recuperação destes recursos. Entretanto, para que o comitê possa assumir estas atribuições, precisa conhecer a bacia hidrográfica que vai gerenciar.

O projeto "Grande Minas" está realizando o zoneamento ambiental das sub-bacias hidrográficas dos afluentes mineiros do Médio Rio Grande, tendo por objetivo dar subsídios para que o Comitê possa deliberar sobre os recursos hídricos e, também, elaborar o Plano Diretor de Recursos Hídricos na bacia. O projeto supracitado foi aprovado, em dezembro de 2008, pelo Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CERH) e pela Secretaria Estadual de Meio Ambiente de Desenvolvimento Sustentável do Estado de Minas Gerais (SEMAD) e tem como proponentes a Fundação de Ensino Superior de Passos (FESP/UEMG) e a ADEBRAS (Agência de Desenvolvimento do Sudoeste Mineiro).

Nesse contexto, o trabalho ora apresentado representa uma parte importante dentro do Zoneamento Ambiental, pois visou analisar a região do Médio Rio Grande, quanto à suscetibilidade à erosão por escoamento superficial das águas, identificando a potencialidade de ocorrência de processos erosivos, utilizando técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto.

Com os resultados foi possível analisar quais são as macrounidades mais suscetíveis à ocorrência de processos erosivos e quais as macrounidades que estão atualmente mais comprometidas.

1.1 JUSTIFICATIVA

A erosão linear (ravinas e boçorocas) acelerada é um problema sério de degradação ambiental e de grandes proporções em todo o Brasil. A sua ocorrência causa grandes perdas econômicas e representa riscos geotécnicos e ambientais. Quando ocorrem em áreas urbanas, essas erosões expõem moradias, obras civis e equipamentos urbanos à situações de risco, provocando grandes danos socioeconômicos e ambientais. Nas áreas rurais causa a perda de solos agricultáveis, o assoreamento de reservatórios e cursos d'água, dentre outros efeitos.

Os mapeamentos geotécnicos específicos são instrumentos técnicos mais indicados para prevenção da ocorrência de erosão acelerada, pois estes caracterizam e analisam fatores naturais e antrópicos que são condicionantes e/ou deflagradores do processo erosivo, indicando assim a suscetibilidade ou potencial do terreno em desenvolver estes processos. As informações destes documentos cartográficos são importantes para orientar o uso e ocupação do solo, podendo ter aplicação em instrumentos legais de disciplinamento do uso do espaço territorial (SANTORO, 2009).

A incorporação, no projeto Grande Minas, de análises do terreno envolvendo aspectos ligados aos processos erosivos ocorrentes ou passíveis de ocorrerem na bacia, bem como o documento conclusivo a ser gerado (carta de suscetibilidade), se insere como peça fundamental para a Bacia Hidrográfica do Médio Rio Grande, uma vez que produzirá informações relevantes que poderão subsidiar o diagnóstico e prognóstico do projeto Grande Minas, bem como o planejamento e a gestão exercida pelo comitê de bacia, pelas administrações municipais e demais entidades gestoras públicas regionais, que poderão contar com um produto cartográfico derivado e interpretativo, sendo assim um instrumento técnico-científico importante para a redução de consequências relacionadas aos processos erosivos.

1.2 OBJETIVOS

O objetivo geral da pesquisa foi analisar a suscetibilidade da região do Médio Rio Grande (MG) quanto aos processos erosivos, através de documentos cartográficos interpretativos, contribuindo para o planejamento da ocupação das áreas urbanas e manejo do solo da área. Para isso, foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

- Realizar o cadastro e caracterização de feições erosivas existentes, observando aspectos do meio físico;
- Produzir documentos cartográficos que representem atributos do meio físico considerados intervenientes no processo erosivo;
- Elaborar a Carta de Suscetibilidade à Erosão.

Capítulo 2: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 A BACIA HIDROGRÁFICA COMO UNIDADE PARA PLANEJAMENTO AMBIENTAL

Um conjunto de canais de drenagem inter-relacionados formam uma bacia hidrográfica, definida como a área drenada por um rio. Esse sistema recebe (*input*) suprimento contínuo de energia através do clima ocorrente e, sistematicamente, a perde (output) através da água e dos sedimentos que a deixam (CHRISTOFOLETTI, 1974).

A bacia hidrográfica de um rio corresponde a área de drenagem que contém o conjunto de cursos d'água que convergem para esse rio, até o exutório, sendo, portanto, limitada em superfície montante, pelos divisores de água, que correspondem aos pontos com maiores cotas altimétricas e que separam bacias adjacentes (JORGE; UEHARA, 1998).

Odum (1988) afirma que a bacia hidrográfica é um sistema aberto e que seu funcionamento e estabilidade ao longo do tempo são determinados pelas taxas de influxo e ciclos de energia, de água e de materiais. O autor ressalta que, para avaliar a degradação das águas ou de algum trecho da vegetação, por exemplo, deve-se avaliar toda a bacia hidrográfica, pois o meio físico, biótico e antrópico são interligados por um sistema de cursos d'água e interagem como um ecossistema, tanto para o estudo como para o gerenciamento.

Lanna (1995) propõe a utilização da unidade territorial "bacia hidrográfica" como uma das alternativas possíveis para o planejamento e gerenciamento ambiental, destacando como vantagem a possibilidade de identificar as relações de causa-efeito, pois a rede de drenagem de uma bacia é capaz de indicar essa relação, e como desvantagem argumenta que nem sempre as unidades geopolíticas respeitam os divisores de água da bacia, havendo necessidade de articular as partes, principalmente quando envolve negociações políticas e sociais.

Mota (1999) também afirma que o melhor método para evitar a degradação de recursos hídricos, é o planejamento territorial de sua bacia hidrográfica com base em princípios ambientais, pois além dessa vantagem as medidas de controle do escoamento das águas superficiais, de proteção da vegetação, de disciplinamento da ocupação do solo e de controle da erosão também refletem na proteção dos recursos hídricos, tanto quantitativa como qualitativamente.

O marco fundamental para uma nova concepção com relação aos recursos hídricos no Brasil ocorreu em 8 de Janeiro de 1997, com a promulgação da Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei 9.433), que tem por base o modelo francês de gestão ambiental. Dentre os fundamentos da Lei pode-se destacar o Inciso V, do Artigo 1º, que determina que a bacia hidrográfica é a unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Em Minas Gerais, a Lei 13.199/99 estabelece a gestão das águas do seu domínio, como princípios básicos estão:

- O direito de acesso de todos aos recursos hídricos, com prioridade para o abastecimento público e a manutenção dos ecossistemas;
- O gerenciamento integrado dos recursos hídricos com vistas ao uso múltiplo;
- Reconhecimento dos recursos hídricos como bem natural de valor ecológico, social e econômico, cuja utilização deve ser orientada pelos princípios do desenvolvimento sustentável;
- Adoção da bacia hidrográfica, vista como sistema integrado que engloba os meios físico, biótico e antrópico, como unidade físico-territorial de planejamento e gerenciamento;
- Gestão descentralizada e participativa.

Cunico (2007) destaca que dentre os vários recortes espaciais possíveis para planejamento, o mais utilizado, no âmbito das ciências naturais, é a bacia hidrográfica, por ser uma unidade de análise adequada para estudos ambientais, enfatizando seu caráter sistêmico, além de possibilitar a representação para uma intervenção sócio-ambiental, pois favorece a integração entre as atividades produtivas e a preservação dos recursos naturais. Para obter estes resultados é necessário que haja desenvolvimento e materialização de ações e gestão territorial adequados e que contribuam efetivamente para a implantação de medidas com o intuito de estabelecer diagnósticos e prognósticos.

2.2 DANOS PROVOCADOS PELA EROSÃO DO SOLO

A erosão acelerada é um grave problema em escala mundial (LAL, 1988), e acompanha a humanidade desde seus primórdios, e em alguns momentos da história, se ela não foi o principal agente dizimador de uma civilização, provavelmente foi um dos mais importantes (SILVA; SCHULZ; CAMARGO, 2003). A intensa erosão, causada pela má utilização do solo, foi um dos fatores que levou à decadência da civilização Maia na América Central (CORDANI; TAIOLI, 2000).

Na Europa, estima-se que 42 milhões de hectares são afetados pela erosão eólica, em relação à erosão hídrica este número é ainda maior, 115 milhões de hectares são afetados por este processo. A região do mediterrâneo encontra-se exposta à erosão nos períodos de forte pluviosidade consecutivos a longos períodos de seca (SOCO, 2009). Na região costeira de Portugal, a erosão do solo tem se intensificado causando sérias ameaças relacionadas com a perda de solo fértil para a produção de alimentos e com a poluição dos ecossistemas aquáticos (PETAN et al., 2010).

No Brasil, os problemas ocasionados pela erosão também são muito sérios, já em 1949, o Brasil perdia aproximadamente 500 milhões de toneladas de solo anualmente, devido a erosão laminar. Esse número corresponde à retirada de uma camada de 15 cm numa área de aproximadamente 280.000 hectares (BERTONI; LOMBARDI NETO, 1985). Atualmente, devido a intensificação do uso do solo, as perdas devidas a erosão, superam expressivamente o valor citado acima (PRUSKI, 2006), a perda de solo no Brasil é de aproximadamente 1 bilhão de toneladas por ano e a perda mundial corresponde a 23 bilhões de toneladas por ano (GOMES, 2007).

Em muitos Estados brasileiros a situação é muito grave. O IPT (1992) relata a ocorrência de processos erosivos no Brasil e destaca as grandes erosões do Noroeste do Paraná e as erosões do interior de Minas Gerais, Rio de Janeiro, São Paulo e Sul do Mato Grosso do Sul, que foram deflagradas, em alguns casos, ainda no Brasil Império. Seus efeitos desencadeados desde então, acarretam até hoje na improdutividade das terras e no assoreamento dos cursos d'água, gerando elevadas perdas de recursos econômicos, direta ou indiretamente de toda sociedade. O autor supracitado ainda menciona o desencadeamento de erosões em regiões ocupadas recentemente nos Estados de Rondônia, Mato Grosso, Pará, e

enfatiza a problemática causada devido aos intensos processos erosivos nas cabeceiras dos rios Xingu e Araguaia.

Os efeitos da erosão são variados e extensivos, diretos e indiretos, e cujos danos dependem em geral da quantidade e natureza dos processos de erosão-transporte-sedimentação (FENDRICH, 1997).

A erosão, associada à ação antrópica, é um grave problema ambiental, que pode causar danos ao meio físico e à própria sociedade. Devido ao seu alto poder destrutivo, causa situações de risco à população, gerando prejuízos econômicos e ambientais. São vários os efeitos da erosão do solo sobre o meio ambiente e as atividades econômicas (SILVEIRA, 2002). Segundo SoCo (2009) a erosão provoca danos tanto no local onde ocorre, quanto à jusante (Quadro 2.1).

Danos Provocados pela Erosão Hídrica	
No local de ocorrência	**A jusante**
- Perda de matéria orgânica; - Degradação da estrutura do solo; - Compactação da superfície do solo; - Redução da infiltração de água; - Redução da alimentação dos lençóis freáticos; - Perda de solo à superfície; - Remoção de nutrientes; - Aumento da fração grossa dos solos; - Produção de regos e sulcos; - Exposição de raízes das plantas; e - Redução da produtividade do solo.	- Poluição das águas; - Eutrofização das águas; - Inundações; - Enterramento de infraestrutura; - Obstrução das redes de drenagem; - Alteração da seção dos cursos de água; e - Assoreamento das vias navegáveis e dos portos.

Quadro 2.1 – Danos provocados pela erosão. Fonte: SoCo (2009).

Os processos erosivos lineares de grande porte, quando ocorrem em áreas urbanas, expõem moradias e infraestruturas à situações de risco, provocando grandes danos socioeconômicos e ambientais (CANIL, 2001).

A erosão degrada o meio físico causando a perda de solos agricultáveis, de equipamentos urbanos, a deterioração de obras civis e o assoreamento de reservatórios e cursos d'água (OLIVEIRA et al., 1987).

A perda de solo reduz a fertilidade e os rendimentos das terras agrícolas. O solo removido contribui também para a contaminação da água devido aos sedimentos suspensos, pesticidas, fertilizantes, etc. Os sedimentos também podem provocar assoreamentos dos reservatórios e cursos d'água com consequente perda da capacidade de armazenamento, causando inundações nos períodos de chuvas intensas (SOCO, 2009).

Um dos mais graves impactos da erosão no meio ambiente, o assoreamento, pode causar os seguintes problemas: perda de volume dos reservatórios; redução da profundidade de canais; perda da eficiência de obras hidráulicas; produção de cheias; deterioração da qualidade da água; alteração e morte da vida aquática e prejuízos ao lazer (OLIVEIRA, 1995).

2.3 EROSÃO

A palavra erosão, do Latim *erodere*, significa corroer, escavar. Foi utilizada pela primeira vez no âmbito das Ciências da Terra por Penck em 1894, para descrever a formação de cavidades pela água e o desgaste de materiais sólidos pela ação de águas fluviais (ZACHAR, 1982). A erosão é um dos principais fenômenos geológicos que ocorre na Terra e se dá de várias formas, se considerarmos seu ambiente de ocorrência (RODRIGUES, 1982).

A erosão do solo é o processo de desagregação e transporte de materiais do solo pelos agentes erosivos, caracterizado por dois eventos sequenciais: no primeiro ocorre a desagregação das partículas de sua estrutura, tornando-se disponíveis para o transporte, no segundo ocorre o transporte das partículas desagregadas (ELLISON, 1947).

A erosão inclui o destacamento e remoção de solo e rocha pela ação da água corrente, vento, ondas, o gelo, e movimentos de massa (SELBY, 1993).

IPT (1986) define erosão como: "processo de desagregação e remoção de partículas do solo ou de fragmentos e partículas de rochas pela ação combinada da gravidade com água, vento, gelo e/ou organismos (plantas e animais)".

Bennett (1939) distingue a erosão em normal (geológica) e acelerada. A erosão normal ou geológica é aquela que ocorre na superfície terrestre, e que reflete uma condição natural de

equilíbrio ou como parte do ciclo geológico, ao passo que a erosão acelerada representa a quebra deste estado de equilíbrio. A erosão acelerada ou antrópica é um processo rápido cuja intensidade é superior à da formação do solo, e não permite a sua recuperação natural (SALOMÃO; IWASA, 1995).

Bennett (1939) ressalta que a erosão do solo deve se referir somente a situações mais graves, em relação à intensidade, do que aquelas que ocorrem em ambientes naturais sem interferência do Homem ou outros fatores.

Lal (1990) apresenta uma classificação dos diferentes tipos de erosão, em função dos diferentes agentes e geradores e que contempla a grande maioria dos processos (Figura 2.1).

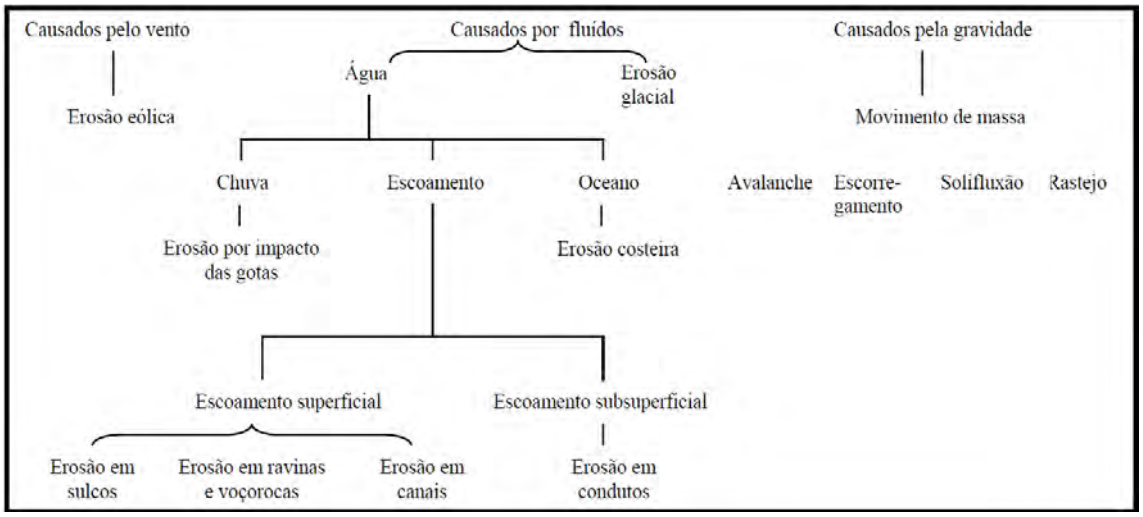


Figura 2.1 – Tipos de erosão. Adaptado de Lal (1990).

2.3.1 Erosão Hídrica

Dentre as formas de erosão conhecidas, a mais importante em regiões de clima tropical, é a erosão hídrica, tanto por sua abrangência, quanto pelos prejuízos que acarreta (SILVEIRA, 2002).

A erosão causada pela água das chuvas atinge quase toda a superfície terrestre, em especial as áreas com clima tropical, onde os totais pluviométricos são bem mais elevados do que em outras regiões do planeta. Em boa parte dessas áreas, as chuvas concentram-se em determinadas estações do ano, agravando ainda mais a erosão (GUERRA, 1999).

De acordo com Ferreira (2008), nas regiões tropicais ou subtropicais úmidas, a erosão é provocada principalmente pela ação das gotas das chuvas (erosão hídrica) combinada com a ocupação, quase sempre iniciada pelo desmatamento seguida pelo cultivo agrícola e de pastagens, construção de estradas e caminhos.

O processo erosivo hídrico é, fundamentalmente, a ação erosiva da chuva sobre o solo (HUDSON, 1981). O início do processo erosivo é marcado por dois importantes eventos iniciais, envolvendo, por um lado, o impacto das gotas de chuva na superfície do solo (*splash*), promovendo a desagregação e liberação das suas partículas e, por outro, o escoamento superficial das águas, permitindo o transporte das partículas liberadas (SALOMÃO; IWASA, 1995). Quando não há energia suficiente para continuar o transporte, ocorre uma terceira fase, que é a deposição do material transportado (GUERRA, 1994).

Quando as gotas de chuva começam a bater no solo, começa o *splash*, que prepara as partículas que compõem o solo, para serem transportadas pelo escoamento superficial, tanto pela ruptura dos agregados, quanto pela própria ação transportadora que o splash provoca nas partículas dos solos. À medida que os agregados se rompem no topo do solo, vai ocorrendo a formação de crostas, com a selagem do solo, depois a 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 microravinas, podendo formar algumas cabeceiras, e algumas dessas cabeceiras podem bifurcar, formando novas ravinas (GUERRA, 1999).

Pruski et al. (2001) ressalta que o principal processo associado à erosão hídrica é o escoamento superficial, pois apesar do *splash* (impacto das gotas de chuva) desempenhar um papel importante na desagregação das partículas do solo, é o escoamento superficial que está diretamente ligado ao transporte das partículas de solo liberadas.

Dependendo da forma como se processa o escoamento superficial, pode-se desenvolver dois tipos de erosão: erosão laminar e a erosão linear (Figura 2.2).

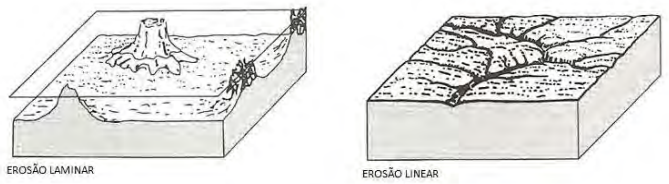


Figura 2.2 – Tipos de erosão, adaptado de Hillel (1998).

2.3.1.1 Erosão Laminar

Na erosão laminar ou em lençol, o escoamento superficial se distribui pelas encostas de forma dispersa, não se concentrando em canais (GUERRA, 1994).

A erosão laminar ocorre de forma difusa, erodindo, teoricamente uma lâmina homogênea de solo. Primeiro ocorre o arraste das partículas mais leves do solo (BERTONI; LOMBARDI NETO, 1985). Esse tipo de erosão remove camadas delgadas de solo sobre toda área e, é uma forma de erosão dificilmente perceptível, sendo evidenciada pela coloração mais clara do solo, pela exposição de raízes e pela queda da produtividade agrícola.

Apesar de ser uma forma menos agressiva de erosão, é responsável por grandes prejuízos às terras agrícolas e pelo fornecimento de grandes quantidades de sedimentos que causam o assoreamento de recursos hídricos (PROIN/CAPES; UNESP/IGCE, 1999).

Segundo Hjulstrom (1935 apud GUERRA, 1994) a velocidade do fluxo de água é o fator mais importante nas relações hidráulicas que provoca a erosão laminar. Devido à resistência do próprio solo, a velocidade do fluxo deve ultrapassar um limite antes que a erosão aconteça (Figura 2.3).

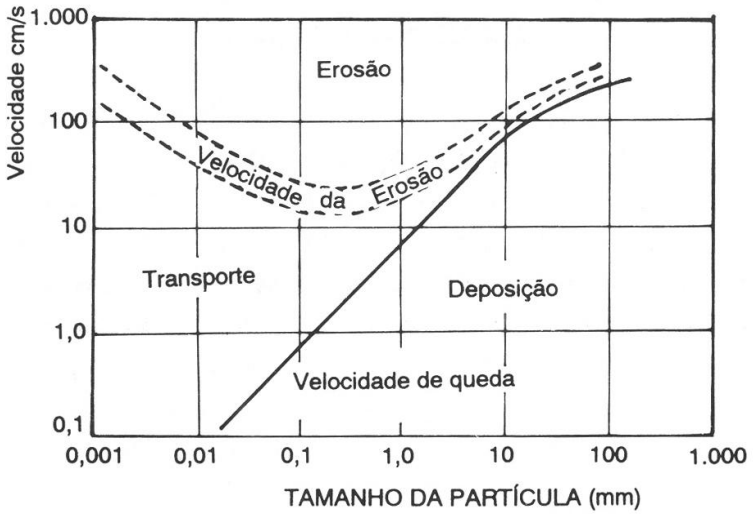


Figura 2.3 – Velocidades críticas da água, necessárias para que ocorra erosão, transporte e sedimentação, como uma função do tamanho das partículas (HJULSTROM, 1935 apud GUERRA, 1994).

2.3.1.2 Erosão Linear

A erosão linear é aquela causada pela concentração das linhas de fluxo das águas do escoamento superficial, resultando na formação de filetes ou canais. Pode se apresentar como sulcos, que podem evoluir por aprofundamento a ravinas, ou atingir maiores profundidades, denominados boçorocas, podendo, neste caso, interceptar o nível d'água (PEJON, 1992; SALOMÃO; IWASA, 1995; PROIN/CAPES; UNESP/IGCE, 1999).

2.3.1.2.1 Sulcos

A erosão em sulcos caracteriza-se pela formação de canais sinuosos, em conseqüência do acúmulo de água que escorre seguindo as linhas de maior declive dos terrenos irregulares. Essas irregularidades na declividade do terreno que faz com que o escoamento, concentrando-se em alguns pontos do terreno, atinja volume e velocidade suficientes para formar riscos mais ou menos profundos (BAHIA et al., 1992).

Os sulcos são pequenas incisões na superfície (na forma de filetes muito rasos), de até 0,5m de profundidade, perpendiculares às curvas de nível (PROIN/CAPES; UNESP/IGCE, 1999).

Segundo Bertoni e Lombardi Neto (1985), na sua fase inicial, os sulcos podem ser desfeitos com as operações normais de preparo do solo, mas em um estágio mais avançado eles atingem tal profundidade que interrompem o trabalho de máquinas agrícolas.

2.3.1.2.2 Ravinas

Quando os sulcos evoluem por aprofundamento, passam a ser chamados de ravinas (FOURNIER, 1960). Estas apresentam profundidade maior que 0,5 metros, diferenciando-se dos sulcos por não serem obliteradas pelas operações normais de preparo do solo. São formadas essencialmente pelo escoamento superficial das águas, que provoca o desprendimento de partículas do solo e movimentos de massa devido ao abatimento dos taludes. Apresentam forma retilínea, alongada e estreita; raramente se ramificam, não atingem o lençol freático, possuem perfil transversal em "V" e geralmente ocorrem entre eixos de drenagens, muitas vezes associadas a estradas, trilhas de gado e carreadores (CANIL et al., 1995).

As ravinas geralmente são iniciadas a uma distância crítica do topo da encosta, onde o escoamento superficial das águas se torna canalizado. Podem ser formadas próximas à base das encostas, onde uma pequena incisão recua em direção ao topo da encosta (GUERRA, 1994).

2.3.1.2.3 Boçorocas

Pichler (1953) relata que a formação das boçorocas pode ser atribuída à ação conjunta das águas do escoamento superficial e aos fluxos subsuperficiais, através do lençol freático com o surgimento de tubos (*piping*).

Para Rodrigues (1982), as boçorocas são ravinas profundas que se desenvolvem, tanto em sedimentos quanto em solos, nos taludes naturais e artificiais e geralmente se instalam em terrenos de baixa declividade. São formadas pelo escoamento superficial das águas, ou também pela associação deste com a erosão subterrânea.

De acordo com Ponçano e Prandini (1987), as boçorocas são formas de ravinamento geradas pela articulação entre a erosão originada pela concentração do escoamento superficial, e subsuperficial, com erosão interna (*piping*). Evoluem por deslizamento lateral das paredes (auxiliado por subpressões em trincas de descompressão) e erosão remontante (quando o lençol freático é interceptado pela superfície do terreno), ou ainda com abatimentos do terreno.

As boçorocas são feições erosivas relativamente permanentes nas encostas. Possuem paredes laterais íngremes e, em geral, fundo chato, podendo ocorrer fluxo de água no seu interior durante os eventos chuvosos. Podem se aprofundar até atingir o lençol freático (GUERRA, 1994).

As boçorocas são uma forma de erosão ocasionada por grandes concentrações de enxurrada que passam, ano após ano, no mesmo sulco, que vai evoluindo e ampliando, pelo deslocamento de grandes massas de solo (BERTONI; LOMBARDI NETO, 1985).

As boçorocas são formas mais complexas e destrutivas do quadro evolutivo da erosão linear. Ocorre o aprofundamento da erosão até atingir o nível freático que aflora no fundo do canal. Há, então, ação combinada das águas do escoamento superficial e subsuperficial, o que condiciona uma evolução da erosão lateral e longitudinalmente, podem ocorrer processos

como o *pipping* (erosão interna), liquefação de areias, escorregamentos, corridas de areia, etc. Geralmente são ramificadas, de grande profundidade, apresentando paredes irregulares e perfil transversal em "U" (PROIN/CAPES; UNESP/IGCE, 1999).

Fendrich (1997) classifica os vários tipos de boçorocas existentes de acordo com seus aspectos, tais como: formato da seção transversal, tamanho, profundidade, formato em planta, etc. Em relação à seção transversal, classifica-se com formato em V ou em U. Quanto à profundidade propõe uma classificação para as boçorocas encontradas no Estado do Paraná (Tabela 2.1).

Tabela 2.1 – Classificação de boçorocas quanto à profundidade (FENDRICH, 1997).

Tamanho	Profundidade (m)	Área Drenante (ha)
Pequena	< 1	2
Média	1 a 5	2 a 20
Grande	> 5	> 20

Fenômenos de Erosão Interna

Coelho Neto (1994) distingue dois mecanismos de erosão hídrica subsuperficial atuantes em boçorocas: o *piping* e a erosão por vazamento (*seepage erosion*) ou carreamento (RODRIGUES; VILAR, 1984).

Piping

O termo *piping* é utilizado para designar erosão interna ou tubular, pois este processo provoca a remoção de partículas no interior do solo, formando canais que evoluem em sentido contrário ao do fluxo da água (CARSON; KIRKBY, 1975).

Para Hargerty (1991), o *piping* é definido como a ocorrência de migração total das partículas do solo juntamente com a água para uma superfície externa.

O *piping* ou *tunnel erosion* ocorre devido ao fluxo hídrico em macroporos (fissuras, cavidades biológicas, juntas de origem tectônica, etc.), que gera forças cisalhantes nas suas margens. Estas forças cisalhantes podem provocar o destacamento e o transporte das

partículas, fazendo com que o macroporo se alargue até o ponto em que ocorre colapso do material do teto (COELHO NETTO, 1994). O mecanismo de piping tem sido frequentemente descrito em estudos sobre boçorocas (MORAIS; BACELLAR; SOBREIRA, 2004).

Seepage Erosion

Este mecanismo está relacionado com o retorno das águas subsuperficias à superfície, ou seja, a exfiltração dos fluxos d'água subsuperficiais. Quando o fluxo exfiltrante atinge uma descarga crítica ele é capaz de deslocar as partículas menores do solo por entre as maiores, provocando um desmantelamento da estrutura do solo, formando vazios no seu arcabouço que podem ocasionar em colapsos e rupturas (RODRIGUES; VILAR, 1984; COELHO NETTO, 1994).

2.3.2 Fatores Intervenientes no Processo Erosivo

Os processos erosivos dependem de um conjunto de fatores naturais, tais como: clima, geomorfologia, geologia, materiais inconsolidados e cobertura vegetal. Estes fatores podem ser modificados pelo homem, gerando uma mudança nos processos erosivos de uma determinada região, geralmente intensificando-os (PEJON, 1992).

A ocupação humana, quando efetuada de modo inadequado, constitui o fator decisivo da origem e aceleração de processos erosivos. Deflagrados pela ocupação do solo, os processos erosivos passam a ser comandados por diversos fatores naturais relacionados às características da chuva, do relevo, do solo, e da cobertura vegetal (SALOMÃO; IWASA, 1995).

2.3.2.1 Erosividade Climática

A erosividade refere-se a agressividade do clima. Sendo que os fatores que afetam a erosividade são a precipitação, ventos, balanço hídrico e a temperatura (LAL, 1990). A avaliação destes fatores aponta claramente que a chuva é o fator mais importante na erosividade climática, no contexto da erosão hídrica (LAL, 1990; SELBY, 1993; MAURO, 2001; SANTORO, 2009).

A água da chuva erode o solo tanto pelo impacto direto das gotas de água, caindo com velocidade e energia variáveis, quanto pela concentração do fluxo das águas de escoamento superficial. A sua ação erosiva depende da distribuição pluviométrica do evento chuvoso (chuva acumulada e intensidade da chuva) (INFANTI JR.; FORNASARI FILHO, 1998).

Hudson (1981) cita três características das chuvas que influenciam na sua capacidade erosiva:

1. Intensidade, geralmente é expressa em milímetros por hora (mm/h). Normalmente é altamente variável durante um evento chuvoso. O tempo padrão da intensidade da chuva também varia de evento chuvoso para evento chuvoso, de lugar e de época para época.
2. Duração da chuva, ou seja, o período de tempo a partir do início de um evento chuvoso até o seu fim.
3. Energia, sendo a soma da energia cinética de todas as gotas de chuva que caem em uma unidade de área. Assim sendo, é uma função da distribuição do tamanho das gotas de chuva e as suas respectivas velocidades finais.

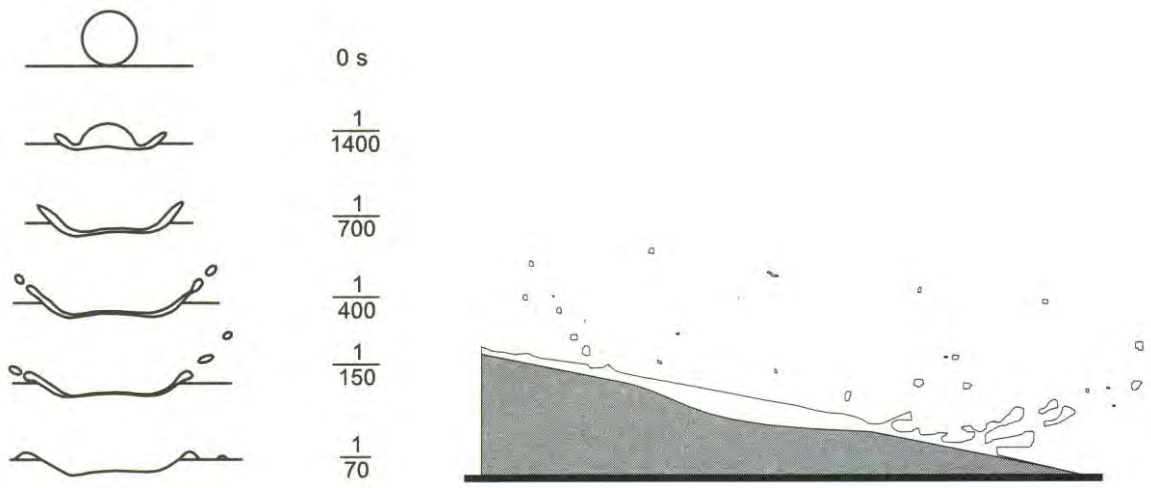
Para Lal (1988) a erosividade da chuva se deve em parte ao impacto direto da gota de chuva no solo e parte ao escoamento superficial gerado por ela. A capacidade da chuva causar erosão é atribuída à sua intensidade e ao tamanho de suas gotas, e ambos fatores afetam a energia da chuva.

A gota d'água, na queda, aumenta sua velocidade progressivamente até atingir um valor constante ou final. Rodrigues (1982) cita vários autores que estabeleceram, por meio de dispositivos distintos, qual a altura necessária para que as gotas, com diferentes diâmetros, atinjam 95% de sua velocidade final (Tabela 2.2). As gotas com diâmetros menores adquirem mais rapidamente sua velocidade final. Quando a altura de queda for maior que oito metros, a velocidade final será alcançada independentemente do diâmetro da gota (RODRIGUES, 1982).

A colisão abrupta das gotas de chuva no solo tem o impacto e o efeito de uma bomba em miniatura, pois, estas destacam e projetam as partículas do solo e criam crateras na superfície do solo, como mostra a Figura 2.4 (HILLEL, 1998).

Tabela 2.2 – Relação entre diâmetro, velocidade, final e altura de queda de gotas d'àgua (RODRIGUES, 1982).

Diâmetro da gota (mm)	Velocidade final (m/s)	Altura de queda para atingir 95% da velocidade final (m)
0,25	1,0	-
0,50	2,0	-
1,00	4,0	2,2
2,00	6,5	5,0
3,00	8,1	7,2
4,00	8,8	7,8
5,00	9,1	7,6
6,00	9,3	7,2



(a) (b)

Figura 2.4 –Impacto de uma gota de chuva na superfície de um solo erodível (a); Splash em superfície inclinada (b). Fonte: Hillel (1998).

A capacidade da chuva provocar erosão pode ser expressa pelo índice conhecido como erosividade, sendo um importante parâmetro para quantificação de perdas de solo (BERTONI; LOMBARDI NETO, 1985). Se os outros fatores que provocam a perda de solos por erosão são constantes, a erosividade é proporcional ao produto da energia cinética total das gotas de chuva e sua intensidade máxima em trinta minutos (WISCHMEIER; SMITH, 1978).

2.3.2.2 Relevo

O relevo influencia na intensidade erosiva, principalmente pela declividade e comprimento da rampa, que interferem diretamente na velocidade do escoamento superficial das águas pluviais. Os terrenos com maiores declividades e maiores comprimentos de rampa apresentam maiores velocidades de escoamento superficial e, consequentemente, maior capacidade erosiva (INFANTI JR; FORNASARI FILHO, 1998).

Para Pejon (1992), embora o processo erosivo dependa de um conjunto de fatores combinados, a declividade é um dos mais importantes no processo de escoamento superficial, e fundamental para avaliar a suscetibilidade dos terrenos à erosão. No entanto, a declividade elevada não é condição obrigatória para que ocorram processos erosivos, mas contribui como atributo de grande peso no escoamento superficial para evolução de tal fenômeno (FERES, 2002), bem como as encostas com baixa declividade e comprimento de rampa grande também podem ter alta intensidade erosiva, desde que sujeitas à grande vazões do escoamento das águas superficiais (INFANTI JR; FORNASARI FILHO, 1998).

Para Rodrigues (1982) o condicionamento do processo erosivo é atribuído a três principais componentes do relevo: o grau de declividade, a forma das encostas e a extensão das encostas.

O autor supracitado sugere que para uma análise mais realista da declividade de uma encosta, é necessário considerar pelo menos três valores de declividade num perfil, sendo um na parte baixa, outro no trecho médio e outro no topo da encosta. Assim pode-se encontrar perfis longitudinais convexos (Figura 2.5.a), onde os trechos baixos apresentam declividade acentuada e essa é uma das regiões na qual o escoamento inicia o processo erosivo. Os trechos médios apresentam declividade mais baixa e os topos das colinas podem ter declividades quase nulas. Nas encostas de perfil longitudinal côncavo ocorre o inverso (Figura 2.5.b).

Em relação à forma das encostas, Rodrigues (1982) utilizou a classificação de Troeh (1965), que associa a curvatura do perfil longitudinal e as curvas de nível (Figura 2.6).

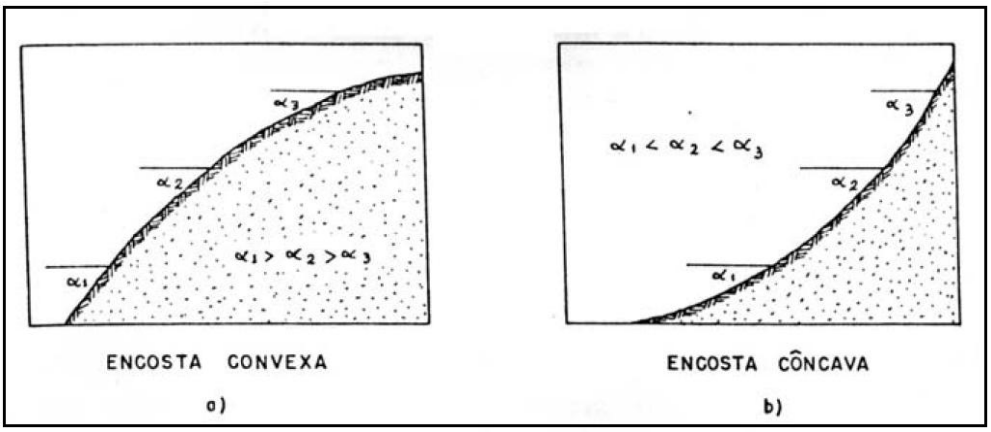


Figura 2.5 – Declividades em encostas convexas e concâvas. Fonte: Rodrigues (1982).

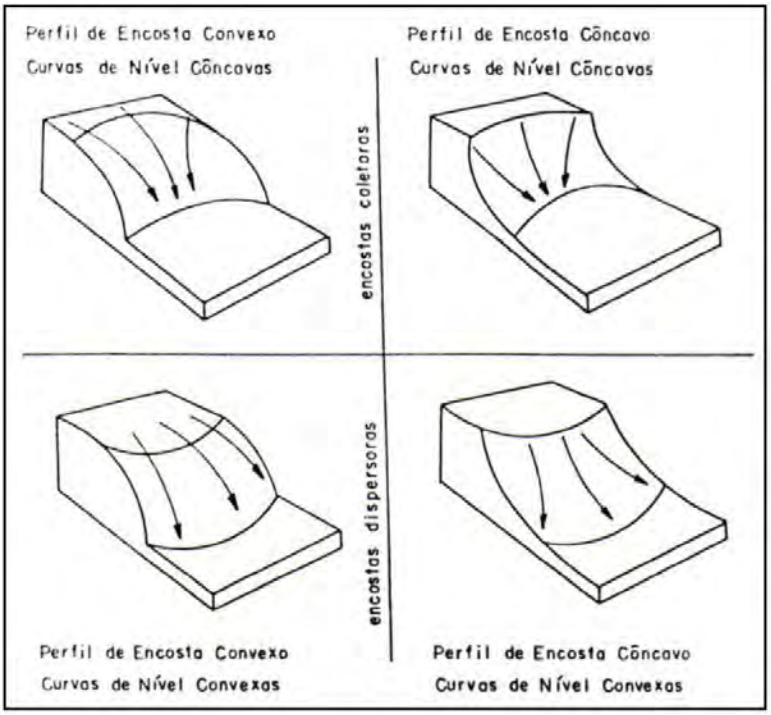


Figura 2.6 – Classificação das formas de encostas. Fonte: Troeh (1965) modificado por Rodrigues (1982).

Rodrigues (1982) afirma que as boçorocas ocorrem principalmente em encostas convexas coletoras e secundariamente nas convexas dispersoras, portanto as côncavas (dispersoras e coletoras) são menos propensas à erosão acelerada.

XuJiongxin (1996) ao pesquisar os fatores do meio físico que influenciam a ocorrência dos processos erosivos em áreas tropicais e subtropicais, propõe a adoção da classificação de Ruhe (1975) para avaliação da forma de encostas com o tipo de feição erosiva, que é baseada

na análise tridimensional da encosta, considerando-se os aspectos longitudinais e laterais, o comprimento e largura. Assim as encostas são classificadas nos tipos linear (L), convexa (V) e côncava (C). Da combinação dos três tipos são obtidos nove tipos de formas geométricas de encostas agrupadas em três grupos, I, II e III (Figura 2.7).O grupo I é composto por formas simples do tipo co-linear (LL). O grupo II engloba as formas lineares em uma dimensão e curvas na outra dimensão, e são do tipo convexo-linear (VL), côncavo-linear (CL), linear-convexo (LV), e linear-côncavo (LC). O grupo III é composto por formas mais complexas, que apresentam dupla curvatura, e são os tipos: convexo-convexo (VV), convexo-côncavo (VC), côncavo-convexo (CV) e côncavo-côncavo (CC).

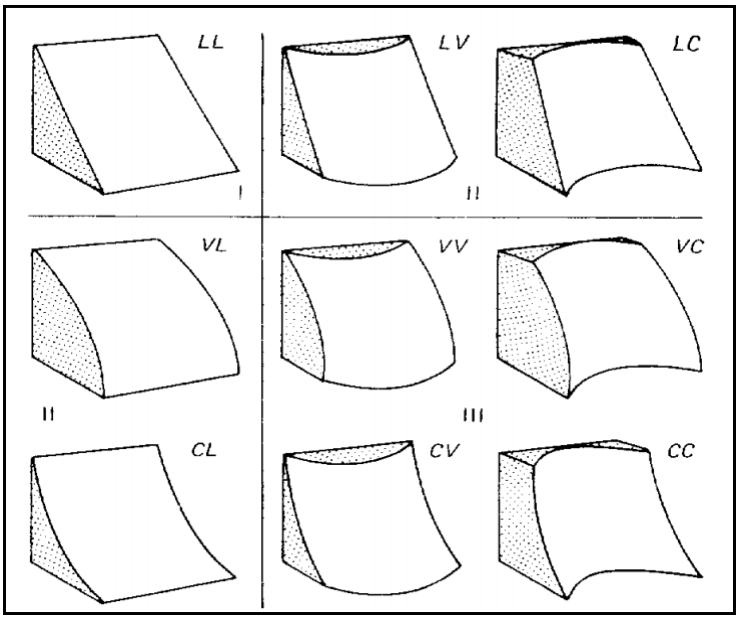


Figura 2.7 – Formas geométricas das encostas (RUHE, 1975 apud XuJiongxin, 1996).

2.3.2.3 Cobertura Vegetal

A cobertura vegetal é o fator mais importante de defesa natural do solo contra a erosão. Entre os principais efeitos da vegetação, Bertoni e Lombardi Neto (1985) citam os seguintes:

- proteção direta contra o impacto das gotas de chuva;
- dispersão da água, interceptando-a e evaporando-a antes que atinja o solo;

- decomposição das raízes das plantas que, formando poros e canais no solo, aumentam a infiltração da água;
- melhoramento da estrutura do solo pela adição de matéria orgânica, aumentando assim sua capacidade de retenção de água; e
- diminuição da velocidade das águas do escoamento superficial pelo aumento do atrito na superfície.

Na Figura 2.8 é possível observar a influência da cobertura vegetal na distribuição da água de chuva pelos fenômenos de interceptação, escoamento pelos troncos e retenção na serrapilheira. A parcela que atinge o solo é a que se infiltra. A água retida acima do solo, na vegetação e na serrapilheira sofre evaporação, ao passo que uma parte da parcela infiltrada será extraída pelas raízes, através do fenômeno da respiração, e a outra parte poderá atingir o lençol freático (JORGE; UEHARA, 1998).

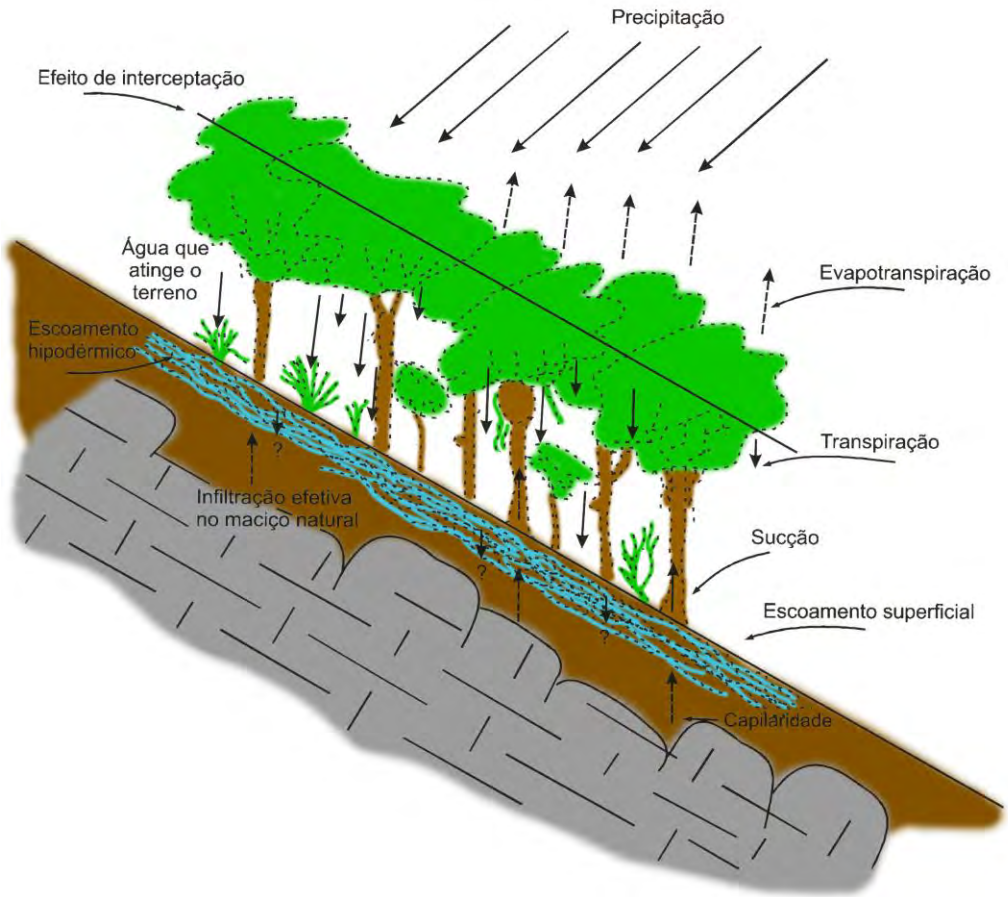


Figura 2.8 – O papel da cobertura vegetal. Modificado de Prandini et al. (1976 apud JORGE; UEHARA, 1998).

Uma das consequências do desmatamento é a mudança do regime de escoamento superficial e subsuperficial, que implica no aumento da velocidade do escoamento superficial e, ao menos nos primeiros anos após os desmatamentos, num aumento de infiltrações, que aumentam os gradientes hidráulicos contribuindo para o desencadeamento dos fenômenos de erosão interna (INFANTI JR.; FORNASARI FILHO, 1998).

2.3.2.4 Substrato Rochoso

Toda rocha é um agregado de minerais, e sua resistência ao intemperismo depende da resistência ao intemperismo dos minerais que a compõem (o que depende da natureza das ligações entre os átomos dos diferentes elementos químicos que os constituem), bem como da resistência à desagregação entre os minerais. Portanto o grau de coesão das rochas influencia na suscetibilidade à erosão (CREPANI et al., 2001).

Para Infanti Jr. e Fornasari Filho (1998) "as características litológicas do substrato rochoso, associadas à intensidade do intemperismo e à natureza da alteração e grau de fraturamento, condicionam a suscetibilidade do material à erosão".

De acordo com a variabilidade dos agentes que participam na formação das rochas, verifica-se que pode haver diferenças na resistência em relação ao processo erosivo dentro de um mesmo grupo de rochas, mas em diferentes locais e em diferentes situações (SILVA; SCHULZ; CAMARGO, 2003).

2.3.2.5 Solos

Diferentes solos respondem de maneira diferentemente para idênticas taxas de energia cinética das gotas de chuva ou para tensão cisalhante exercida por um fluido em movimento. Suas respostas dependem de sua constituição mecânica e composição química. Por causa de suas propriedades inerentes, os solos apresentam diferentes graus de suscetibilidade para as forças geradas pelos agentes erosivos (LAL, 1990).

A suscetibilidade do solo à erosão é chamada de erodibilidade. A erodibilidade representa o efeito integrado dos processos que regulam a infiltração de água e a resistência do solo a desagregação e transporte. A erodibilidade é uma propriedade intrínseca do solo,

sendo influenciada pelas características do solo, tais como: textura, estrutura, permeabilidade, teor de matéria orgânica, argilominerais, teor de óxidos de ferro e alumínio, dentre outros (Lal, 1990), conforme o Quadro 2.2.

Entre as principais propriedades do solo, que conferem maior ou menor resistência à ação erosiva das águas, ou seja, a erodibilidade, a textura (tamanho das partículas) influi na capacidade de infiltração e absorção d'água da chuva, interferindo no potencial de enxurradas no solo, e também na maior ou menor coesão entre as partículas (INFANTI JR.; FORNASARI FILHO, 1998).

A profundidade do solo influencia fortemente na evolução da infiltração da água. Nos solos pouco profundos, de acordo com sua permeabilidade, a água encontra uma barreira intransponível na rocha matriz, a qual sendo impermeável fará com que a água se acumule no perfil, saturando-o rapidamente, permitindo o rápido escoamento superficial tendo, como conseqüência, o incremento da ação erosiva da chuva, ao passo que, os solos profundos, com textura mais ou menos homogênea em todo o seu perfil e com alta permeabilidade, não são facilmente saturados, mesmo em face das precipitações intensas, sendo assim são menos sujeitos à erosão (SANTORO, 2009).

FATORES QUE INFLUENCIAM NA ERODIBILIDADE DO SOLO		
PROPRIEDADES	**FATORES**	**CARACTERÍSTICAS**
Mecânicas	Textura	- Influi no destacamento e carreamento de partículas do solo; - Determina a facilidade com que o solo é dispersado; - Determina a força limite necessária para o destacamento.
	Estrutura	- Formação de agregados que resistem à dispersão, aos efeitos abrasivos da água de escoamento e ao destacamento; - Grau de agregação e distribuição de agregados estáveis; - Tamanho dos agregados.
	Tamanho dos torrões e cultivo do solo	- Superfície rugosa e cheia de torrões possuem elevada capacidade de detenção; - Resistência a desagregação pela chuva e erosão pelo vento.
	Formação de crosta	- Responsável pela alta taxa de escoamento superficial; - Desenvolve-se em solos com baixa porcentagem de matéria orgânica.

Quadro 2.2 – Fatores que influenciam na erodibilidade do solo. Adaptado de LAL (1990). (continua)

FATORES QUE INFLUENCIAM NA ERODIBILIDADE DO SOLO		
PROPRIEDADES	**FATORES**	**CARACTERÍSTICAS**
Resistência	Resistência ao cisalhamento	- Importante no destacamento de partículas de solo (impacto e escoamento superficial); - Rolamento e deslizamento de grãos.
Hidrológicas	Retenção de água	- O estado de energia da água do solo ou a pressão neutra influencia a resistência ao cisalhamento do solo; - Resistência do solo ao arrastamento pela água é influenciada pela umidade inicial; - Solos secos são mais suscetíveis à erosão pelo vento e pela água do que solos úmidos; - A umidade fornece coesão entre as partículas.
	Transmissão de água no solo - infiltração	- Taxa de infiltração determina o maior ou menor volume de escoamento superficial.
	Permeabilidade	- Solos com permeabilidade extremamente baixa a moderada geram mais escoamento superficial.
Reológicas	Sistema solo-água	- A umidade do solo influi na suscetibilidade à erosão por afetar a coesão, a resistência ao cisalhamento, consistência e plasticidade.
Químicas e Mineralógicas	Matéria orgânica	- Influencia a distribuição granulométrica, propriedades de retenção e transmissão de água; - Fortalece as ligações que estabilizam as unidades estruturais e mantém um balanço favorável entre retenção e transmissão nos poros; - Diminui o efeito compactação; - Concentração de matéria orgânica nos microagregados aumenta a sua resistência à desagregação e à dispersão; - Elevadas concentração de M.O. em alguns solos são responsáveis pelas características hidrofóbicas.
	Argilominerais	- A estrutura do solo e a sua resistência são influenciadas pela quantidade e natureza dos argilominerais; - A fração fina do solo interage com a M.O. para formar agregados estáveis que resistem ao impacto das gotas de chuva.
Características do perfil	Diretos e indiretos	- Influencia a erosão direta e indiretamente; - Influência sobre o escoamento subsuperficial de água em decorrência de mudanças nas propriedades hidrológicas de diferentes horizontes; - Influência sobre o crescimento vegetal.

Quadro 2.2 – Fatores que influenciam na erodibilidade do solo. Adaptado de LAL (1990). (conclusão)

2.3.2.5.1 Determinação da Erodibilidade

A determinação da erodibilidade dos materiais inconsolidados é muito importante nas obras de engenharia (rodovias e estradas vicinais, canais de navegação, barragens, taludes de corte, aterros, etc.), nos planejamentos territoriais e ambientais e principalmente na ocupação de terrenos no meio rural para atividades agropecuárias. Para determinar a erodibilidade dos solos podem ser utilizados métodos diretos e indiretos. Os métodos diretos são aqueles em campo e através de experimentos em condições de chuvas naturais ou simuladas, já os métodos indiretos têm como base as propriedades físicas e químicas do solo, determinados através de ensaios laboratoriais (MIRANDA, 2005).

Ensaio de Erodibilidade de Nogami e Villibor (1979) modificado por Pejon (1992)

Pejon (1992) argumenta que este ensaio apresenta uma série de vantagens, pois utiliza amostras indeformadas; considera o efeito de secagem; possibilita inferir as propriedades de desagregabilidade e infiltração; é de fácil e rápida execução; e não necessita de equipamentos sofisticados.

A metodologia se baseia na execução de dois ensaios simples, o de absorção de água e o de perda de peso por imersão, ambos utilizam amostras indeformadas, obtidas através da cravação de anéis com 40 mm de diâmetro por 20 mm de altura. Antes da execução do ensaio as amostras são mantidas nos anéis para secagem ao ar e na sombra por no mínimo sete dias.

O índice de erodibilidade é calculado através da seguinte expressão: $E = 40.S/P$, onde S é o índice de absorção, obtido através do ensaio de absorção de água e, P é a perda de peso em porcentagem do peso inicial seco da amostra, obtido através do ensaio de perda de peso por imersão. Se o valor de E é menor que 1, considera-se que o material tem alta erodibilidade, quando E tem valor maior que 1, considera-se que o material é pouco erodível.

Ensaio de Absorção de Água

Tal ensaio consiste na colocação da amostra num recipiente cilíndrico, com as mesmas dimensões do anel de amostragem, conectado a um tubo de vidro horizontal graduado. O conjunto é preenchido com água e na porção superior do recipiente adapta-se uma pedra

porosa que é mantida saturada. A amostra, ainda no anel, é pesada e em seguida colocada sobre o conjunto de ensaio. Neste momento inicia-se a contagem do tempo, fazendo-se leituras do volume de água absorvida por intervalo de tempo, até que a água atinja o topo da amostra (PEJON, 1992). A Figura 2.9 apresenta o esquema do ensaio.

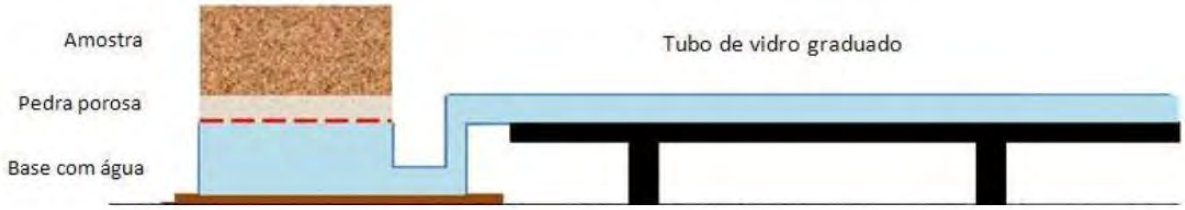


Figura 2.9 – Esquema do ensaio de absorção de água. Fonte: Menezes (2010).

Para determinação do índice de absorção (s) elabora-se 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 ($\sqrt{t}$). O índice S corresponde ao coeficiente angular da reta formada por estes pontos, ou seja, S = q/$\sqrt{t}$.

Ensaio de Perda de Peso por Imersão

Após a realização do ensaio de absorção de água, deve-se colocar uma pedra porosa presa à base do cilindro contendo a amostra e, coloca-se o conjunto num recipiente com água, de modo que o topo da amostra fique na posição horizontal e a 2 mm do nível da água. O conjunto deve ser mantido nesta posição até que não existam mais modificações de umidade perceptíveis na superfície livre da amostra. Em seguida, este conjunto é suspenso e girado até que a superfície livre da amostra fique na vertical, imerge-se novamente em um recipiente com água (na nova posição).

A parte inferior da superfície livre da amostra deve ficar a, aproximadamente, 30 mm do fundo do recipiente com água e dentro de um recipiente que permita a coleta do material desprendido desta superfície livre. Decorridas 24 horas determina-se a perda de peso em porcentagem do peso inicial seco da amostra (P).

Ensaio Inderbitzen (1961)

O ensaio proposto por Inderbitzen (1961) visa determinar em tempos a quantidade de solo erodido em uma amostra com 152 mm de diâmetro, através da exposição desta a uma determinada vazão de água, colocada em uma superfície com inclinação conhecida (Figura 2.10). Portanto a quantidade de material erodido depende do tipo de solo, das condições do ensaio (fluxo e inclinação) e das condições da amostra (umidade, grau de saturação e orientação em relação ao fluxo de água).

Fácio (1991) propôs um ensaio algumas modificações no aparelho com intuito de aperfeiçoar a mensuração da erodibilidade, sendo assim estabeleceu uma metodologia padrão a partir de uma série de ensaios variando os valores de vazão, inclinação da rampa e tempo de duração do ensaio. O autor afirma que a versatilidade do novo equipamento possibilita a estudo da erosão em diferentes condições metodológicas.

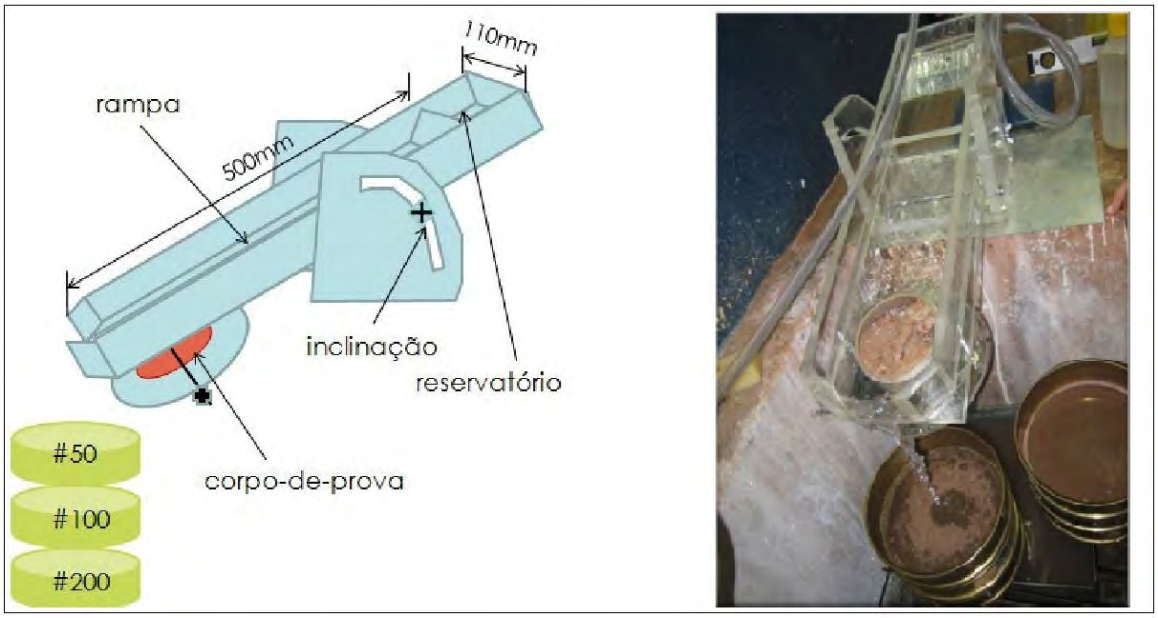


Figura 2.10 – Esquema do aparelho Inderbitzen. Fonte: Ide (2009).

Ensaio do Furo de Agulho (Pinhole Test)

Este ensaio foi inicialmente desenvolvido por Sherard et al. (1976) para identificar argilas dispersivas. Consiste, basicamente, em criar um fluxo de água destilada através de um furo de 1,0 mm de diâmetro feito no centro de um corpo de prova cilíndrico com 25,4 mm

de comprimento, visando simular o *piping*. A carga hidráulica e, consequentemente o gradiente hidráulico, são variados ao longo do ensaio. Para classificação dos solos, obseva-se a coloração da água que atravessou o corpo de prova, a vazão de percolação e o diâmetro do furo ao final do ensaio. No Brasil este ensaio é normatizado pela ABNT através da NBR 14114/98. A Figura 2.11 apresenta o esquema geral do equipamento para ensaio.

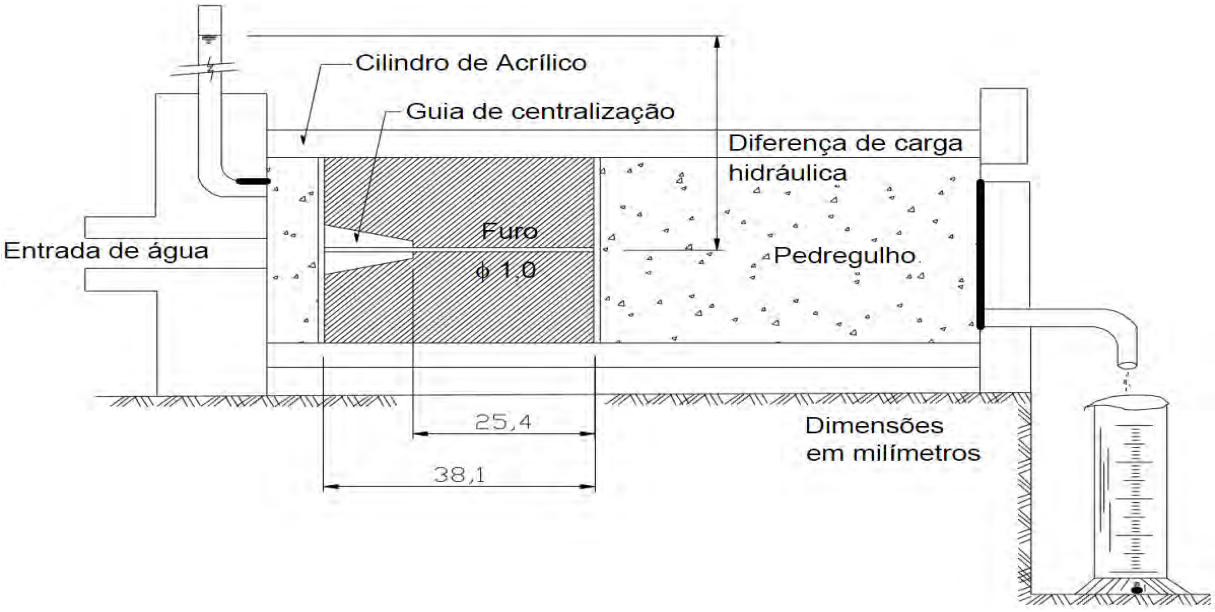


Figura 2.11 – Esquema geral do equipamento para ensaio Pinhole. Fonte: Matheus (2006) modificado de ABNT (1998).

2.3.2.6 Ação Antrópica

Dentre as causas do processo erosivo, a ação antrópica tem um papel majoritário, devido ao uso inadequado dos recursos naturais (LAL, 1990), se constituindo assim no principal fator desencadeador do processo erosivo acelerado, seja ele rural ou urbano, pois as alterações provocadas pelas ações de uso e ocupação do solo geralmente se refletem em desequilíbrios nos processos naturais que ocasionam o início do processo ou potencializam processos pré-existentes (MAURO, 2006).

Weill e Pires Neto (2007) também afirmam que a ação do Homem, interferindo nos fatores naturais por meio dos diferentes usos que ele faz do ambiente, geralmente promove a intensificação do processo natural de erosão, provocando a degradação das terras e o comprometimento da qualidade ambiental.

Thomaziello (2007) exemplifica que um processo erosivo, pode ter sido causado por uma ação antrópica, como a supressão da cobertura vegetal e a consequente exposição do solo ou um corte de terreno para abertura de estrada, porém a sua intensidade e a magnitude têm relação com as condições naturais do meio, tais como: declividade, vulnerabilidade do terreno, tipo de solo e relação entre o volume de água precipitada, infiltrada e escoada.

Para Weill e Pires Neto (2007), os principais fatores que atuam na aceleração do processo erosivo em áreas agrícolas são, entre outros, a retirada da vegetação natural para uso agropecuário, o manejo inadequado de solos produtivos, o uso intensivo das terras com alta suscetibilidade à erosão e, sobretudo, a falta de planejamento do uso e ocupação do solo.

De acordo com IPT (1989), Bitar et al. (1990) e Santoro (2000), as principais causas do surgimento e evolução da erosão urbana são, entre outros, o traçado inadequado dos sistemas viário, a precariedade do sistema de drenagem de águas pluviais e residuais, a expansão urbana rápida e descontrolada e falta de infraestrutura urbana.

Santoro (2009) elenca as formas de intervenção humana que propiciam a erosão acelerada e que são denominadas de condicionantes antrópicos, a saber:

- desmatamento;
- movimento de terra;
- concentração do escoamento superficial das águas;
- uso inadequado dos solos agrícolas e urbanos.

2.4 TÉCNICAS DE IDENTIFICAÇÃO E MAPEAMENTO DOS PROCESSOS EROSIVOS

A distribuição superficial dos fenômenos erosivos pode ser expressa de forma muito clara em mapas, utilizando-se de métodos cartográficos. Por meio destes, a distribuição de fatores condicionantes da erosão, da erodibilidade do solo, das feições erosivas e, o uso de determinadas medidas de conservação do solo, podem ser facilmente representados (ZACHAR, 1982) .

Os mapas que identificam as áreas com processos erosivos ativos apresentam grande potencial para utilização em estudos ambientais, pois permitem que os esforços para prevenção da ocorrência destes processos concentrem-se nas áreas onde o benefício será mais alto (ALATORRE; BEGUERÍA, 2009).

2.4.1 Mapeamento Geotécnico

Para elaboração de um mapa geotécnico são necessárias operações físicas de adição, seleção, generalização, e transformações de informações relativas à litologia, a estruturas dos solos e rochas, hidrogeologia, geomorfologia e processos geológicos (VARNES, 1974).

O mapa geotécnico é um tipo de mapa geológico que agrupa todos os componentes do ambiente geológico, os quais são extremamente importantes nas atividades de planejamento do uso e ocupação do solo, projeto, construção, manutenção de obras civis, engenharia de minas e preservação do meio ambiente (IAEG, 1976).

Para Matula (1976) "um bom mapa geotécnico é considerado o modelo mais ilustrativo do ambiente geológico servindo às finalidades de engenharia e outras".

De acordo com Thomas (1970 apud ZUQUETTE, 1987) o mapeamento geotécnico é um processo que tem por finalidade básica levantar, avaliar e analisar os atributos que compõem o meio físico (geologia, hidrogeologia, hidrologia). Tais informações são manipuladas através de processos de seleção, generalização, adição e transformação, para que possam ser relacionadas, correlacionadas, interpretadas e no final representadas em mapas, cartas e anexos descritivos, podendo ser utilizadas para diversos fins.

De acordo com Zuquette e Nakazawa (1998) os mapas geotécnicos podem ser elaborados para dois diferentes grupos de objetivos:

- obras civis; e
- planejamento urbano, territorial e ambiental; desenvolvimento e conservação do meio ambiente.

Canil (2001) afirma que as cartas geotécnicas são instrumentos de ações preventivas para o planejamento urbano e que suas orientações podem ser utilizadas no plano diretor, na lei de parcelamento do solo urbano, subsidiando diretrizes de projetos de loteamento em áreas com diferentes suscetibilidades à erosão. No código de obras, a Carta Geotécnica, pode orientar soluções normativas de obras de infraestrutura urbana. No planejamento urbano, pode auxiliar na determinação do zoneamento de uso do solo, na delimitação do perímetro urbano e no direcionamento do vetor preferencial da expansão urbana.

2.4.1.1 Cartas de Suscetibilidade à Erosão

"A suscetibilidade de uma área a determinado fenômeno geológico caracteriza a possibilidade de sua ocorrência" (CERRI; AMARAL, 1998).

Iwasa e Frendrich (1998) asseguram que a elaboração de cartas de suscetibilidade à erosão auxilia no diagnóstico da erosão de uma determinada região e, é importante para os órgãos gestores estabelecerem planos de prevenção e controle da erosão, tanto no âmbito de uma região administrativa quanto em bacias hidrográficas.

Para a elaboração das cartas de suscetibilidade à erosão, em escala de nível regional (1:50.000 a 1:250.000), Iwasa e Frendrich (1998) recomendam:

- levantar e compilar os dados básicos sobre a região (plantas topográficas, fotografias aéreas, pedologia, geologia, geomorfologia, etc.);
- identificar as erosões lineares e os depósitos de assoreamento;
- realizar a fotointerpretação e mapeamento de campo para reconhecer e definir quais são os principais condicionantes dos processos erosivos (geologia, geomorfologia e pedologia);
- elaborar o mapa de uso e ocupação do solo;
- compartimentarem áreas homogêneas em relação a predominância de processos erosivos e;
- elaborar o mapa de suscetibilidade a erosão.

Segundo Pejon e Zuquette (1995), a carta de risco potencial à erosão, pode ser produzida por sobreposição de informações e mapas, mas, normalmente, são feitas a interpretação e fusão dos dados existentes, originando novas unidades com limites e atributos redefinidos. Neste caso, os diferentes atributos provenientes de cada mapa básico, em geral têm pesos diferentes, que são função de sua importância na caracterização da nova unidade, relacionada à finalidade da carta. Assim, em uma carta deste tipo não constam da legenda de cada unidade os atributos que lhe deram origem, mas sim a interpretação que corresponderia a indicar as áreas mais ou menos susceptíveis à erosão.

Rodrigues (1998) elaborou a carta de susceptibilidade à erosão da região de Águas de Lindóia – SP, considerando o procedimento da hierarquização e superposição ponderada de atributos definidos a partir dos resultados de um inventário de feições erosivas. Considerou-se como critério de ponderação, a análise do número de eventos por unidade de área (de associação litológica e *landforms*), e a declividade, o que possibilitou uma hierarquização de pesos para os diferentes aspectos do meio físico. Ao confrontar os dados obtidos na carta de susceptibilidade à erosão, a autora verificou uma boa concordância entre a ocorrência das feições em campo e a carta. A autora enfatiza que a elaboração de cartas de susceptibilidade, baseadas em trabalhos de inventário, reflete o estado atual de uso e ocupação da área, ou seja, uma mudança do uso e ocupação do solo, pode modificar as condições de suscetibilidade da área.

Grecchi e Pejon (1998), ao realizarem estudos geoambientais da região de Piracicaba – SP, apresentam como um dos subprodutos da cartografia ambiental, a carta de susceptibilidade à erosão, que considerou informações como: pedologia, geologia, declividade e densidade hidrográfica. Os autores utilizaram o sistema de informações geográficas IDRISI a fim de facilitar o armazenamento e cruzamento dessas informações, e técnicas de processamento digital de imagem na obtenção do uso e ocupação do solo.

Montaño (2002) ao elaborar um estudo de zoneamento ambiental do município de São Carlos – SP, efetuou uma série de avaliações que permitiram estabelecer um panorama acerca das vulnerabilidades apresentadas pelo meio no que se refere à qualidade dos recursos hídricos. Dentre as avaliações realizadas está a elaboração da carta de suscetibilidade à erosão causada pelo escoamento superficial, que levou em consideração somente dois fatores: a declividade do terreno e o tipo de solo existente (considerando apenas os grandes grupos). Também foi feita uma sobreposição do mapa de cobertura vegetal a carta de suscetibilidade à erosão, o que permitiu avaliar a cobertura vegetal de cada classe de suscetibilidade. A conclusão, em relação a este mapa, foi que as informações provenientes da análise deste mapa indicam, de uma forma simplificada, as áreas mais adequadas para a expansão urbana, bem como as áreas nas quais é necessário um controle mais rigoroso quanto ao uso do solo.

Ribeiro (2002), para obter o mapa de vulnerabilidade natural à erosão da área do rio Pardo – SP, utilizou como base científica de conhecimento, a metodologia proposta por Crepani et al. (2001), a qual foi empregada no Zoneamento Ecológico Econômico (ZEE) da Amazônia. Para elaboração do mapa de vulnerabilidade à erosão foi necessário determinar

regiões espectralmente homogêneas, sendo calculados os pesos médios para cada tema (declividade, geologia, uso de solo, pluviosidade).

Silveira (2002) utilizou a metodologia proposta por Zuquette (1987 e 1993) e procurou adotar a sistemática proposta por Pejon (1992) para elaboração de Carta de Suscetibilidade à Erosão das bacias dos rios Araraquara e Cubatão – SP, na escala 1:50.000. Este procedimento utiliza o índice de erodibilidade, associado às informações de textura e espessura dos materiais inconsolidados, tipo e grau de alteração do substrato rochoso e características geomorfológicas (forma da encosta, declividade, etc.). Para a geração da carta de suscetibilidade à erosão foram utilizados os seguintes documentos cartográficos: Mapa de Substrato Rochoso, Mapa de Unidades de Relevo, Mapa de Materiais Inconsolidados e Carta de Declividade. Cada documento cartográfico foi analisado de forma individual, para observar a potencialidade de cada atributo em relação ao processo erosivo.

Marçal e Guerra (2003) realizaram uma análise ambiental da bacia do rio Açailândia, com 1009 km², no estado do Maranhão, considerando o papel das características do relevo, tipos de solos, uso da terra e cobertura vegetal, com o objetivo de estimar os riscos de erosão, usando geoprocessamento. Para identificação das áreas suscetíveis à erosão foi feito o cruzamento dos fatores solo, relevo e uso, visando a produção de um mapa que hierarquizasse as áreas de risco a ocorrência de erosão.

Miranda (2005) realizou o mapeamento geotécnico e estudo da suscetibilidade à erosão de uma bacia hidrográfica no Mato Grosso, utilizando a metodologia da Escola de Engenharia de São Carlos (USP) para obtenção da carta de suscetibilidade à erosão por escoamento concentrado. O autor utilizou as informações contidas nos Mapas de Materiais Inconsolidados, na Carta de Declividade e no Mapa de Uso de Ocupação e Substrato Rochoso. Os programas computacionais utilizados foram o AutoCad®14 e Idrisi®. Cada documento cartográfico foi analisado de forma individual, para observar a potencialidade de cada atributo em relação aos processos erosivos lineares.

Ribeiro (2006) estudou a suscetibilidade à erosão laminar das terras do município de Campos dos Goytacazes – RJ, através de técnicas de geoprocessamento, indicando sua relação com a erodibilidade dos solos e topografia da região. A carta de suscetibilidade à erosão foi extraída do cruzamento da carta de declividades com a de erodibilidade. Como

resultado, as terras revelaram suscetibilidade à erosão laminar entre baixa e baixa a não suscetível.

Fernandes (2007) elaborou uma carta de suscetibilidade à erosão para microbacia do córrego Samambaia, Distrito Federal – DF, utilizando o programa ArcView 9.3 da ESRI. Foram considerados os seguintes temas: pedologia, uso do solo e declividade, estes receberam pesos de acordo com o grau de influência no processo erosivo. Após a atribuição de pesos, os temas foram combinados e somados e por último foi feita a classificação em quatro classes de suscetibilidade: nula, baixa, moderada e alta.

Sena (2008) elaborou cartas de suscetibilidade à erosão para uma mesma área, usando quatro diferentes alternativas. Foi considerada a importância relativa dos atributos do meio físico com diferentes escalas de peso dadas por diferentes técnicas de avaliação, a saber: pesos iguais, pesos diferentes de acordo com a visão de Mauro (2001), pesos diferentes definidos a partir de outros trabalhos da literatura, e pesos diferentes definidos com base em AHP. Os atributos considerados foram retirados dos seguintes documentos cartográficos: mapa de *landforms*, mapa de ocupação do solo, mapa de solos, carta de declividade e mapa de substrato rochoso.

Pinheiro (2009) elaborou uma carta de suscetibilidade à erosão para bacia do córrego Querosene - SP, a partir do diagnóstico das formas erosivas e processos de vertente identificados na área, além da análise estatística dessas ocorrências de acordo com as formas de relevo, materiais e uso da terra. Com isso, foram determinados quais os tipos de erosão são mais comuns em cada uma das regiões da bacia, permitindo assim um novo planejamento da ocupação da área. O autor denominou o produto cartográfico de Mapa de Suscetibilidade Erosiva Potencial, e adotou uma legenda, onde cada classe corresponde a um tipo predominante de erosão na bacia estudada: Erosão por escoamento difuso; Erosão em forma de sulcos e por escoamento difuso; ravinas e boçorocas; movimentos de massa; sedimentação acelerada e; degradação das cabeceiras e terço inferior das vertentes.

Amaral et al. (2011) utilizando o Processo Analítico Hierárquico (AHP) e a avaliação multicritério do programa IDRISI Taiga, analisou a suscetibilidade natural à erosão das Áreas de Preservação Permanente (APPs) da Folha Pariquera-Açu, Vale do Ribeira - SP, de acordo com os fatores naturais: geologia, pedologia, pluviometria e declividade. Foram atribuídos pesos às diferentes classes destes fatores naturais, de acordo com a proposta de Crepani et al.

(2001). Para ponderação destes fatores, quanto à importância dos mesmos no desencadeamento de processos erosivos, os autores se basearam na opinião de especialistas, revisão bibliográfica e análise de seus comportamentos na área de estudo. Os resultados obtidos mostraram que todas as categorias de APPs apresentaram a maior parte de suas áreas com alta suscetibilidade natural à erosão.

2.4.2 Inventários

Os inventários de erosão se constituem em documentos fundamentais para a adequada gestão ambiental e territorial de áreas afetadas por processos erosivos acelerados (MORGAN, 1996), pois a intensificação do número de processos erosivos pode condicionar ou até mesmo impossibilitar a utilização da área para um determinado uso (FERREIRA, 2008).

De acordo com Guimarães (2008), a produção do inventário das feições erosivas é fundamental para identificar todos os processos erosivos presentes na área em estudo, podendo assim definir o tipo (sulco, ravina, boçoroca) e as dimensões destas feições.

O inventário de processos erosivos constitui-se na primeira fase para o estudo e controle dos mesmos e, tem por objetivo cadastrar, caracterizar e diagnosticar estes processos, através de um levantamento detalhado de suas características. Sendo assim, fornece um conjunto de informações necessárias à execução de cartas de suscetibilidade à ocorrência destes processos (RODRIGUES, 1998).

Ao se elaborar um mapa de inventário deve-se inicialmente preocupar-se com a localização das feições, se são variáveis no tempo e, o entendimento da distribuição espaço-temporal da tipologia das feições (ZUQUETTE, 2000).

Os dados oriundos de inventários de processos erosivos são fundamentais para compreender o processo, possibilitando avaliar a evolução desses processos e a eficiência das novas práticas adotadas com o objetivo de atingir a uma maior eficiência ambiental (FERREIRA; PEJON; ZUQUETTE, 2010).

Segundo os autores supracitados, os trabalhos de inventário, geralmente, são baseados em trabalhos de campo e análise de registros temporais (fotografias aéreas e imagens de satélite), que analisados em conjunto possibilitam criar o cenário real do estado atual da

degradação do solo por este tipo de processo da área em estudo, podendo se tornar uma base inicial para que medidas possam ser tomadas.

Rodrigues (1998) elaborou um mapa de inventário de erosões para a região de Águas de Lindóia - SP, através de fotografias aéreas, trabalhos e dados históricos, considerando a metodologia proposta por Brabb (1995). Este mapa foi extremamente importante para a definição da suscetibilidade à erosão da área, pois possibilitou a geração da carta de suscetibilidade.

Yamanouth (2003) elaborou vários mapas de inventário dos processos erosivos da bacia do córrego do Espraiado (SP) com base em fotografias aéreas dos anos de 1972, 1978 e 1995, o que possibilitou uma avaliação geológico-geotécnica da evolução espacial e temporal destas feições. As feições erosivas foram cadastradas quanto ao tipo de feição, suas características, material inconsolidado, *landforms e* uso do solo.

Guimarães (2008) ao executar o mapeamento geotécnico da bacia do córrego da Barra, localizada em São Pedro – SP, realizou um inventário de feições erosivas através de fotografias aéreas e atividades de campo. Em cada processo erosivo foram levantadas as seguintes características: comprimento, largura, profundidade, material inconsolidado, uso do solo e declividade. O inventário foi importante na delimitação das áreas com maiores concentrações de erosões, e permitiu relacionar com os parâmetros que contribuem para evolução dos processos erosivos.

Pinheiro (2009) realizou um inventário temporal das feições erosivas lineares na alta bacia do ribeirão Araquá – SP, através de técnicas aerofotogramétricas e cartográficas digitais e analógicas. O levantamento foi executado na escala de semi-detalhe (1:50.000) e na escala de detalhe (1:15.000). Esse inventário possibilitou identificar a distribuição, magnitude e a frequência de ocorrências de feições erosivas.

Ferreira, Pejon e Zuquete (2010) estudaram os processos erosivos na Bacia do Ribeirão Bonito, localizada na região de Santa Maria da Serra – SP. Neste estudo foi elaborado um inventário em 4 conjuntos de fotografias aéreas dos anos 1962, 1972, 2000 e 2006. O inventário realizado almejou abordar a maior diversidade de ferramentas e métodos (Figura 2.12). Foram realizadas fotointerpretações associadas a trabalhos de campo, auxiliados por fichas de inventário específicas, com aspectos do meio físico e dimensional. Como resultados foram obtidos mapas de inventário para cada ano analisado, que permitiram

concluir que o número de feições erosivas variou em função dos tipos de usos e ocupações, assim como dos tipos de práticas de manejo utilizadas.

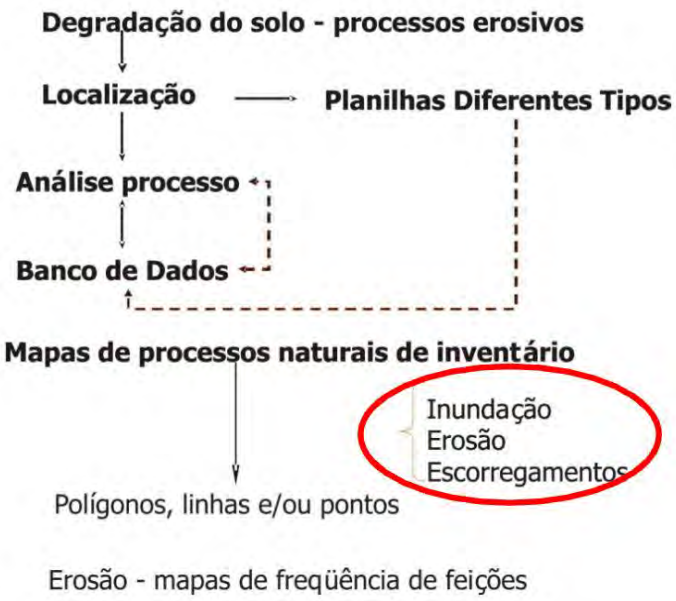


Figura 2.12 – Interação dos dados de inventário no contexto dos processos erosivos. Fonte: Ferreira, Pejon e Zuquete (2010).

Araujo (2011) elaborou um inventário detalhado das feições erosivas a partir de trabalhos de campo e fotografias aéreas, para uma bacia no município de São Pedro – SP. Os trabalhos de campo foram assistidos por GPS de precisão e permitiram definir a situação atual das erosões, já o uso de fotografias aéreas pretéritas possibilitou observar a evolução das erosões. Foram levantadas diversas informações sobre as erosões encontradas na área, como sua classificação quanto à feição (ravina, sulco ou boçoroca), área, profundidade, posição (erosão de encosta ou drenagem) e também as coordenadas da cabeceira das mesmas.

Trabalhos que visam à organização de inventários de acidentes representam a etapa inicial de grande relevância para os estudos de áreas de risco. Os documentos cartográficos são a base para o avanço de estudos nos quais os fatores condicionantes e o grau de vulnerabilidade constituem informações indispensáveis para o zoneamento do risco, subsidiando a tomada de decisões por parte do poder público (ROBAINA et al., 2010).

2.4.3 Equação Universal de Perdas de Solo

A equação de previsão de perdas de solo é um importante instrumento para trabalhos que visam à conservação dos solos. Com seu auxílio, é possível predizer as perdas anuais médias de solo em condições específicas de declividade, solo, sistemas de manejo e cultivo e outros fatores. Podendo ter aplicação no planejamento do uso do solo para determinar as práticas de conservação mais apropriadas para dado terreno (BERTONI; LOMBARDI NETO, 1985). Para Hudson (1981) as duas principais aplicações deste modelo são para predição da perda de solos por erosão e para a escolha de práticas agrícolas. A equação desenvolvida por Wischmeier e Simth (1978) é expressa por:

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

onde,

A: perda de solo, calculada por unidade de área (tonelada por hectare);

R: fator chuva: índice de erosão pela chuva, (MJ/ha.mm/ha);

K: fator erodibilidade do solo: 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: fator comprimento do declive: relação de perdas de solo entre um comprimento de declive qualquer e um comprimento de rampa de 25m para o mesmo solo e grau de declive;

S: fator grau de declive: relação de perdas de solo entre um declive qualquer e um declive de 9% para o mesmo solo e comprimento de rampa;

C: fator uso e manejo: relação entre perdas de solo de um terreno cultivado em dadas condições e as perdas correspondentes de um terreno mantido continuadamente descoberto, ou seja, nas mesmas condições em que o fator K é avaliado;

P: fator prática conservacionista: relação entre as perdas de solo de um terreno cultivado com determinada prática e as perdas quando de planta morro abaixo.

2.5 MAPA DE FEIÇÕES DO TERRENO (*LANDFORMS*)

O estudo dos *landforms* desempenha um papel importante na classificação dos solos frente ao potencial em desenvolver processos erosivos (VAN REMORTEL et al., 2004; DRĂGUŢ; BLASCHKE, 2006).

Para aplicação na Geotecnia, duas definições para o termo *landforms* se destacam. Belcher (1948) define o termo como:

> [...] as feições da superfície terrestre podem ser divididas em *landforms*, sendo que cada forma apresenta, separadamente, distintas características de solo, topografia, materiais rochosos e condições de água subterrânea. A recorrência de uma *landforms*, independentemente de sua localização, implica na recorrência das características básicas daquela *landforms*.

Já Lueder (1959) diz que:

> [...] uma *landforms* pode ser definida como uma feição de terreno, usualmente de terceira ordem, criada por processos naturais de maneira que possa ser descrita e reconhecida em termos de feições típicas seja onde ocorrer, e que, quando identificada, oferece informações de sua estrutura, composição e textura ou uniformidade.

No Brasil, uma definição muito utilizada por diversos autores (NISHIYAMA, 1998; MIRANDA, 2005; SILVA, 2005; FERREIRA, 2008; SILVA, 2010) é a de Lollo (1996), onde o termo *landforms* é definido como: "porção do terreno originada de processos naturais, distinguível das porções vizinhas (demais "*landforms*") em pelo um dos seguintes elementos de identificação: forma e posição topográfica, frequência e organização dos canais, inclinação das vertentes e amplitude de relevo".

Para a compartimentação do terreno em *landforms* (Técnica de Avaliação do Terreno), podem ser utilizados três níveis hierárquicos (Figura 2.13):

1. Sistema de Terreno: corresponde a associações de feições de relevo com expressão especial determinada, que evoluíram em condições semelhantes e que apresentam uniformidade quanto a materiais rochosos associados;
2. Unidade de Terreno: é a primeira subdivisão do sistema de terreno. Corresponde a feição individual do terreno que se diferencia das demais às quais está associada por indicar um determinado conjunto de processos do sistema de terreno em que está situado, estas diferenças devem refletir nos materiais inconsolidados; e,
3. Elemento de Terreno: é a subdivisão da unidade de terreno. Corresponde a: "parte de uma forma individual de relevo distinguível das demais partes em termos de

inclinação ou forma da vertente, posição topográfica, ou forma topográfica, e que deve refletir as condições diferenciadas de espessura de materiais inconsolidados ou variações laterais no perfil destes materiais" (LOLLO, 1996).

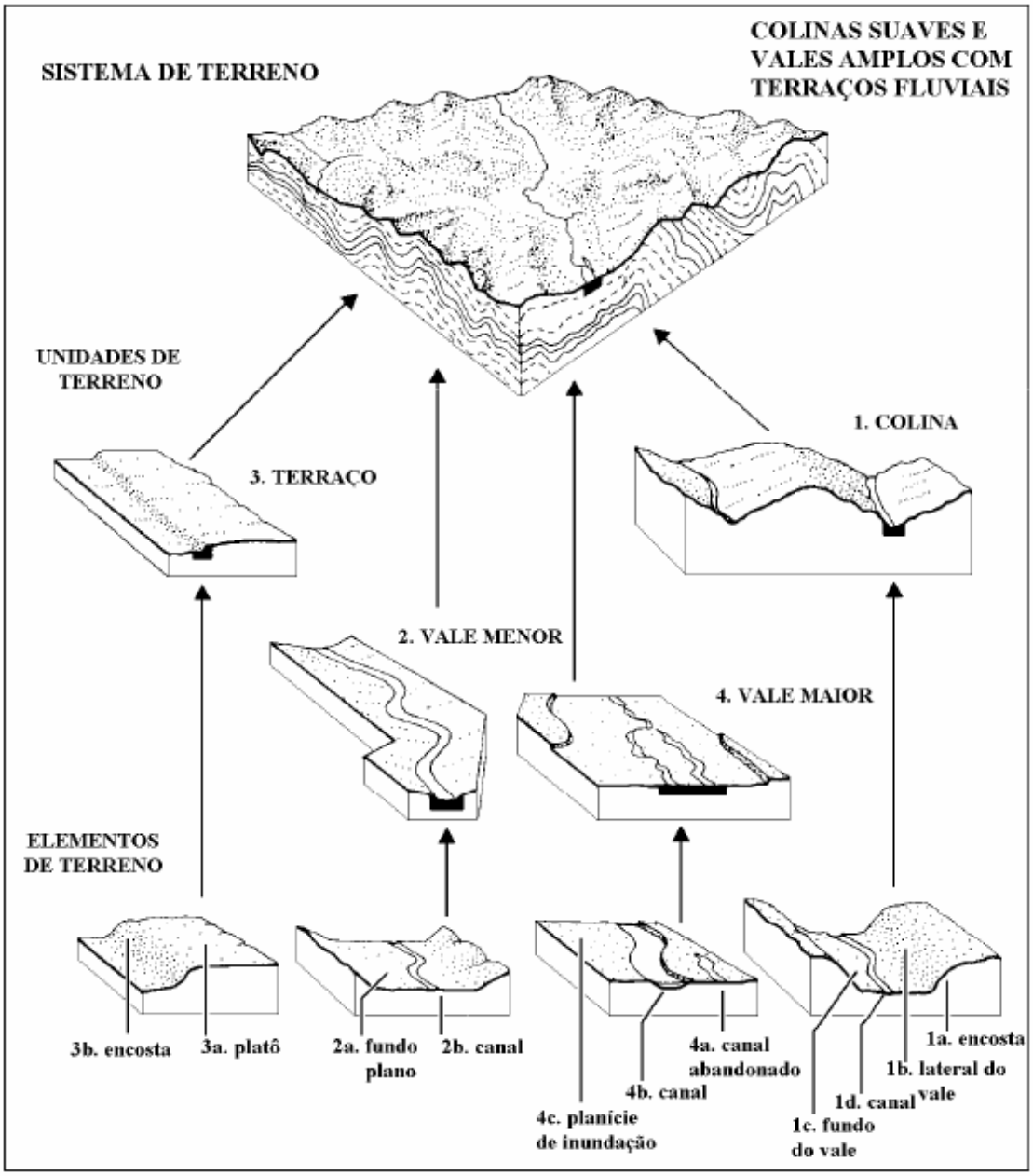


Figura 2.13 – Aplicação da técnica de avaliação do terreno, modificado de Cooke e Doornkamp (1990), apud Lollo (1996).

O que determina ou não, a utilização dos três níveis hierárquicos é a finalidade e o grau de detalhamento do trabalho, pois, como foi explicado, a metodologia permite compartimentar o terreno em unidades cada vez menores.

Zuquette e Gandolfi (2004) relatam que a técnica de avaliação do terreno permite o melhor entendimento do modelo conceitual do terreno, minimizando os trabalhos de campo, amostragens e ensaios laboratoriais, além de orientar as investigações, possibilitando a obtenção de melhores resultados.

MacMillan et al. (2000) mapearam uma área em elementos de *landforms* com auxílio da lógica *fuzzy*. Os autores utilizaram um Modelo Digital de Elevação interpolado no programa GRASS. Os atributos considerados no processo de segmentação da área foram o gradiente de declividade, perfil e curvatura plana e iluminação relativa, que foram calculados após conversão para atributos de *landforms fuzzy*, expressos em termos de associação de valores com variação contínua entre 0 – 100.

Drăguţ e Blaschke (2006) elaboraram um mapa de elementos de *landforms* através de um sistema de classificação automática, baseado em análise de imagem orientada ao objeto. Inicialmente, várias camadas de dados foram produzidas a partir de um MDT: elevação, perfil de curvatura, curvatura plana e gradiente de declividade. Em seguida, objetos relativamente homogêneos foram delineados em vários níveis através de segmentação de imagem. Estes objetos primitivos foram classificados como elementos de *landforms* utilizando um modelo de classificação relativa, construído tanto na forma da superfície como na posição de elevação dos objetos.

2.6 FERRAMENTAS AUXILIARES NO ESTUDO DA EROSÃO

Atualmente observa-se uma vasta gama de ferramentas auxiliares para estudo, modelagem e monitoramento da erosão, tais como, fotografias aéreas, as imagens de satélite, o geoprocessamento e os Sistemas de Informações Geográficas.

2.6.1 Geoprocessamento

Na perspectiva moderna de gestão do território, todo planejamento, ordenação ou monitoramento do espaço deve incluir a análise dos vários componentes ambientais, incluindo o meio físico-biótico, a ocupação humana e seu interrelacionamento, sendo assim o

uso do geoprocessamento e suas ferramentas apresenta um enorme potencial (CÂMARA; MEDEIROS, 1998).

"Geoprocessamento pode ser definido como o conjunto de tecnologias de coleta e tratamento de informações espaciais e de desenvolvimento, e uso de sistemas que as utilizam." Várias áreas do conhecimento utilizam as tecnologias do geoprocessamento, tais como, Geologia, Hidrologia, Agricultura, Urbanismo e as Engenharias. Estas apresentam, em comum, o interesse por entes de expressão espacial, sua localização, distribuição, ou ainda, a distribuição espacial de seus atributos (RODRIGUES, 1990).

O termo geoprocessamento pode ser definido como a disciplina do conhecimento que utiliza técnicas computacionais para o tratamento de informações geográficas. Esta tecnologia utiliza ferramentas computacionais denominadas de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), que permitem realizar análises complexas, ao integrar dados de diversas fontes e ao criar bancos de dados georreferenciados (CÂMARA; MEDEIROS, 1998).

"O geoprocessamento, segundo a maioria dos autores da área, engloba processamento digital de imagens, cartografia digital e os sistemas informativos geográficos, ou sistemas de informação geográfica, ou mesmo sistema geográfico de informação" (MOURA, 2003).

Botelho (1999) assegura que "o uso de geoprocessamento na edição e conjugação de cartas temáticas representa um forte aliado, que não deve ser dispensado". Com o uso de SIG é possível conjugar diferentes informações (dados), de diferentes maneiras, com a vantagem de se ter esses dados disponíveis para eventuais repetições.

Robaina et al. (2009) afirma que o uso do Geoprocessamento se torna uma ferramenta indispensável nos estudos ambientais, pois permite a realização de análises complexas ao integrar dados de diversas fontes e ao criar bancos de dados georreferenciados, fazendo com que a elaboração de produtos cartográficos e a tomada de decisões se tornem, respectivamente, automatizadas e mais eficientes.

Robaina et al. (2009) aponta os softwares de geoprocessamento auxiliares em estudos ambientais, entre os mais utilizados estão o ArcGIS, Spring, Idrisi, Envi, Global Mapper, TrackMaker e Surfer, que associados aos novos métodos de avaliação e planejamento têm produzido benefícios ao gerenciamento dos recursos naturais.

A utilização do geoprocessamento possibilita a aquisição, manipulação e a integração de dados temáticos, subsidiando a caracterização espaço-temporal de áreas com diferentes suscetibilidades aos processos erosivos (VALÉRIO FILHO; ARAÚJO JUNIOR, 1995).

Ferreira (2008) afirma que em estudos sobre os processos erosivos o geoprocessamento pode ser utilizado para determinar o contorno, criar modelos das feições, avaliar a magnitude, além de possibilitar analisar a evolução temporal dos processos.

2.6.2 Sistema de Informação Geográfica (SIG)

Burrough (1986) define SIG como um "conjunto poderoso de ferramentas para coletar, armazenar, recuperar, transformar e visualizar dados sobre o mundo real".

Os Sistemas de Informação Geográfica (SIGs) são destinados ao tratamento de dados georreferenciados. Estes sistemas permitem a manipulação de dados de diversas fontes, tais como mapas, imagens de satélites, cadastros e outros, permitindo a recuperação e a combinação de diferentes informações e ainda realizar diversos tipos de análises espaciais destes dados (ALVES, 1990).

XAVIER-DA-SILVA (2001) discorre sobre os SIGs:

> [...] Comportando estruturas de captura, exibição e análise (transformações dirigidas) associadas ao conjunto territorialmente integrado de dados ambientais, este tipo de modelo, denominado Sistema Geográfico de Informação – SIG, tem a capacidade de analisar relações taxonômicas e espaciais entre variáveis e entre localidades constantes da sua base atualizável de dados georreferenciados.

A essência dos SIGs está em explicitar as relações espaciais ou lógicas existentes tanto no conjunto de dados cartográficos como alfanuméricos (MOURA, 2003). Conforme Câmara e Medeiros (1998) os padrões de inter-relação podem assumir diferentes formas: correlação espacial correlação temática, correlação temporal e correlação topológica.

Segundo Câmara e Medeiros (1998), um SIG possui os seguintes componentes: interface com usuário, entrada e integração dos dados, funções de processamento gráfico e de imagens, visualização e plotagem, armazenamento e recuperação de dados. Estes componentes são organizados sob a forma de um banco de dados geográficos. A Figura 2.14 apresenta o relacionamento dos principais componentes de um SIG.

As técnicas cartográficas computadorizadas, desenvolvidas a partir dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG's), possibilitam a manipulação de grandes quantidades de informações, tornando mais ágil o estabelecimento de estratégias de ações e tomadas de decisões (CUNICO, 2007).

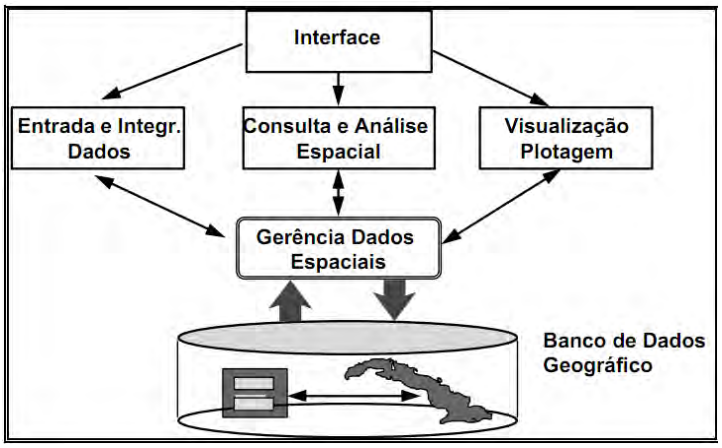


Figura 2.14 – Arquitetura de um SIG (CÂMARA; MEDEIROS, 1998).

Câmara e Medeiros (1998) afirmam que podem ser apontados pelo menos quatro campos de atuação, ligados aos estudos ambientais, que se utilizam da tecnologia dos SIGs e, que tem com característica básica a interdisciplinaridade, a saber:

- Mapeamento Temático: objetiva a caracterização e entendimento da organização do espaço, como base para o estabelecimento das para ações e estudos futuros;
- Diagnóstico Ambiental: visa o estabelecimento de estudos específicos, almejando projetos de ocupação ou preservação;
- Avaliação de Impacto Ambiental: envolve o monitoramento dos resultados da intervenção antrópica sobre o ambiente; e
- Ordenamento Territorial: visa a normatizar a ocupação do espaço, buscando racionalizar a gestão do território, almejando o desenvolvimento sustentável.

Capítulo 3: CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A Bacia Hidrográfica dos Afluentes Mineiros do Médio Rio Grande (GD7) está inserida na Bacia Hidrográfica do Rio Grande, que tem cerca de 145.000 km² de área de drenagem, localizada entre Minas Gerais e São Paulo e que faz parte da região hidrográfica Paraná, uma das doze regiões hidrográficas do território brasileiro. A Figura 3.1 ilustra a localização da área de estudo.

A área onde foi realizada esta pesquisa perfaz 9.794,12 km² e compreende a região do Médio Rio Grande, que abrange a Bacia Hidrográfica dos Afluentes Mineiros do Médio Rio Grande (GD7). Envolve, completa ou parcialmente, 22 municípios do Sudoeste do Estado de Minas Gerais: Alpinópolis; Bom Jesus da Penha; Cássia; Capetinga; Claraval; Delfinópolis; Fortaleza de Minas; Ibiraci; Itamogi; Itaú de Minas; Jacuí; Monte Santo de Minas; Nova Resende; Passos; Pratápolis; São João Batista do Glória; São José da Barra; São Pedro da União; São Roque de Minas; São Sebastião do Paraíso; São Tomás de Aquino; Sacramento. Dois grandes reservatórios administrados por Furnas Centrais Elétricas estão inseridos na área: o reservatório de Peixoto e parte do reservatório de Estreito, que perfazem uma área de 297,14 km².

O clima na área de estudo é considerado semi-úmido, apresentando de quatro a cinco meses secos por ano, sendo sua disponibilidade hídrica superior a 20 litros por segundo por quilômetro quadrado. O Índice de Qualidade das Águas (IQA) apresenta-se médio no rio São João e ruim no ribeirão da Bocaina em 2005, por influência das variáveis coliformes termotolerantes, fósforo total, turbidez, oxigênio dissolvido (OD) e demanda bioquímica de oxigênio (DBO) (IGAM, 2010).

De acordo com o Mapa Geomorfológico do RADAMBRASIL (1983) em escala 1:1.000.000, a área apresenta-se envolvida pelas seguintes unidades geomorfológicas: Patamares da Canastra, Serra da Canastra, Planalto de Varginha e Patamares Cuestiformes.

A geologia está representada por rochas da Bacia do Paraná, principalmente arenitos das Formações Botucatu e Aquidauana além de basaltos da Formação Serra Geral, e por rochas do Embasamento Cristalino, que engloba os Grupos Araxá, Canastra, Bambuí e Complexo de Barbacena. Ocorrem 26 unidades geológicas e 12 unidades de substrato

rochoso (Quadro 3.1). A Figura 3.2 apresenta a distribuição espacial das unidades e a Tabela 3.1 apresenta a distribuição percentual das unidades na área de estudo.

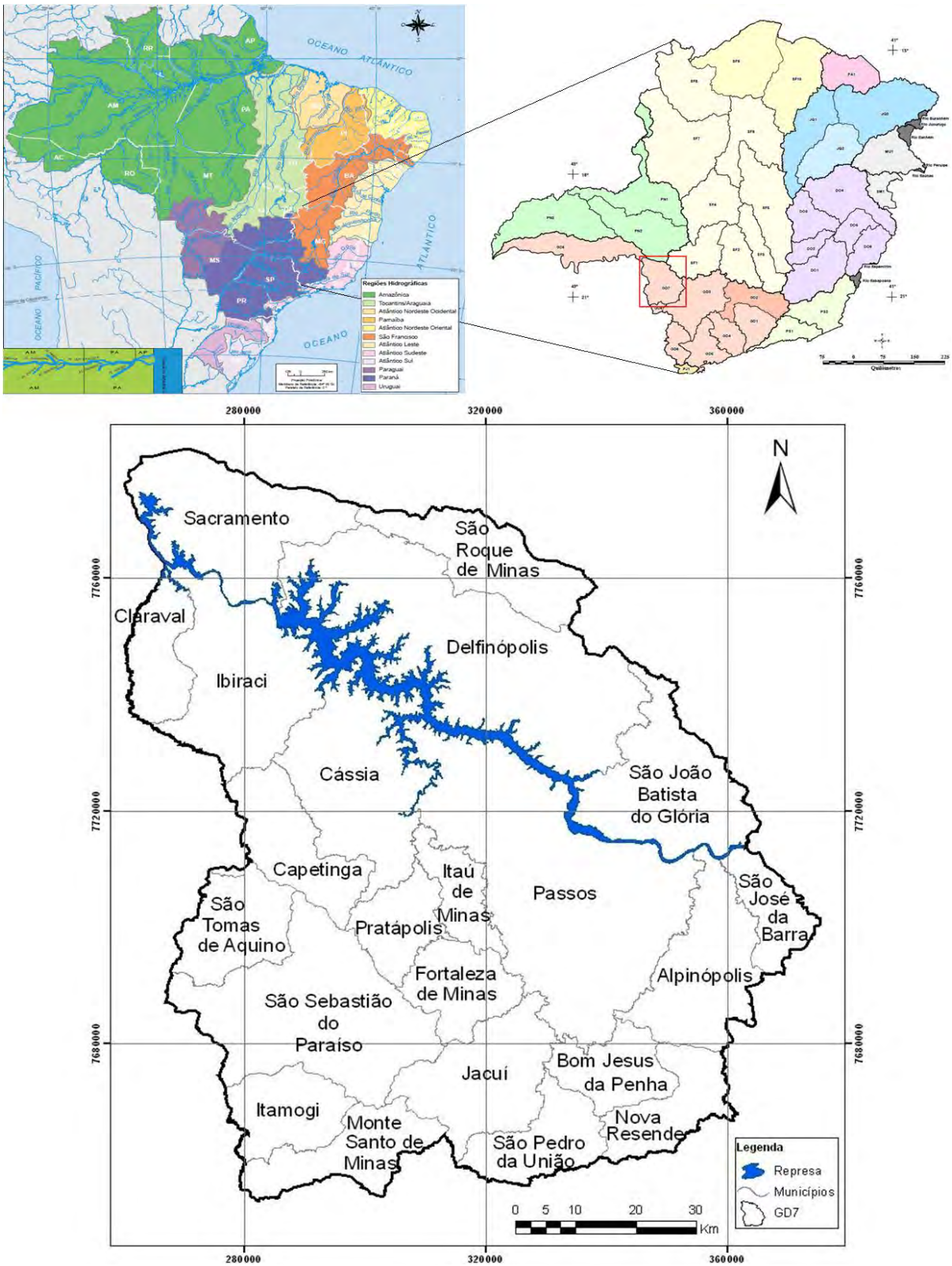


Figura 3.1 – Localização da área de estudo.

Substrato Rochoso	
1.Coberturas Quaternárias	Coberturas aluvionares
	Coberturas cenozóicas indiferenciadas
2.Basalto e Diabásio	Basalto e Diabásio (Fm. Serra Geral)
3.Arenito	Arenito (Fm. Botucatu)
	Arenito conglomerado folhelho e siltito (Fm. Aquidauana)
4.Gnaisse	Gnaisses com intercalações de xisto quartzo-xisto quartzito e anfibolito
	Gnaisse migmatítico
	Gnaisse com intercalações de xisto quartzito e anfibolito
	Migmatitos e granitóides gnaissificados graníticos a granodioriticos. Localmente com lentes dioriticas anfiboliticas e ultramáficas
5.Xisto	Xisto e Filito com ocorrência local de gnaisse e mármore
	Filitos e metadiamectitos
	Mica-xisto com ocorrências ocasionais de quartzito e lentes de mármore
	Filito com intercalações ocasionais de quartzito
6.Quartzito	Quartzito com intercalações de mica-xisto
	Quartzito com intercalações ocasionais de mica-xisto e filito
	Metaarenito com intercalações de quartzo-xisto quartzito filito metaconglomerado
7.Rochas Ultramáficas	Rochas ultramáficas
	Rochas ultramáficas com intercalações de gnaisse e metassedimentos
	Anfibolitos e gnaisses dioritícos
8.Milonito	Milonito e localmente gnaisses associados a rochas ultramáficas
9. Rochas Calcissilicáticas	Rochas calcissilicáticas
10.Mica-xisto/Quartzito	Mica-xisto com intercalações de quartzo-xisto quartzito anfibolito e gnaisse
	Mica-xisto com intercalações comuns de quartzito
	Mica-xisto com intercalações de quartzo-xisto e quartzito. Ocasionalmente lentes de rochas metabásicas
11.Gnaisse/Xisto	Gnaisse e xisto com intercalações ocasionais de quartzito anfibolito e rocha calcissilicática
12.Gnaisse/Rochas Ultramáficas	Gnaisse e migmatitos com intercalações de anfibolitos ultramáficas e metassedimentos

Quadro 3.1 – Classificação das Unidades Geológicas da área de estudo. Fonte: Gomes e Collares (2011).

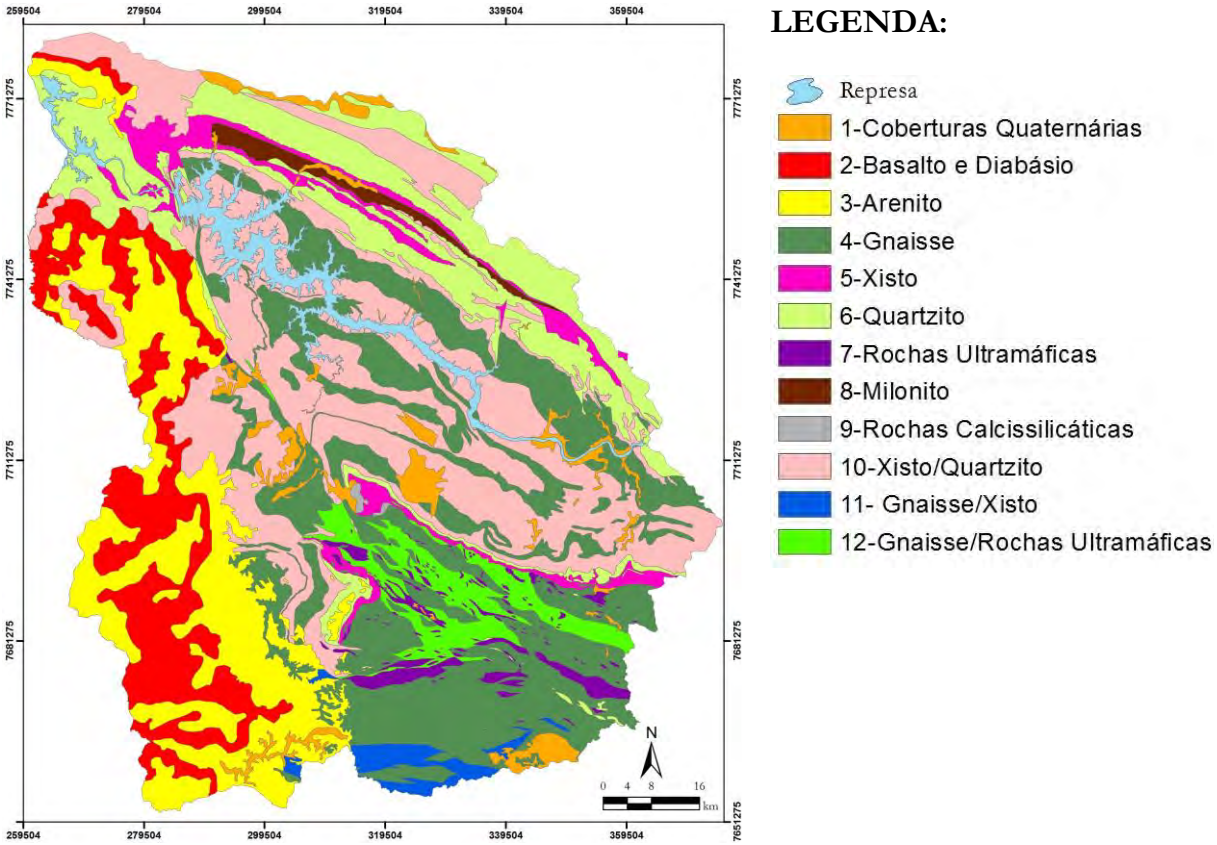


Figura 3.2 – Mapa de Substrato Rochoso da área de estudo, escala original 1:100.000. Fonte: Gomes e Collares (2011).

Tabela 3.1 – Distribuição percentual das unidades de substrato rochoso na área de estudo.

Substrato Rochoso	**Área (km²)**	**%**
1-Coberturas Quaternárias	336,60	3,54
2-Basalto e Diabásio	943,99	9,94
3-Arenito	1349,84	14,21
4-Gnaisse	2213,26	23,30
5-Xisto	354,85	3,74
6-Quartzito	1215,03	12,79
7-Rochas Ultramáficas	169,26	1,78
8-Milonito	97,01	1,02
9-Rochas Calcissilicáticas	9,67	0,10
10-Xisto/Quartzito	2320,22	24,43
11- Gnaisse/Xisto	121,23	1,28
12-Gnaisse/Rochas Ultramáficas	366,01	3,85
Total	9496,98	100

Segundo o Mapa de Solos de Minas Gerais em escala 1:1.500.000 (MINAS GERAIS, 1980), na área de estudo ocorrem os seguintes grupos de solos: Areia Quartzosa, Cambissolo, Latossolo, Latossolo Roxo, Latossolo Veremelho-Amarelo, Latossolo Vermelho-Escuro, Litossolo, Podzolico, Podzolico Vermelho-Amarelo e Podzolico Vermelho-Escuro, na Figura 3.3 é possível observar a distribuição espacial destes solos.

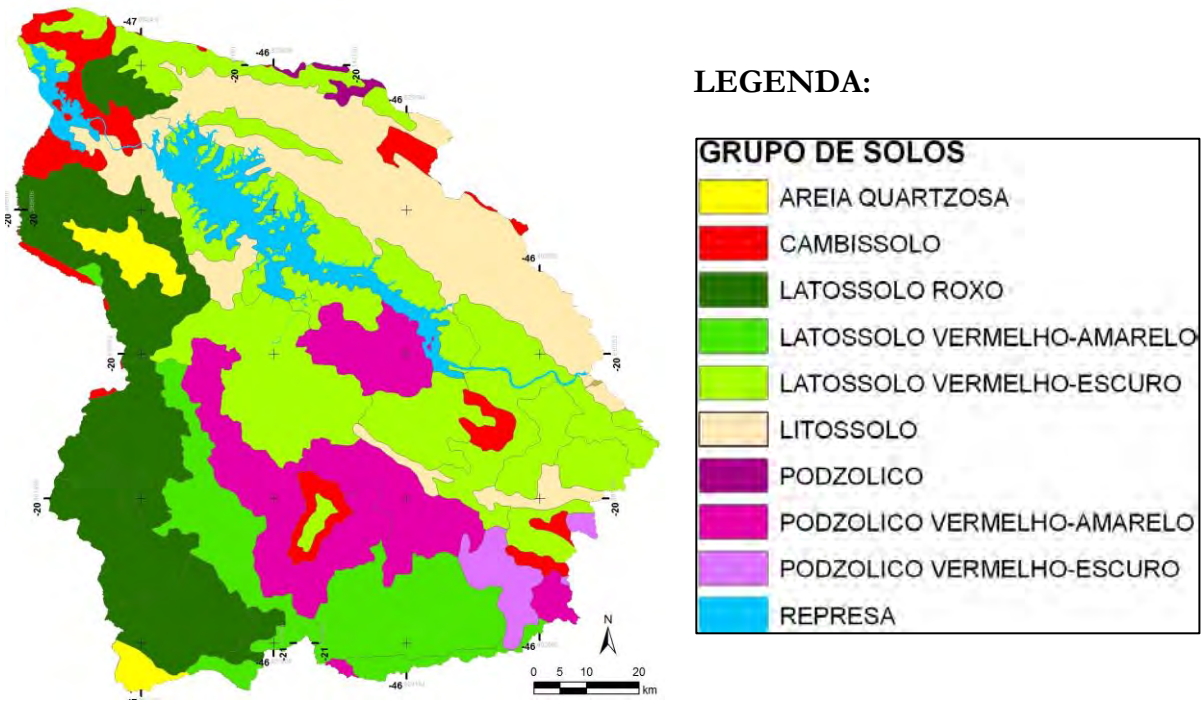


Figura 3.3 – Mapa de Solos do GeoMinas, escala original 1:1.500.000 (MINAS GERAIS, 1980).

De acordo com o Mapa de Vegetação Natural de Minas Gerais em escala 1:1.500.000 (MINAS GERAIS, 1980), a vegetação natural da área corresponde a Floresta Atlântica, Cerrado e Campo Cerrado e Campo Rupestre de Altitude, conforme pode ser observado na Figura 3.4. O Inventário Florestal de Minas Gerais (2010) apresenta informações mais detalhadas a acerca da fitofisionomia que ocorre na área e mostra que a Floresta Estacional Semidecidual perfaz 10,04% da área total, seguida pela Floresta Ombrófila (9,15%), Campo Rupestre (7,20%), Campo limpo e sujo (4,94%), Reflorestamento com Pinus (0,46%), Reflorestamento com Eucalipto (0,25%), Campo Cerrado (0,23%) e Cerrado Sensu Stricto (0,13%).

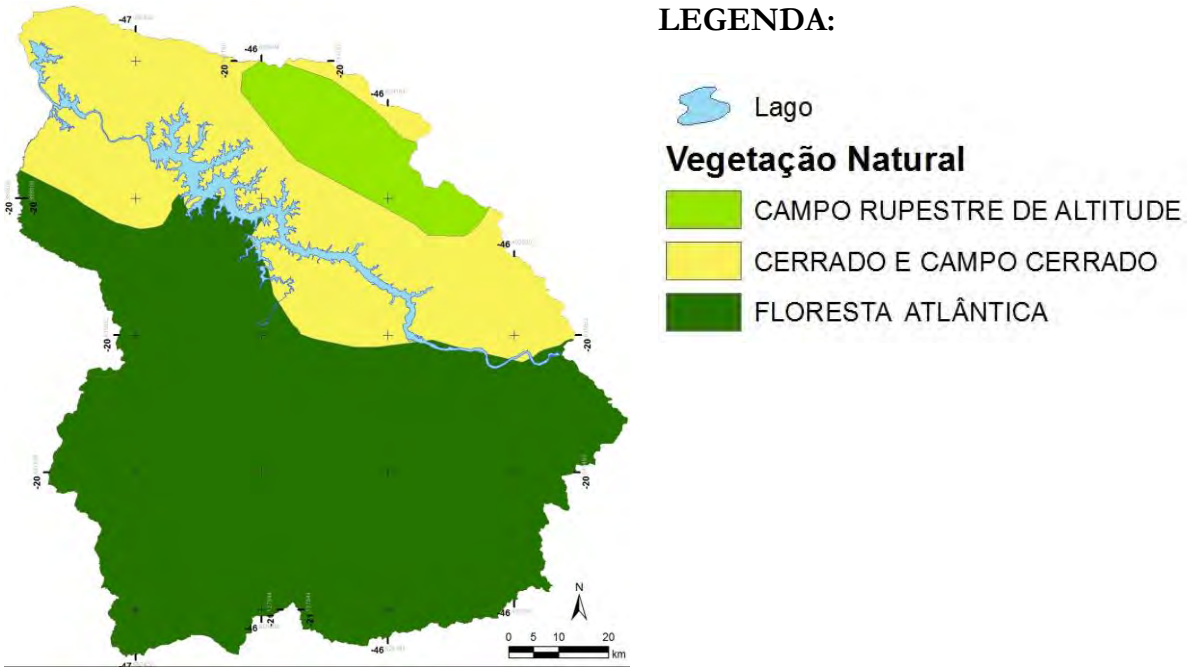


Figura 3.4 – Vegetação Natural da área estudo, escala original 1:1.500.000 (MINAS GERAIS, 1980).

Com relação às suas características demográficas a área de estudo apresenta uma população aproximada de 380 mil habitantes, sendo que, 80% deste contingente vive em áreas urbanas. Segundo Pereira (2012), o município de Passos é o mais populoso, representando 27,5% da população total, seguido de São Sebastião do Paraíso com 14,0%. Bom Jesus da Penha, Fortaleza de Minas e Claraval são os municípios menos populosos, participando cada um com 1% da população total dos municípios que compõem a área de estudo. A Tabela 3.2 apresenta a população total residente nos munícipios que compõem a área de estudo nos anos de 2000 e 2010.

Tabela 3.2 – Número de pessoas que habitam os municípios que compõem a área de estudo, segundo Pereira (2012).

Munícipio	Número de Habitantes	
	Ano 2000	Ano 2010
Alpinópolis	17.031	18.488
Bom Jesus da Penha	3.523	3.887
Capetinga	7.424	7.089
Cássia	17.278	17.412
Claraval	4.242	4.542
Delfinópolis	6.577	6.830
Fortaleza de Minas	3.759	4.098
Ibiraci	10.229	12.176
Itamogi	10.723	10.349
Itaú de Minas	13.691	14.945
Jacuí	7.389	7.502
Monte Santo de Minas	21.212	21.234
Nova Resende	13.887	15.374
Passos	97.211	10.6290
Pratápolis	9.217	8.807
Sacramento	21.334	23.896
São João Batista do Glória	6.271	6.887
São José da Barra	6.053	6.778
São Pedro da União	5.618	5.040
São Roque de Minas	6.325	6.686
São Sebastião do Paraíso	58.335	64.980
São Tomás de Aquino	7.303	7.093
População Total	**354.632**	**380.383**

Segundo Ferreira (2010), quanto às características socioeconômicas a área de estudo apresentava, em 2007, um PIB (Produto Interno Bruto) na ordem de 1 bilhão de reais, o que corresponde a, aproximadamente, 1,5% do PIB do Estado. Trata-se de uma região cuja economia se sustenta, fundamentalmente, pelas atividades agropecuárias e comércio. A indústria, atividades minerárias e o turismo, têm contribuído, nos últimos anos, para a melhoria das condições econômicas.

Para fins do Zoneamento Ambiental, Gomes e Collares (2010) compartimentaram a área em 34 macrounidades, se constituem macrounidades:

- Sub-bacias (MB): são as bacias hidrográficas de ordem de ramificação igual ou superior a 5 (classificação de Strahler) que deságuam diretamente no Rio Grande;

- Macrounidades adjacentes ao leito do Rio Grande (ML): compreendem conjunções de microbacias hidrográficas contíguas, de 1ª a 4ª ordem de ramificação, adjacentes ao canal do Rio Grande e dispostas ao longo da planície que o circunda;
- Outras Macrounidades (MM): compreendem conjunções de microbacias hidrográficas contíguas, de 1ª a 4ª ordem de ramificação que não se enquadram em nenhum dos dois critérios anteriores.

Para nomenclatura das macrounidades, os autores utilizaram as letras: MB, ML e MM. Em seguida, foram usados números entre colchetes, começando em 01 para sub-bacias, seguido pelas macrounidades pertencentes à área de influência do leito do Rio Grande e por último as Macrounidades, indo da montante para jusante em sentido anti-horário, partindo da margem esquerda. A Figura 3.5 apresenta o Mapa de Macrounidades e o Quadro 3.2 mostra os principais cursos d'agua das macrounidades.

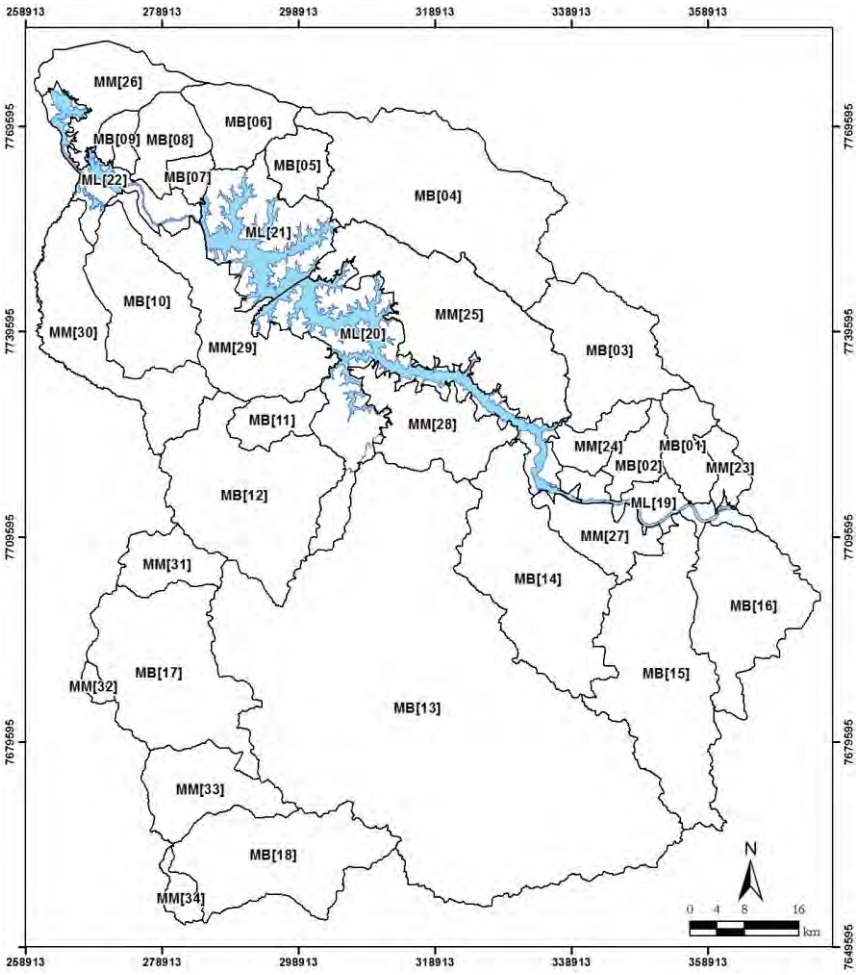


Figura 3.5 – Delimitação das macrounidades segundo Gomes e Collares (2010).

Macrounidades	Curso(s) d'água principal(is)
MB[01]	Ribeirão do Fumal
MB[02]	Ribeirão do Esmeril
MB[03]	Ribeirão Grande
MB[04]	Rio Santo Antônio
MB[05]	Ribeirão Bom Jesus
MB[06]	Ribeirão do Engano
MB[07]	Ribeirão do Cavalão
MB[08]	Ribeirão do Castelhano
MB[09]	Córrego Santa Barbara
MB[10]	Ribeirão do Ouro
MB[11]	Córrego da Onça
MB[12]	Ribeirão São Pedro
MB[13]	Rio São João
MB[14]	Ribeirão da Bocaina
MB[15]	Ribeirão da Conquista
MB[16]	Rio Cancã
MB[17]	Rio do Esmeril
MB[18]	Ribeirão do Pinheirinho
ML[19]	Córrego da Chácara; Córrego do Açude; Córrego Santa Luzia
ML[20]	Córrego da Perereca; Represa de Mascarenhas de Moraes (Peixoto)
ML[21]	Córrego da Areia; Córrego da Guariba; Córrego do Lobo
ML[22]	Córrego do Boqueirão; Córrego das Posses
MM[23]	Ribeirão Quebra Anzol
MM[24]	Ribeirão da Capetinga
MM[25]	Ribeirão das Baleias
MM[26]	Córrego do Buracão; Ribeirão Amanteigado
MM[27]	Córrego do Taquaruçu
MM[28]	Córrego da Cachoeira; Córrego Tarimba
MM[29]	Córrego do Sapo; Córrego Campeiro
MM[30]	Ribeirão São Tomé
MM[31]	Rio Santa Bárbara
MM[32]	Rio Jaborandi
MM[33]	Ribeirão Tomba- Perna
MM[34]	Ribeirão do Baú

Quadro 3.2 – Nomenclatura das macrounidades e seus cursos d'agua principal (is), segundo Gomes e Collares (2010).

CAPÍTULO 4: MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 MATERIAIS UTILIZADOS

Os materiais que fundamentaram a elaboração da base cartográfica, mapas temáticos e cartas interpretativas estão listados a seguir:

- Cartas topográficas do IBGE, na escala de 1:50.000, a saber:
  - Alpinópolis (SF-23-V-B-IV-3);
  - Capetinga (SF-23-V-A-V-2);
  - Capitólio (SF-23-V-B-IV-2);
  - Carmo do Rio Claro (SF-23-V-B-IV-4);
  - Cássia (SF-23-V-A-VI-1);
  - Chapadão da Zagaia (SF-23-V-A-III-1);
  - Delfinópolis (SF-23-V-A-III-3);
  - Desemboque (SF-23-V-A-II-2);
  - Fortaleza de Minas (SF-23-V-A-VI-4);
  - Furnas (SF-23-V-B-IV-1);
  - Itamogi (SF-23-V-B-II-2);
  - Jacuí (SF-23-V-C-III-2);
  - Marechal Mascarenhas (SF-23-V-A-II-4);
  - Monte Santo de Minas (SF-23-V-C-III-1);
  - Nova Resende (SF-23-V-D-I-1);
  - Passos (SF-23-V-A-VI-2);
  - Pedregulho (SF-23-V-A-II-3);
  - Rifaina (SF-23-V-A-II-1);
  - São Sebastião do Paraíso (SF-23-V-A-VI-3);
  - São Tomaz do Aquino (SF-23-V-A-V-4);
  - Serra da Canastra (SF-23-V-A-III-2);
  - Serra da Guarita (SF-23-V-A-III-4) e;
  - Vargem Bonita (SF-23-V-B-I-3).

- Mapa de substrato rochoso, produzido pelo Projeto Grande Minas, a partir de compilações de mapas geológicos, associadas a levantamentos de campo e caracterização de amostras. Os mapas geológicos que serviram de base para a produção do mapa de substrato rochoso são os seguintes:
  - Folha de Alpinópolis - SF23-V-B-IV, na escala de 1:100.000 disponibilizado pelo Serviço Geológico do Brasil - CPRM (2005), produzido pela UERJ, sob a coordenação de Monica Heilbron.
  - Folha de Delfinópolis - SF-23-V-A-III, na escala de 1:100.000 disponibilizado pelo Serviço Geológico do Brasil - CPRM (2008) produzido pela UNESP, sob a coordenação de Norberto Morales.
  - Folha de São Sebastião do Paraíso - SF.23-V-A-VI, na escala de 1:100.000 disponibilizado pelo Serviço Geológico do Brasil - CPRM (2006) produzido pela UNESP, sob a coordenação de Norberto Morales.
  - Mapa Geológico de Minas Gerais, na escala de 1:1.000.000, disponibilizado pela Companhia Mineradora de Minas Gerais - COMIG (1994).
- Imagens de Satélite Alos, datadas de 2009, com resolução espacial de 2,5m na banda pancromática e 12,5 m nas bandas multiespectrais.
- Mapa de uso e ocupação (DIAS, PEJON e COLLARES, 2013).
- Mapa de delimitação das macrounidades ambientais do médio Rio Grande (GOMES e COLLARES, 2010).
- Imagem matricial relativa às formas do terreno, disponibilizada pelo TOPODATA: Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil (INPE, 2008).

Para a elaboração dos produtos cartográficos foram utilizados os seguintes programas:

- ArcGIS® 10; e
- AutoCad 2009.

Além dos produtos cartográficos e programas de computador, também foram utilizadas fichas de campo, ferramentas para a coleta de amostras de solo (deformadas e indeformadas) e, equipamentos de laboratório para execução de ensaios.

4.2 ASPECTOS METODOLÓGICOS

A sistemática adotada no trabalho envolveu três fases de atividades: trabalhos de escritório, levantamentos de campo e, execução de ensaios de laboratório. Vale frisar que estas fases foram executadas de forma intercalada. A Figura 4.1 apresenta o fluxograma com as principais atividades desenvolvidas.

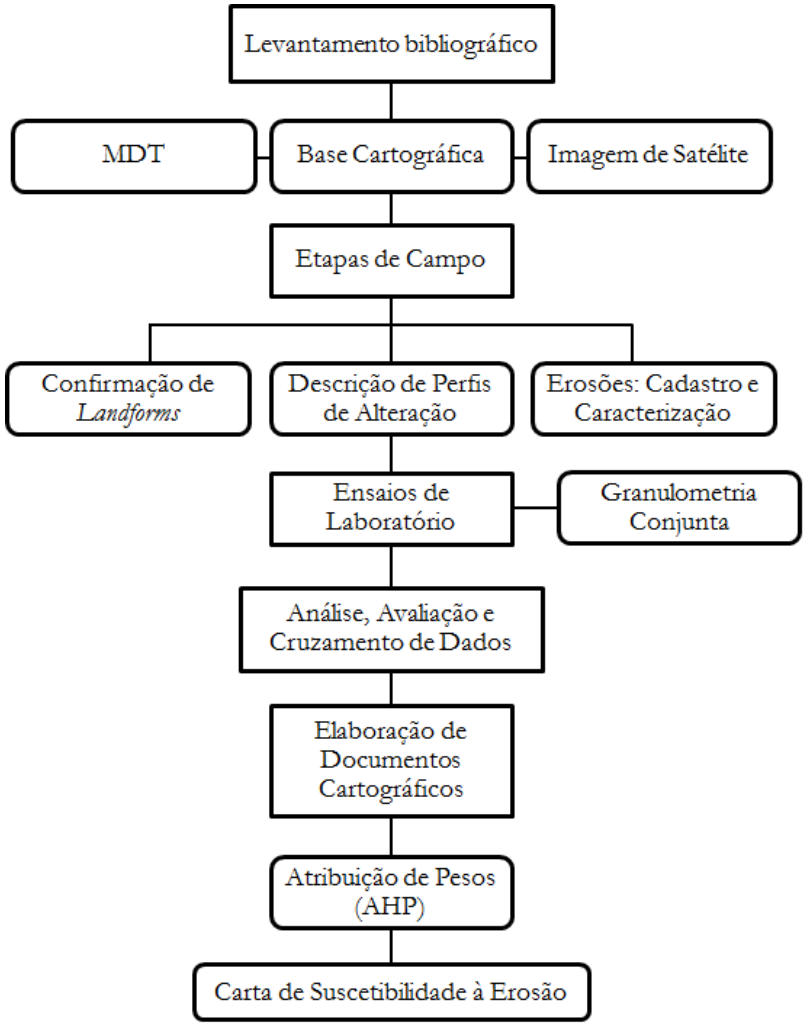


Figura 4.1 – Fluxograma com as principais atividades desenvolvidas.

4.2.1 Base Cartográfica

A base cartográfica foi elaborada a partir das cartas topográficas do IBGE, listadas no item 4.1. A Figura 4.2 apresenta o mosaico com as cartas, que serviu como base de referência para todo o trabalho. A rede hidrográfica em formato vetorial (*.dwg)* foi obtida do trabalho de

Gomes e Collares (2010) e as curvas de nível e pontos cotados do trabalho de Magri e Collares (2011).

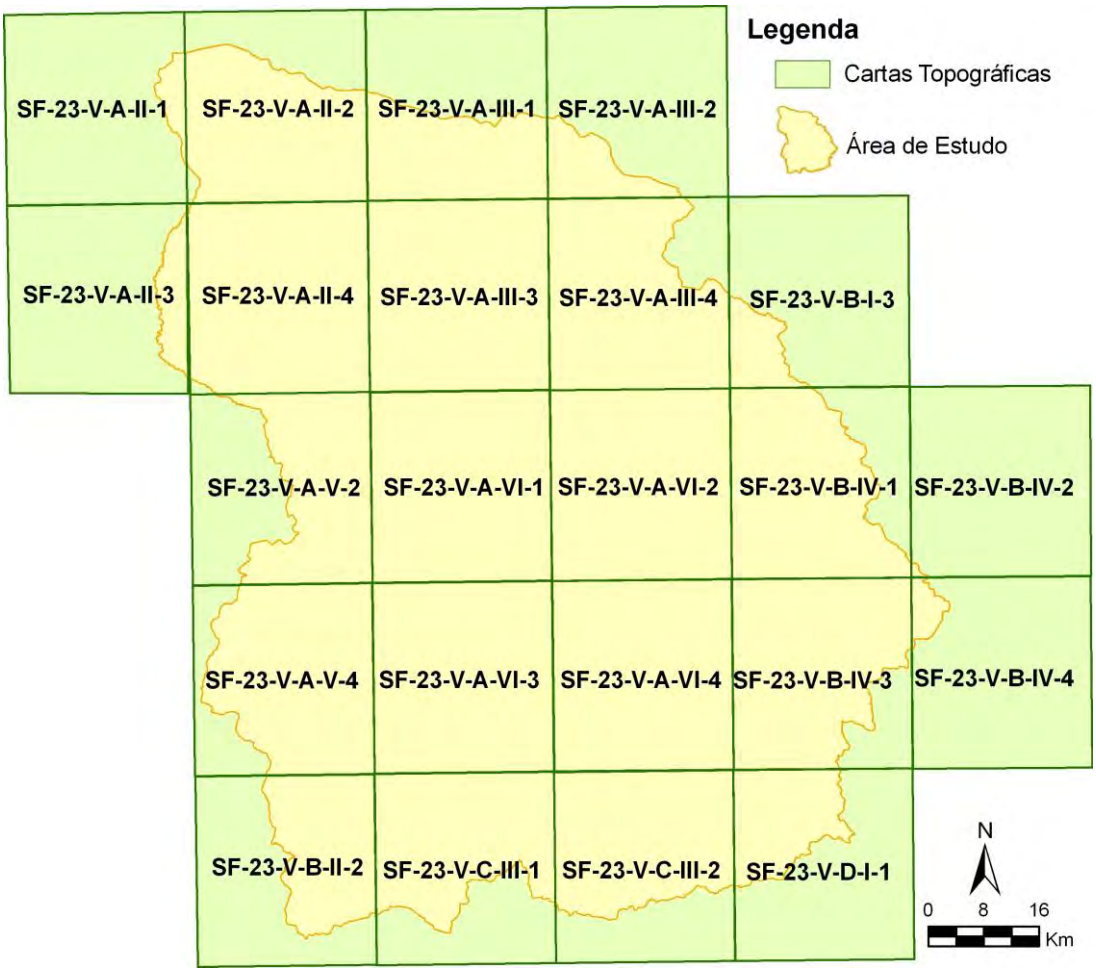


Figura 4.2 – Articulação das cartas topográficas da área de estudo (MAGRI, 2010).

De posse destes produtos, o próximo passo foi estruturar a base de dados no ArcGIS 10. Inicialmente os arquivos no formato vetorial (*.dwg*) foram importados para o programa e, em seguida, foram transformados para a extensão shape (*.shp*), a qual permite processar e editar os arquivos nesse SIG.

4.2.2 Modelo Digital de Elevação e Carta de Declividade

O Modelo Digital de Elevação Hidrologicamente Consistente (MDEHC) foi elaborado a partir da interpolação dos dados relativos às curvas de nível, pontos cotados e rede hidrográfica utilizando a ferramenta de interpolação *Topo to Raster* (HUTCHINSON,

1988 e 1989), presente na extensão *Spatial Analyst*, o tamanho do pixel de saída utilizado foi de 10 m.

Para validar qualitativamente o MDEHC, foram produzidas curvas de nível, a partir da imagem matricial do MDEHC e, posteriormente estas foram comparadas visualmente com as curvas de nível originais vetorizadas das cartas topográficas, conforme o manual do ArcGIS recomenda (AUGUSTO FILHO, 2011). Para geração das curvas de nível, utilizou-se o comando *Countour Interval,* presente na extensão *Spatial Analyst,* as curvas foram geradas com a metade do intervalo original das curvas de nível, ou seja, 10 metros.

Com o MDEHC gerado, foi possível elaborar o Modelo Digital do Terreno Sombreado com sobre-elevação (*z factor*) de três vezes, através do comando '*Hillshade'*, presente na extensão *3D Analyst*.

A carta de declividade foi elaborada a utilizando-se o comando *Slope*, presente extensão *3D Analyst*, como imagem matricial de entrada foi utilizado o MDEHC supracitado.

4.2.3 Inventário de Feições Erosivas

Devido à grande extensão da área de estudo, esta etapa foi realizada em parceria com um Projeto de Iniciação Científica (ALMEIDA et al., 2011) da Fundação de Ensino Superior de Passos – Universidade do Estado de Minas Gerais (FESP-UEMG) que é subsidiado pelo Projeto Grande Minas.

Através da interpretação de imagens de satélite Alos, foram identificados os possíveis focos de processos erosivos. Para a interpretação das imagens foi utilizado o programa AutoCAD Map 3D 2010®, e com a ferramenta *polyline* foi possível delimitar as áreas que apresentavam indícios de processos erosivos.

As principais feições identificadas na imagem de satélite foram avaliadas *in loco*. Foram observados os aspectos do meio físico (materiais geológicos) e dimensional (comprimento, largura e profundidade), com isso foi possível elaborar um banco de dados georreferenciado com todas as informações relativas aos processos erosivos. Outras características também foram observadas, tais como: tipo de feição (sulco, ravina, boçoroca), vegetação no interior, estado do processo, forma, surgência de água, dentre outras.

Além da descrição e caracterização do perfil de alteração através da análise táctil-visual, nos processos erosivos também foram coletadas amostras deformadas para realização de ensaios de Análise Granulométrica Conjunta (ABNT, NBR 7181/84).

4.2.4 Mapa de *Landforms*

O mapa de unidades de relevo (*landforms*) foi desenvolvido com base na Técnica de Avaliação do Terreno proposta por Lollo (1996).

Para compartimentar o relevo, foram utilizados dados topográficos (curvas de nível com equidistância de 20 m e rede hidrográfica); o Modelo Digital de Elevação Hidrologicamente Consistente; o Modelo Digital do Terreno Sombreado; a carta de declividade; as imagens de satélite Alos (2,5m) na composição 321; e perfis topográficos que foram criados no módulo *interpolate line* e *create profile graph*, no ArcGIS 10.

As unidades de relevo foram reconhecidas a partir dos aspectos relativos à declividade, e amplitude altimétrica. Os critérios utilizados para identificação destas unidades foram sugeridos por IPT (1981), Zuquette (1987) e Florenzano (2008), conforme a Tabela 4.1 apresenta. O Quadro 4.1 apresenta a definição para as unidades de relevo consideradas nesta pesquisa.

Tabela 4.1 – Critérios utilizados para a identificação das unidades de relevo.

Amplitude Altimétrica (m)	Declividade Dominante (%)	Tipo de Relevo
	0 – 3	Planícies
	0 – 5	Platôs
< 100	0 – 15	Colinas
	> 15	Morrotes
100 – 300	<15	Morros com encostas suavizadas
	> 15	Morros
> 300	> 15	Serras ou montanhoso
	> 15	Escarpas

Após o reconhecimento de áreas homogêneas, estas foram delimitadas em tela, no programa ArcGIS 10, para isso foi criado um *Geodatabase* específico para o mapa de *landforms,* com as *features class* correspondentes às classes descritas na Tabela 4.1.

Tipo de Relevo	Definição
Planícies	São terrenos baixos e planos, formados por acumulação de material, que podem ser de origem aluvial ou fluvial (FLORENZANO, 2008).
Platôs	São áreas mais elevadas da região com extensões variadas e declividades baixas, circundadas normalmente por escarpas e encostas (ZUQUETTE, 1987).
Colinas	São baixas elevações do terreno, com topos arredondados a quase planos e declividades baixas (FLORENZANO, 2008).
Morrotes	Baixas elevações do terreno, com domínio de topos arredondados e declividades altas (FLORENZANO, 2008).
Morros com encostas suavizadas	Médias elevações do terreno, com domínio de topos arredondados e declividades moderadas (FLORENZANO, 2008).
Morros	Médias elevações do terreno, com domínio de topos arredondados e declividades altas (FLORENZANO, 2008).
Serras ou montanhoso	Altas elevações do terreno, com domínio de topos angulares e altas declividades (FLORENZANO, 2008).
Escarpas	São rampas ou degraus de grande inclinação, características de bordas de planaltos (FLORENZANO, 2008).

Quadro 4.1 – Definições das unidades de relevo.

Após serem identificadas, as unidades de terreno foram caracterizadas quanto à sua expressão geográfica, forma dos topos, padrão de drenagem, presença de vales, densidade hidrográfica, conforme os critérios apresentados no Quadro 4.2 e, de acordo com a curvatura vertical e horizontal das encostas (Figura 4.3).

Em campo, foi realizada a caracterização das unidades previamente delimitadas, em relação aos seus perfis de alteração, e outras características peculiares, juntamente com registro. Além disso, em algumas unidades (aquelas que não tinham sido amostradas na fase

de inventário de erosões), foram coletadas amostras deformadas para execução de ensaios de laboratório. Assim foi possível realizar o fechamento dos limites de cada unidade, ou seja, produzir o mapa de *landforms* conclusivo.

Atributo	**Categoria**	**Dimensões ou Descrição**	**Conceito**
Expressão Geográfica	Pequena Média Amplo	< 1 km 1 – 2 km > 2 km	Maior componente de extensão da forma
Topos	Extensos Restritos	> 2 km < 2 km	
Forma do topo	Aplainado Arredondado Anguloso	0 – 5% < 20% >20%	Declividade do topo
Forma dos vales	Abertos Fechados	< 10% > 10%	Declividade das vertentes
Frequência de canais	Baixa Média Alta Muito Alta	< 2/km² 2 a 3/km² 3 a 4,5/km² > 4,5/km²	Número total de canais por km²

Quadro 4.2 – Critérios utilizados para a caracterização das unidades de relevo. Adaptada de IPT (1981) e Lollo (1996).

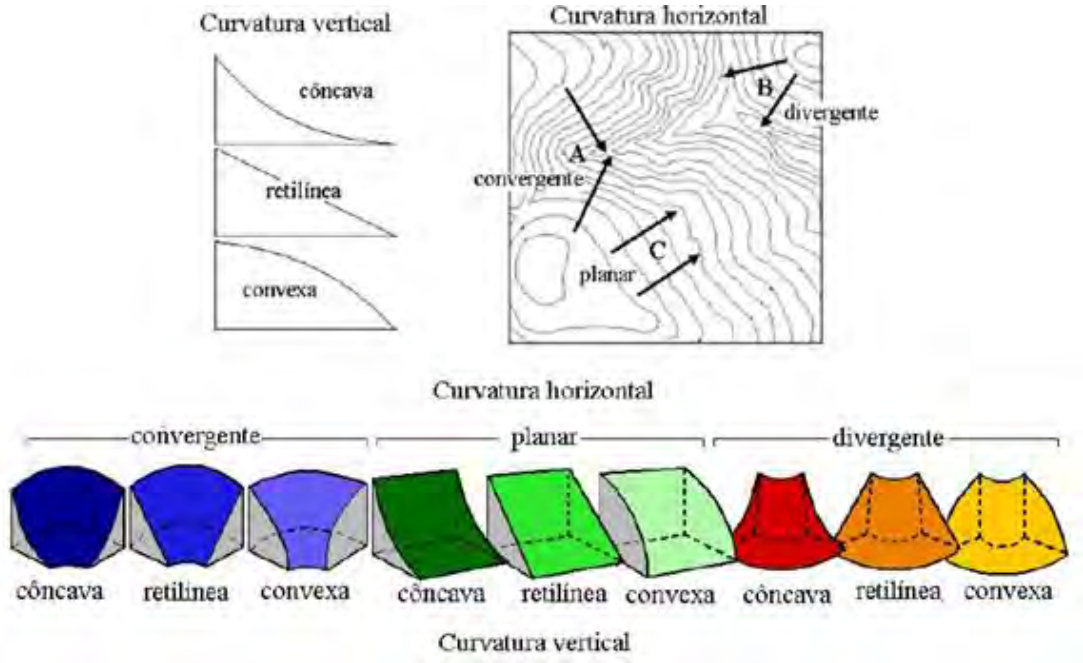


Figura 4.3 – Representação das formas do terreno (INPE, 2008).

4.2.5 Mapa de Materiais Inconsolidados

Nesta pesquisa, considera-se como material inconsolidado todos os materiais geológicos, residuais ou retrabalhados, que sobrepõem o substrato rochoso são ou pouco alterado. Seguindo esta definição, foi possível representar todo o perfil de alteração em um único documento cartográfico.

O mapa de materiais inconsolidados foi elaborado considerando-se os princípios básicos da metodologia de Collares e Lorandi (1995), assim, a partir do mapa de *landforms* associado a trabalhos de campo e ensaios laboratoriais, foram definidos os tipos de materiais inconsolidados e unidades que são associações de tipos, considerando sua distribuição espacial.

Inicialmente, foi feita uma sobreposição do mapa de *landforms* com o mapa de substrato rochoso, assim, pôde-se determinar unidades homogêneas (prévias) e que serviram de base para os levantamentos de campo.

Em campo, foram feitas descrições gerais dos materiais, buscando caracterizar o perfil de alteração, exposto em taludes de corte ou em processos erosivos, quanto à sua textura (por meio da análise táctil-visual), espessura predominante, teor de micas e relação com as formas de relevo. Para a definição do perfil de alteração utilizou-se uma classificação adaptada de

Pastore (1992), conforme apresenta a Figura 4.4. Com base nos perfis típicos de alteração foram definidos os níveis de solo para coletas de amostras e posterior realização de ensaios de Análise Granulométrica Conjunta.

Com base neste perfil de alteração, as denominações e características dos níveis considerados, são descritas a seguir:

- **Solo maduro:** pode ser formado tanto por solo residual, como por solos transportados (exceto aluviões, que constituem uma unidade individualizada), estando sempre afetado por processos de evolução pedológica. Não apresenta características da rocha de origem e possui estrutura macro porosa. Sua constituição granulométrica é muito variável, dependendo da rocha de origem.
- **Solo saprolítico:** é composto por solo residual jovem e apresenta algumas estruturas reliquiares da rocha de origem, podendo conter, em média até 10% de blocos de rocha. Pode apresentar preservadas, algumas estruturas como foliação, fraturas e falhas.

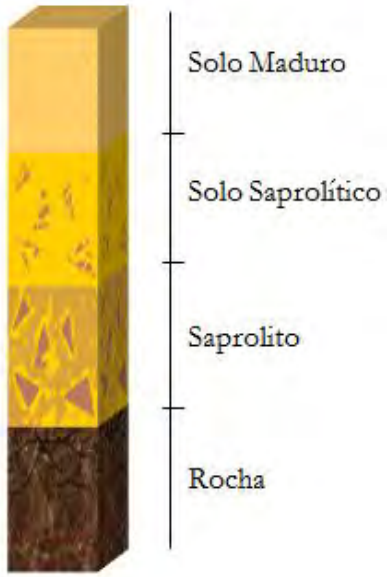


Figura 4.4 – Perfil de alteração esquemático utilizado para caracterização dos materiais inconsolidados.

- **Saprolito:** corresponde a uma transição entre o maciço de solo e o maciço rochoso. Basicamente é constituído por blocos ou camadas de rocha em vários

estágios de alteração, com dimensões variáveis, envolvidos por solo saprolítico. A quantidade de blocos presente neste nível varia de 10 a 90%.

- **Rocha:** inclui tanto níveis onde os minerais já se apresentam alterados pela ação intempérica, sem brilho e com resistência reduzida, como níveis onde não há sinais evidentes de alteração (rocha sã), podendo haver, no entanto, indícios desta ao longo das descontinuidades.

Os perfis de alteração descritos, tanto nesta etapa quanto na etapa de *landforms* (Item 4.2.4) e inventário de feições erosivas (Item 4.2.3), foram analisados e os que apresentavam características semelhantes em termos de espessura e textura dos materiais, posição geográfica e declividade, foram agrupados e possibilitaram a definição de perfis típicos das unidades, bem como a delimitação destas. Para caracterizar os materiais, foram 55 realizados ensaios de Análise Granulométrica Conjunta (ABNT, NBR 7181/84), distribuídos nos diferentes níveis e unidades.

4.2.6 Carta de Suscetibilidade à Erosão

A elaboração desta carta teve por objetivo realizar uma análise dos aspectos do meio físico, quanto à suscetibilidade à erosão, identificando áreas mais ou menos predispostas ao desenvolvimento destes processos.

Conforme os exemplos mostrados na fundamentação teórica (Item 2.4.1.1), existem várias metodologias para se elaborar uma carta de suscetibilidade à erosão. A definição de atributos para elaborar esta carta depende do conhecimento das características da área de estudo.

Neste trabalho foram utilizadas informações referentes ao substrato rochoso, formas do terreno, materiais inconsolidados e declividade. Cada documento cartográfico (tema) utilizado foi analisado de forma individual, para observar a potencialidade de cada um de seus atributos internos (ou classes) em desenvolver processos erosivos, através de comparações pareadas. Posteriormente, os documentos cartográficos também foram analisados em conjunto, ou seja, comparados par a par.

4.2.6.1 Elaboração das matrizes de comparação pareada (AHP)

Para atribuir pesos utilizou-se a técnica de ordenação hierárquica desenvolvida por Saaty (1980), denominada Processo Analítico Hierárquico (AHP). Inicialmente os procedimentos desta técnica foram estruturados em planilhas eletrônicas, através do programa Excel.

Os atributos internos (classes) e os temas foram comparados par a par, segundo a Escala de Fundamental de Saaty (1980), Tabela 4.2, assim foram determinadas as importâncias relativas (pesos) de cada um destes. Sendo que a definição da importância relativa de cada atributo e tema foi feita com base no conhecimento dos autores, nas pesquisas bibliográficas e, também, no conhecimento das condições da área de estudo.

Após a determinação dos valores de importância relativa, foram determinados os autovetores (pesos) de cada um dos atributos e temas. Para calcular os autovetores, as matrizes foram normalizadas, através da divisão de cada elemento pela somatória dos elementos da coluna a que ele pertence e por último fez-se uma média aritmética de cada linha da matriz, obtendo assim os autovetores (pesos).

Tabela 4.2 – Escala de julgamento (SAATY, 1980).

Valores	Importância
1/9	Extremamente menos importante
1/7	Muito menos fortemente importante
1/5	Fortemente menos importante
1/3	Moderadamente menos importante
1	Igualmente importante
3	Moderadamente mais importante
5	Fortemente mais importante
7	Muito mais fortemente importante
9	Extremamente mais importante
2, 4, 6 e 8	Valores intermediários

A última etapa foi analisar a consistência dos pesos obtidos, para isso foi necessário calcular a Razão de Consistência (RC), os pesos definidos são aceitos quando a RC for menor ou igual que 0,10. A Razão de Consistência é dada pela Equação (1):

$$\boldsymbol{R = \frac{IC}{IR}} \qquad \text{Equação (1)}$$

onde,

R = razão de consistência

IR = índice de consistência randômico (Tabela 4.3)

IC = índice de consistência, calculado pela Equação (2)

$$\boldsymbol{IC = (\lambda_{máx} - n) \div (n - 1)} \qquad \text{Equação (2)}$$

onde,

n = número que representa a ordem da matriz

$\lambda_{máx}$= autovalor máximo, dado pela Equação (3)

$$\boldsymbol{\lambda_{máx} = T \times W} \qquad \text{Equação (3)}$$

onde,

T = autovetor normalizado

W = soma das colunas da matriz de comparações para cada atributo.

Tabela 4.3 – Valores de consistência randômica (IR) em função da ordem da matriz (n).

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
IR	0,00	0,00	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51	1,48	1,56	1,57

4.2.6.2 Procedimentos realizados no SIG

A Carta de Suscetibilidade à Erosão foi confeccionada no Sistema de Informação Geográfica ArcGIS, utilizando técnicas de geoprocessamento.

Na tabela de atributos de cada um dos arquivos matriciais (declividade, substrato rochoso, materiais inconsolidados e formas de terreno), foi adicionada uma coluna para entrada de dados numéricos, do tipo *double* e com o nome "PESO_RELATIVO", nesta coluna foram inseridos os pesos obtidos para cada uma das classes destes documentos cartográficos.

Para cruzamento dos documentos cartográficos foi utilizada a ferramenta *Weighted Sum*, do módulo *Overlay*, presente na extensão *Spatial Analyst Tools*, do ArcGIS 10. Capistrano Filho (2011) explica que esta ferramenta possibilita a atribuição de pesos e importância relativa aos arquivos matriciais e a combinação de múltiplos fatores, possibilitando uma análise integrada. Ela multiplica um determinado campo do arquivo matricial de entrada (neste caso o campo foi o "PESO_RELATIVO") pelo peso específico atribuído ao tema. Então, após a multiplicação, ocorre a soma conjunta de cada arquivo matricial de entrada para a formação de um arquivo matricial de saída.

Após a obtenção da carta de suscetibilidade à erosão gerada (em formato matricial), foi necessário realizar o fatiamento. Para isso foram testados os métodos de classificação: do desvio padrão, intervalos geométricos e quebras naturais (Jenks). Sendo que o método utilizado foi o de quebras naturais (Jenks), pois este retratou melhor a realidade da área. Este método identifica as diferenças relativamente grandes (pontos de quebra) entre as classes de uma população de dados, usando uma fórmula estatística baseada na variabilidade (otimização Jenk), basicamente ele minimiza a soma da variância dentro de cada uma das classes, encontrando assim, os agrupamentos e padrões inerentes à população de dados analisada (RODRIGUES, 2008).

Para verificar se carta de suscetibilidade à erosão produzida representa o comportamento do meio físico frente à potencialidade de desenvolvimento de processos erosivos, foi feita uma validação através da tabulação entre os dados do inventário de processos erosivos e da referida carta produzida.

Capítulo 5: RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este capítulo apresenta e discute os resultados obtidos. Todos os documentos cartográficos produzidos são compatíveis com a escala de 1:100.000. A bacia hidrográfica do médio Rio Grande (MG) perfaz 9794,12 km², sendo que 297,15 km² correspondem à área das represas de Peixoto e Estreito, portanto as análises percentuais foram executadas sem levar em consideração a área das represas, logo, foi considerada como a área total 9496,98 km².

5.1 MAPA DE DOCUMENTAÇÃO

O Mapa de Documentação é um produto cartográfico auxiliar para apresentar todas as informações levantadas ao longo do desenvolvimento desta pesquisa, tais como pontos de cabeceira de processos erosivos lineares, locais visitados para registro fotográfico de *landforms* e descrição de perfis de alteração, pontos de coleta de amostras deformadas, localização dos municípios, dentre outros. O Apêndice A apresenta este documento cartográfico.

5.2 MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO E CARTA DE DECLIVIDADES

O Modelo Digital de Elevação Hidologicamente Consistente gerado mostrou-se satisfatório, o que pode ser comprovado através da Figura 5.1, que apresenta a validação qualitativa, realizada a partir da geração de curvas de nível com metade do intervalo das curvas originais.

Conforme mostra a Figura 5.2 e a Tabela 5.1, há o predomínio de altitudes menores que 800 metros, ao passo que altitudes maiores que 1200 metros, representam apenas 5,98% da área total (sem considerar a área da represa).

A Figura 5.3 apresenta o MDEHC da área de estudo sobreposto ao Modelo Digital do Terreno Sombreado. No Apêndice B é possível observar este produto cartográfico em uma escala maior. A área de estudo apresenta valores altimétricos que vão de 613 a 1485 metros. As maiores altitudes concentram-se na porção que vai de leste a noroeste da área de estudo. As cores utilizadas foram definidas conforme padrão internacional, no qual se tem a noção de

incremento de relevo: tons de verde para as áreas mais baixas, passando para os tons de amarelo, laranja e vermelho, à medida que vai havendo um aumento nos valores altimétricos.

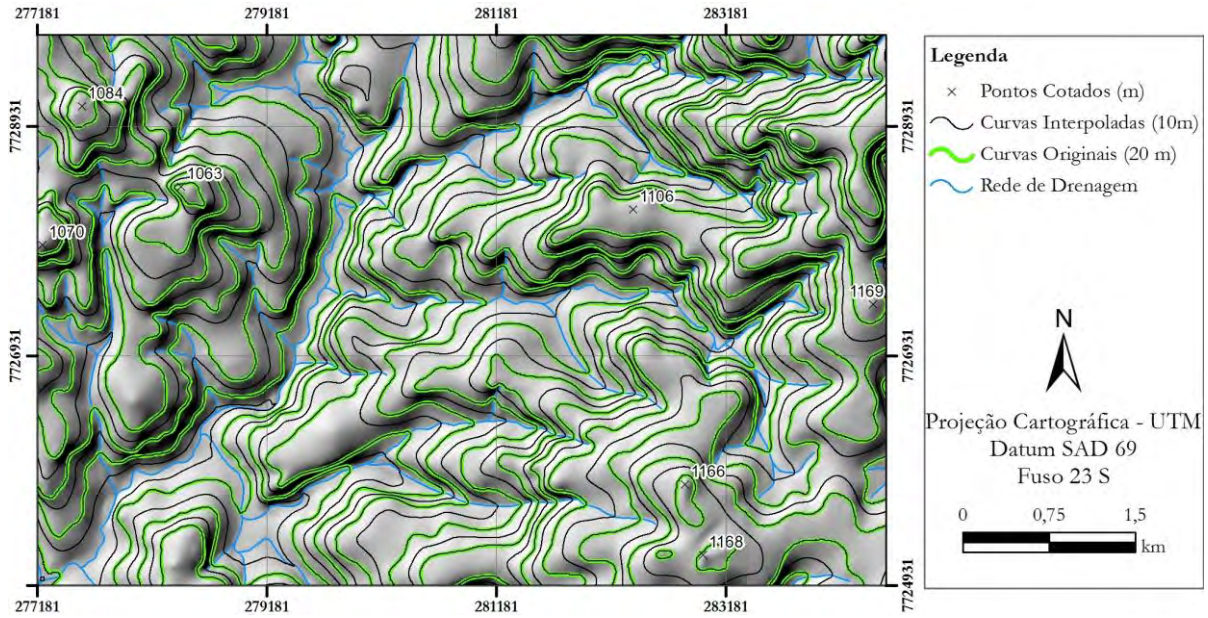


Figura 5.1 – Ilustração representando a validação qualitativa do MDT de uma parte da área de estudo.

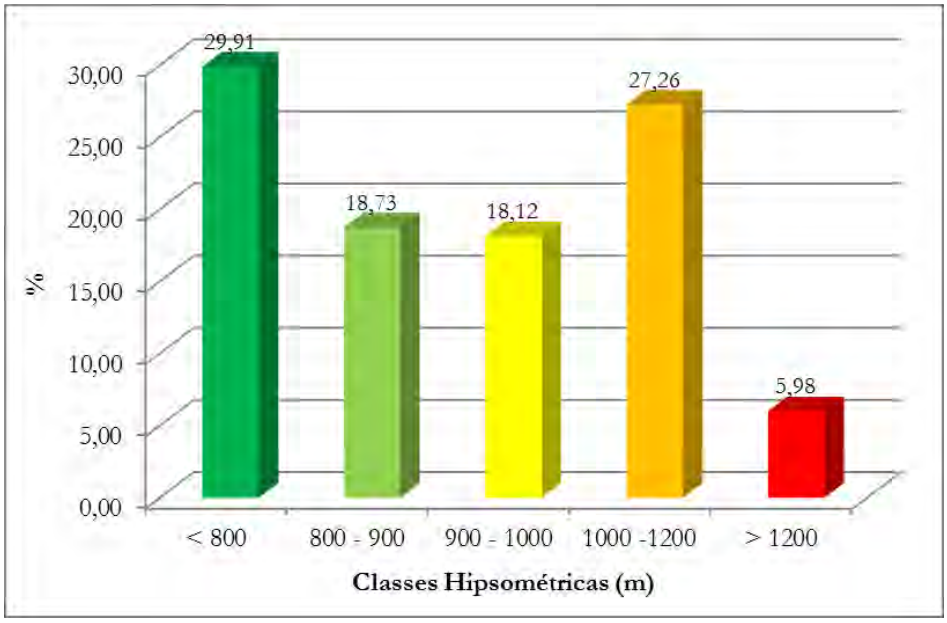


Figura 5.2 – Percentual de ocorrência das classes hipsométricas na área de estudo.

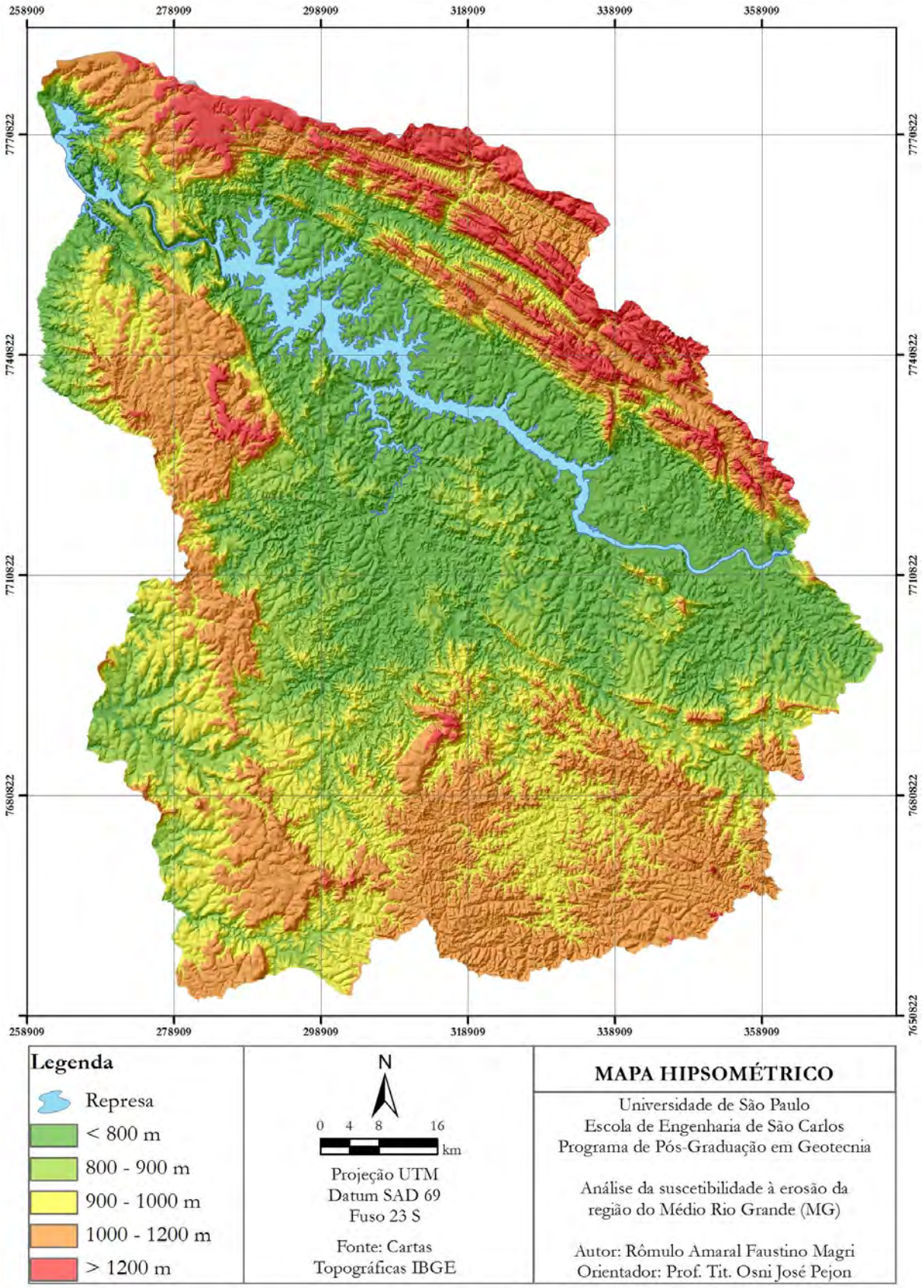


Figura 5.3 – Mapa Hipsométrico sobreposto ao Modelo Digital do Terreno Sombreado.

Tabela 5.1 – Distribuição das classes hipsométricas na área de estudo.

Classes Hipsométricas	%	Área (km²)
< 800	29,91	2840,56
800 - 900	18,73	1778,82
900 - 1000	18,12	1720,71
1000 -1200	27,26	2588,74
> 1200	5,98	568,14

Na Figura 5.4 e na Tabela 5.2 pode ser observada a distribuição das classes de declividade. Observa-se o predomínio da classe de declividades de 10 a 20%, que correspondem a 30,44% da área total (sem levar em consideração a área da represa), ao passo que as declividades maiores que 45% perfazem apenas 3,11% da área total, e concentram-se na porção nordeste e noroeste da área, onde estão localizados os relevos de serra e escarpas. A Figura 5.5 e o Apêndice C apresentam a carta de declividades obtida.

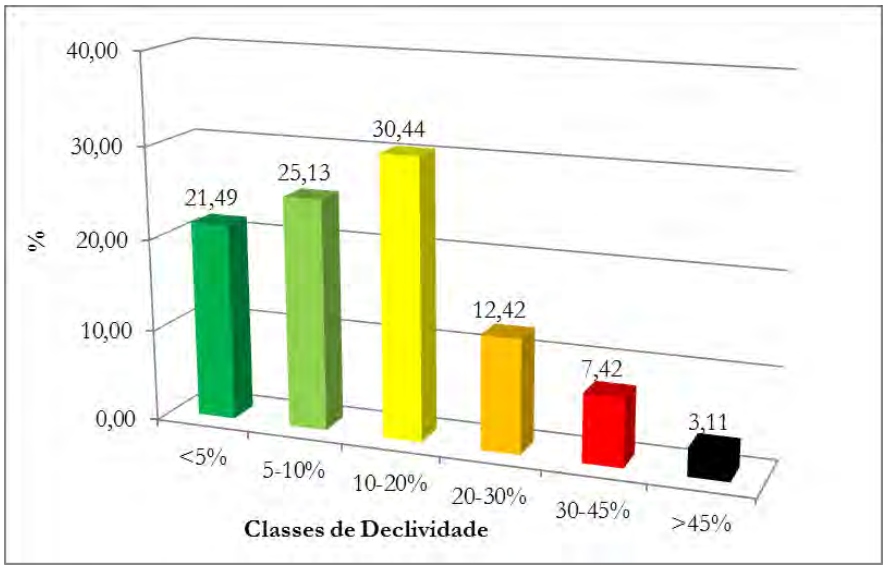


Figura 5.4 – Percentual de ocorrência das classes de declividade na área de estudo.

Tabela 5.2 – Distribuição das classes de declividade na área de estudo.

Classes de Declividade	%	Área (km²)
<5%	21,49	2040,61
5-10%	25,13	2386,13
10-20%	30,44	2890,65
20-30%	12,42	1179,48
30-45%	7,42	704,79
>45%	3,11	295,32

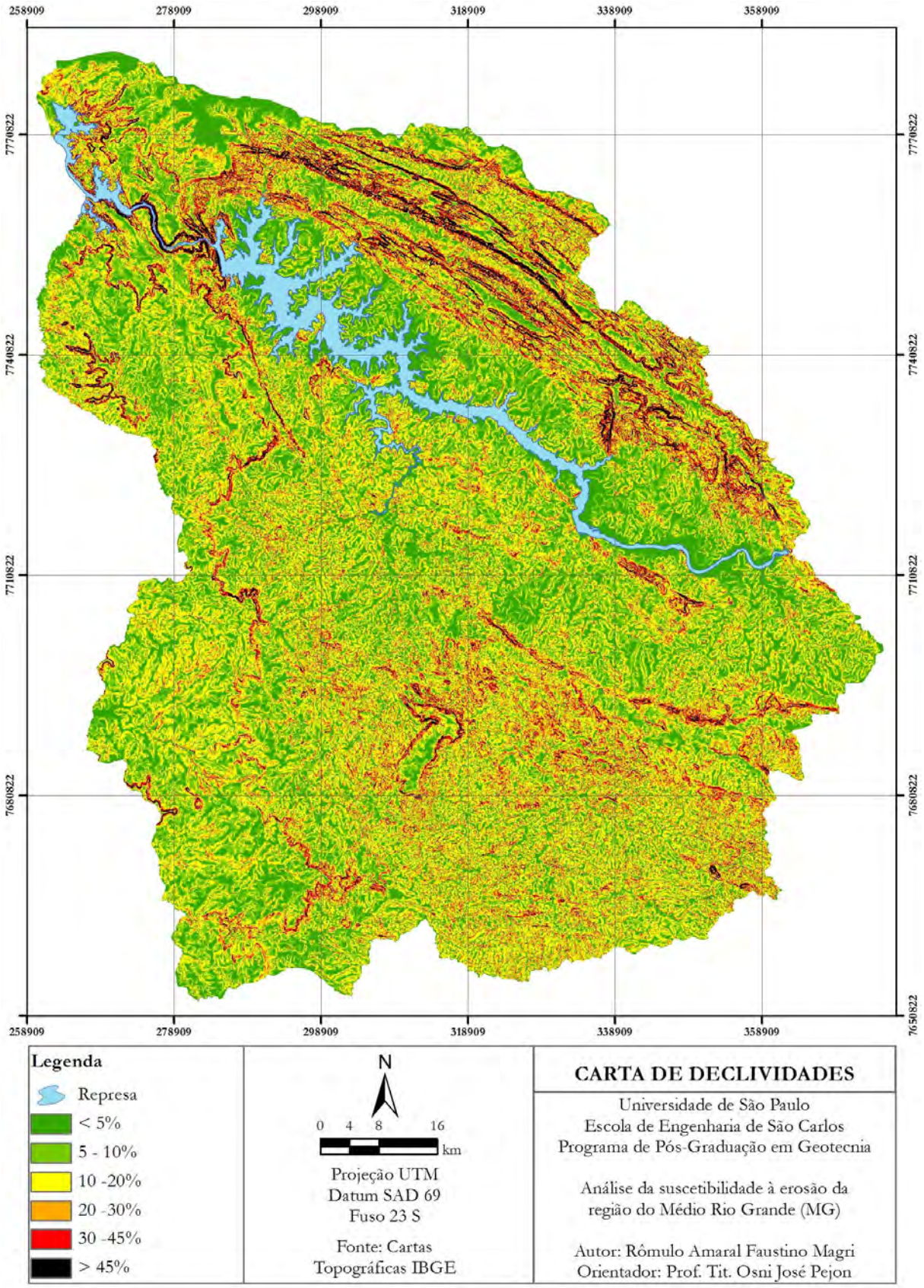


Figura 5.5 – Carta de Declividades.

5.3 MAPA DE *LANDFORMS*

O método de compartimentação do relevo utilizando imagens de satélite, carta de declividade, e dados topográficos mostrou-se eficiente, pois permitiu identificar com facilidade as diferentes unidades. Considerando os critérios mostrados na Tabela 4.1, foram reconhecidos nove tipos de relevo, a saber: planícies, colinas, morrotes, morros, morros com encostas suavizadas, escarpas, serras e vales. Na Figura 5.6 é possível observar a distribuição percentual dos tipos de relevo que ocorrem na área de estudo (sem considerar a área da represa), as áreas não mapeadas correspondem a uma cava de mineração em Itaú e a hidrelétrica (barragem e casa de força) de Furnas.

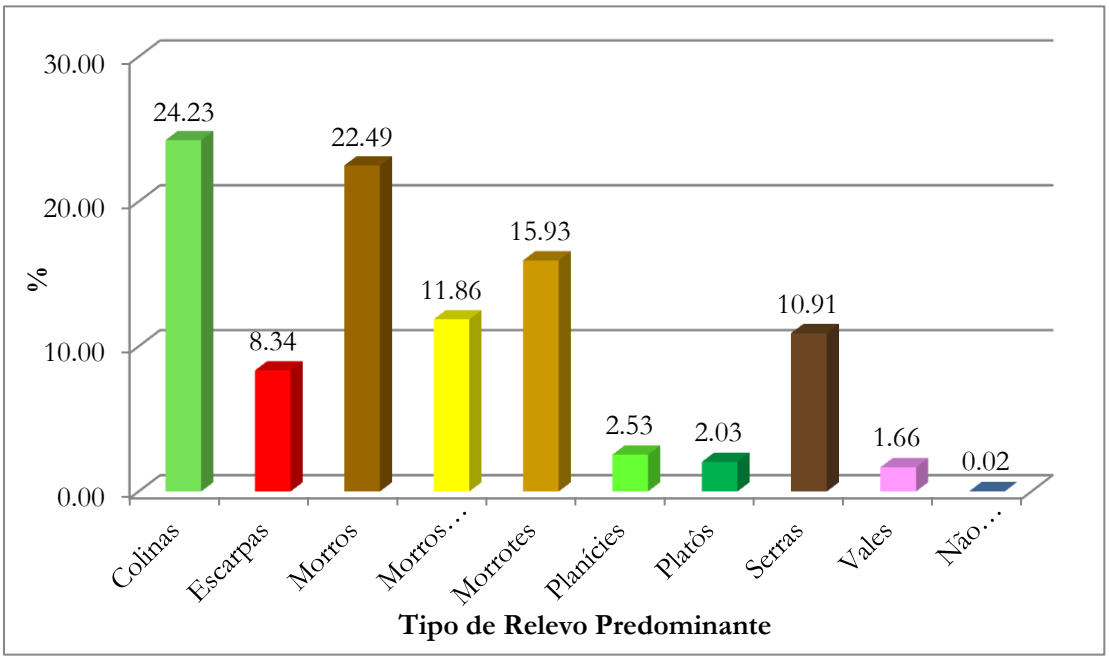


Figura 5.6 – Percentual de ocorrência dos tipos de relevo na área de estudo.

Nota-se que os relevos com declividades menores que 15% correspondem a pelo menos 40% da área, sendo que as colinas representam 24,23%, os morros com encostas suavizadas 11,86%, as planícies 2,53% e os platôs perfazem 2,03% da área total. Em relação aos relevos com predominância de declividades maiores que 15%, os morros representam 22,49%, seguido pelos morrotes (15,93%), serras (10,91%) e por último as escarpas que abrangem 8,34% da área. A Figura 5.7 apresenta o Mapa de *Landforms*, indicando os tipos de relevo predominantes.

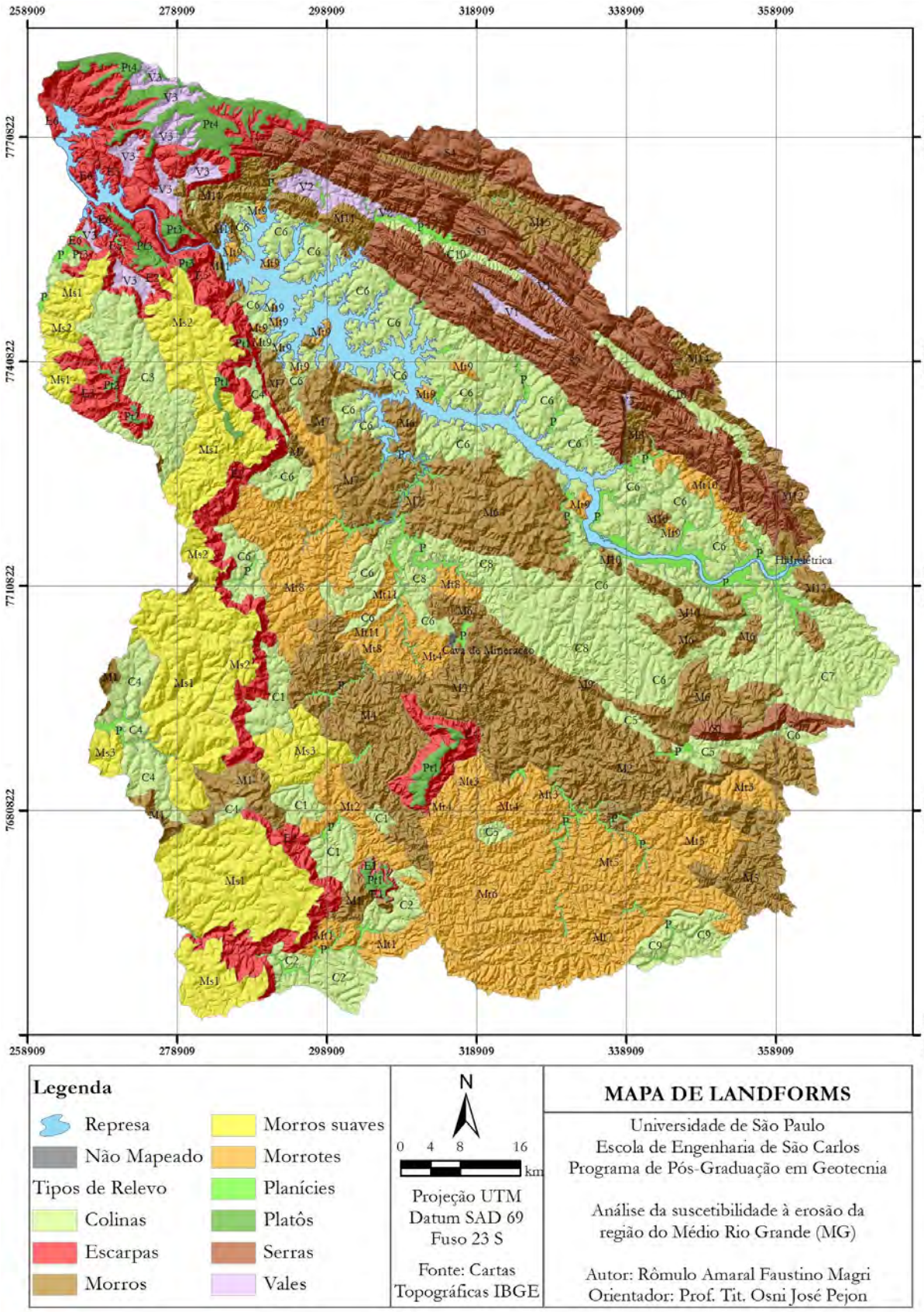


Figura 5.7 – Mapa de *landforms* sobreposto ao Modelo Digital do Terreno Sombreado.

Os nove tipos de relevo identificados foram subdivididos conforme os critérios apresentados no Quadro 4.2. As áreas homogêneas foram delimitadas e, em seguida, caracterizadas através de ferramentas de geoprocessamento e trabalhos de campo. Assim, foram encontradas na área de estudo, cinquenta e seis unidades de *landforms* distintas, que são descritas a seguir. Em relação à curvatura horizontal e vertical, a Tabela 5.3 apresenta o percentual de ocorrência de cada tipo de encostas nas unidades de *landforms*.

Na Tabela 5.4 é possível observar dados quantitativos referentes às cinquenta e seis unidades de *landforms* mapeadas. O mapa de *landforms* foi bastante útil na definição de pontos de amostragem em campo, tornando esta etapa mais ágil e menos onerosa e assim, também pôde ser utilizado na definição e delimitação das unidades de materiais inconsolidados. Este mapa, em uma escala maior, é apresentado no Apêndice D.

Tabela 5.3 – Distribuição percentual dos tipos de encostas nas unidades de *landforms*. (continua)

	Unidade de *landforms*	Convergente Côncava	Convergente Retilínea	Convergente Convexa	Planar Côncava	Planar Retilínea	Planar Convexa	Divergente Côncava	Divergente Retilínea	Divergente Convexa
Colinas	C1	17,73	15,53	2,22	4,48	12,58	2,70	4,61	27,19	12,96
	C2	17,65	13,99	2,83	4,18	11,73	3,45	3,87	26,92	15,37
	C3	16,54	18,16	1,90	3,56	13,01	1,90	3,51	29,23	12,20
	C4	11,29	20,29	0,98	2,69	18,38	1,33	2,46	35,60	6,99
	C5	19,99	15,12	2,91	5,37	10,55	2,28	5,35	23,56	14,88
	C6	12,60	20,12	1,81	3,11	15,22	1,77	3,26	31,32	10,79
	C7	15,30	18,87	2,59	3,48	13,12	2,40	3,55	26,41	14,29
	C8	17,59	17,00	2,80	3,78	11,11	2,39	3,89	25,94	15,50
	C9	19,11	8,24	4,95	5,64	9,89	4,65	5,32	23,65	18,56
	C10	19,83	16,91	1,66	6,25	11,83	1,38	5,69	26,07	10,38
Escarpas	E1	26,59	7,56	8,84	9,17	3,93	8,29	11,04	6,04	18,54
	E2	21,27	8,24	6,29	9,68	6,90	7,13	9,05	12,47	18,95
	E3	23,77	10,07	6,62	8,85	6,35	5,57	10,69	11,05	17,03
	E4	23,72	8,00	6,14	9,38	5,85	7,90	9,69	9,98	19,35
	E5	19,01	9,11	6,16	9,63	7,87	9,36	8,07	12,09	18,71
	E6	18,29	10,16	4,76	7,20	7,27	9,00	8,76	12,69	21,86
Morros	M1	17,78	11,08	5,07	8,04	10,11	5,68	9,01	17,06	16,19
	M2	24,81	8,35	4,21	8,49	5,95	4,35	8,41	12,78	22,67
	M3	25,69	7,80	3,73	9,53	5,29	4,01	10,61	11,15	22,21
	M4	24,75	10,24	4,14	6,27	6,52	3,64	6,96	14,94	22,54
	M5	29,40	4,32	4,87	8,14	3,29	4,41	9,42	8,50	27,65
	M6	19,21	15,01	2,87	5,76	10,25	2,82	6,24	20,46	17,38
	M7	17,77	14,35	2,99	6,24	9,83	3,22	6,89	20,50	18,22

Tabela 5.3. – Distribuição percentual dos tipos de encostas nas unidades de landforms. (continuação)

	Unidade de *landforms*	Convergente Côncava	Convergente Retilínea	Convergente Convexa	Planar Côncava	Planar Retilínea	Planar Convexa	Divergente Côncava	Divergente Retilínea	Divergente Convexa
Morros	M8	28,69	7,14	4,54	7,94	4,43	4,58	9,54	8,27	24,86
	M9	22,87	8,82	3,14	12,65	7,12	4,64	10,57	11,92	18,27
	M10	19,65	7,58	3,61	13,13	7,25	4,60	10,86	13,54	19,78
	M11	26,33	4,90	4,18	12,32	4,97	5,77	10,68	7,54	23,32
	M12	16,54	12,81	3,43	6,78	15,39	7,06	3,70	18,79	15,50
	M13	29,33	6,84	3,43	7,15	4,95	3,22	8,65	12,93	23,51
	M14	25,27	6,04	5,33	10,71	3,84	7,32	10,02	7,21	24,25
Morros Suaves	Ms1	14,40	17,90	2,35	3,57	14,90	2,74	3,10	29,28	11,75
	Ms2	13,69	17,99	2,85	2,82	15,08	2,86	2,58	29,09	13,04
	Ms3	15,94	14,84	2,87	3,91	13,77	2,97	4,01	29,36	12,33
Morrotes	Mt1	21,60	11,98	3,63	4,94	7,73	3,09	6,48	20,12	20,44
	Mt2	22,15	11,52	3,51	5,63	7,74	3,65	6,13	19,12	20,55
	Mt3	24,59	10,64	3,45	6,09	7,35	2,86	6,53	17,37	21,12
	Mt4	26,49	9,44	4,53	6,33	5,61	3,47	7,08	12,99	24,05
	Mt5	26,97	6,86	4,77	6,06	5,60	3,62	6,80	13,87	25,45
	Mt6	27,86	6,68	4,28	6,64	4,75	3,28	8,29	13,20	25,02
	Mt7	26,37	5,88	5,15	6,55	5,06	4,23	7,27	13,25	26,25
	Mt8	20,11	14,53	3,21	4,50	9,74	2,85	5,28	20,80	18,97
	Mt9	13,02	13,78	2,34	7,19	8,64	2,71	9,84	22,89	19,60
	Mt10	23,69	11,46	3,60	7,03	7,52	2,78	8,56	15,48	19,89
	Mt11	21,94	13,69	3,92	5,35	7,89	3,86	7,04	15,75	20,56

Tabela 5.3. – Distribuição percentual dos tipos de encostas nas unidades de landforms. (conclusão)

	Unidade de *landforms*	Convergente Côncava	Convergente Retilínea	Convergente Convexa	Planar Côncava	Planar Retilínea	Planar Convexa	Divergente Côncava	Divergente Retilínea	Divergente Convexa
Platôs	Pt1	5,57	17,78	4,34	1,00	15,68	4,25	0,93	34,22	16,23
	Pt2	2,16	11,10	8,66	0,33	8,31	8,92	0,34	21,91	38,27
	Pt3	6,04	18,57	2,91	1,80	19,13	4,09	1,16	33,93	12,36
	Pt4	4,06	20,10	3,86	1,64	16,42	5,05	1,23	37,49	10,16
Serras	S1	23,17	5,67	3,90	12,50	6,86	7,39	9,44	9,53	21,55
	S2	23,27	7,13	5,33	11,85	5,50	7,88	9,21	8,19	21,66
	S3	21,93	5,27	6,13	11,15	4,21	11,57	7,60	7,86	24,26
	S4	17,05	13,93	4,41	6,83	11,17	7,63	4,68	18,00	16,30
Vales	V1	20,98	20,74	0,52	10,39	14,06	0,80	7,13	20,53	4,85
	V2	21,20	15,33	2,02	5,37	9,95	2,26	4,86	25,18	13,83
	V3	17,83	18,20	2,13	4,85	14,48	3,28	3,45	26,97	8,80

Tabela 5.4 – Distribuição das Unidades de *Landforms* na área de estudo. (continua)

Tipo de Relevo Predominante	Unidade de *Landforms*	Área (km²)	%
Colinas	C1	116,51	1,23
	C2	109,59	1,15
	C3	161,34	1,70
	C4	127,14	1,34
	C5	54,90	0,58
	C6	1136,54	11,97
	C7	266,99	2,81
	C8	204,81	2,16
	C9	63,01	0,66
	C10	60,70	0,64
Escarpas	E1	7,43	0,08
	E2	282,05	2,97
	E3	70,08	0,74
	E4	66,23	0,70
	E5	334,32	3,52
	E6	31,64	0,33
Morros	M1	111,16	1,17
	M2	456,29	4,80
	M3	105,20	1,11
	M4	262,25	2,76
	M5	81,54	0,86
	M6	444,37	4,68
	M7	197,87	2,08
	M8	20,80	0,22
	M9	55,00	0,58
	M10	46,92	0,49
	M11	131,13	1,38
	M12	68,30	0,72
	M13	103,39	1,09
	M14	51,35	0,54
Morros suaves	Ms1	847,03	8,92
	Ms2	175,50	1,85
	Ms3	103,77	1,09
Morrotes	Mt1	57,42	0,60
	Mt2	76,51	0,81
	Mt3	88,84	0,94
	Mt4	106,69	1,12
	Mt5	185,76	1,96
	Mt6	300,36	3,16
	Mt7	266,93	2,81
	Mt8	319,18	3,36
	Mt9	44,04	0,46

Tabela 5.4 – Distribuição das Unidades de *Landforms* na área de estudo. (conclusão)

Tipo de Relevo Predominante	Unidade de *Landforms*	Área (km²)	%
Morrotes	Mt10	36,58	0,39
	Mt11	30,56	0,32
Planícies	P	240,41	2,53
Platôs	Pt1	42,35	0,45
	Pt2	5,98	0,06
	Pt3	30,03	0,32
	Pt4	114,70	1,21
Serras	S1	51,47	0,54
	S2	489,56	5,15
	S3	347,29	3,66
	S4	147,48	1,55
Vales	V1	18,60	0,20
	V2	38,68	0,41
	V3	100,72	1,06
Não Mapeado	-	1,68	0,02
Área Total		9496,98	100,00

5.3.1 Descrição das Unidades de *Landforms*

Neste item apresenta-se a descrição de cada uma das 56 unidades de *landforms* mapeadas.

5.3.1.1 Colinas

Unidade C1

Esta unidade caracteriza-se por apresentar colinas pequenas e médias, com topos aplainados, associadas a vales fechados (Figura 5.8). Apresenta baixa frequência de canais de drenagem. As declividades predominantes são baixas, no entanto, ocorrem encostas com declividades superiores a 15%. O substrato rochoso associado a estas formas é constituído por arenitos, conglomerados, folhelhos e siltitos da Formação Aquidauna.

Figura 5.8 – Colinas, Unidade de *landforms* C1. Ponto 14.

Unidade C2

Corresponde a um relevo de colinas médias com topos aplainados, associadas a vales que variam entre abertos e fechados (Figura 5.9). Apresentam baixa frequência de canais de drenagem. Os vales são constituídos por coberturas aluvionares recentes. As colinas são predominantemente sustentadas por arenitos (Figura 5.10 e 5.11), conglomerados, folhelhos e siltitos da Formação Aquidauana.

Figura 5.9 – Colinas, Unidade de *landforms* C2. Ponto 171.

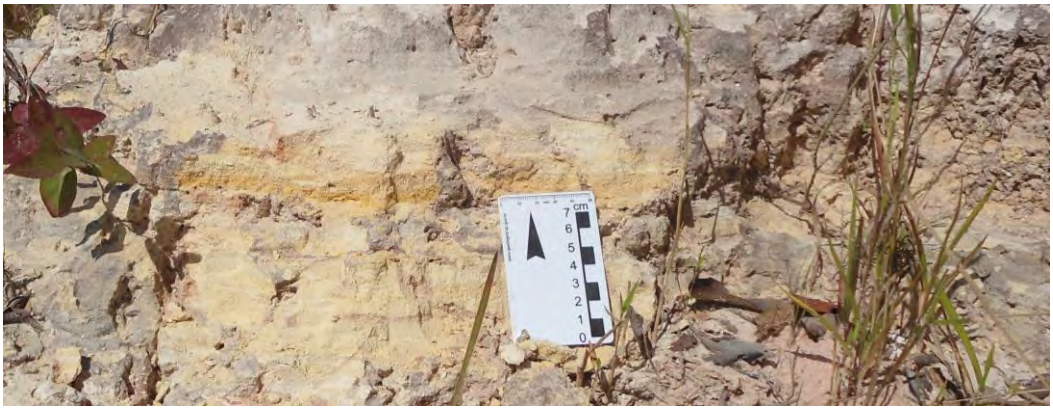


Figura 5.10 – Arenito com matriz silto-argilosa e presença de muscovita. Ponto 4.

Figura 5.11 – Afloramento de arenito com estratificação cruzada. Ponto 4.

Unidade C3

Corresponde a um relevo de colinas amplas com topos aplainados e amplitudes altimétricas em torno de 85 metros (Figura 5.12). Apresenta baixa frequência de canais de drenagem e vales abertos. Esta unidade ocorre em uma região de contato entre arenitos da Formação Botucatu e basaltos e diabásios da Formação Serra Geral, assim, as colinas são sustentadas por estes dois tipos de substrato rochoso.

Figura 5.12 – Colinas sustentadas por arenitos, Unidade de *landforms* C3. Ponto 219.

Unidade C4

Esta unidade apresenta as mesmas características da Unidade C3, no entanto difere-se por apresentar alguns morrotes isolados entre si e, por ser predominantemente sustentada por arenitos. A Figura 5.13 mostra o relevo típico desta unidade.

Figura 5.13 – Colinas da Unidade de *landforms* C4 em primeiro plano e M1 ao fundo. Ponto 196.

Unidade C5

Esta unidade compreende um relevo de colinas amplas com topos aplainados (Figura 5.14). Apresenta vales fechados e baixa frequência de canais de drenagem. Localmente ocorrem morrotes isolados. Gnaisses e rochas ultramáficas do Complexo Barbacena constituem o substrato rochoso associado a estas formas.

Figura 5.14 – Unidade de *landforms* C5. Ponto 81.

Unidade C6

Esta unidade caracteriza-se por apresentar colinas médias e amplas com topos aplainados ou arredondados (Figura 5.15). Apresenta baixa frequência de canais de drenagem e vales abertos. Localmente ocorrem morrotes isolados (Figura 5.16). O substrato rochoso associado a estas formas é constituído por gnaisses e mica-xistos do Grupo Araxá, localmente ocorrem xistos com intercalações de quartzito.

Figura 5.15 – Colinas (em 1º plano) interceptadas por vales abertos, unidade de *landforms* C6. Ponto 108.

Figura 5.16 – Morrote isolado da unidade de *landforms* C6. Ponto 45.

Unidade C7

Caracteriza-se por apresentar colinas amplas com topos aplainados (Figura 5.17). Apresenta baixa frequência de canais de drenagem e extensos vales que se alternam entre abertos e fechados. Em campo, foram observados pequenos focos de processos erosivos. Mica-xistos com intercalações ocasionais de quartzitos do Grupo Araxá constituem o substrato rochoso associado a estas formas.

Figura 5.17 – Colinas, Unidade de *landforms* C7. Ponto 25.

Unidade C8

Corresponde a um relevo de colinas médias associadas a morrotes pequenos com amplitudes altimétricas entre 60 a 100 m, ambas as formas exibem topos aplainados (Figura 5.18). Possui alta frequência de canais de drenagem e vales que variam entre abertos e fechados. O substrato rochoso que sustenta estas formas é constituído por gnaisses e mica-xistos do Grupo Araxá.

Figura 5.18 – Unidade de *landforms* C8. Ponto156.

Unidade C9

Corresponde a um relevo de colinas amplas com topos aplainados (Figura 5.19). Apresenta vales abertos com planícies aluvionares desenvolvidas. A frequência de canais de drenagem é baixa. Coberturas aluvionares recentes estão associadas a estas formas, logo, o substrato rochoso não pôde ser determinado.

Figura 5.19 – Colinas da Unidade de *landforms* C9. Ponto 68.

Unidade C10

Esta unidade está localizada entre serras com elevadas amplitudes altimétricas. Corresponde a uma associação entre vales com encostas suaves e profundidades rasas, colinas amplas e morrotes (Figura 5.20). Apresenta baixa frequência de canais de drenagem. O substrato rochoso associado é composto por xistos do Grupo Araxá e milonitos do Grupo Canastra.

Figura 5.20 – Vales abertos e colinas da unidade de *landforms* C10, ao fundo S2. Ponto 144.

5.3.1.2 Escarpas

Unidade E1

Constitui um relevo de escarpas com comprimentos em torno de 100 metros (Figura 5.21). Apresenta vales fechados e baixa frequência de canais de drenagem. O substrato rochoso que sustenta estas formas é composto por arenitos da Formação Aquidauana.

Figura 5.21 – Escarpas, unidade de *landforms* E1. Ponto 178.

Unidade E2

Esta unidade corresponde a um relevo de escarpas (Figura 5.22), e representa a região da frente das "cuestas" da Bacia do Paraná, as quais se desenvolveram no contato entre o arenito e derrames basálticos. Há predominância de altas declividades (acima de 20%) e baixa frequência de canais de drenagem. A amplitude altimétrica destas formas varia de 170 a 300 metros.

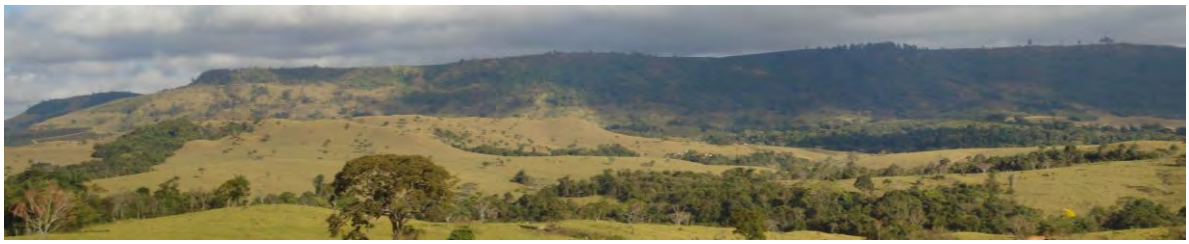


Figura 5.22 – Escapas, unidade de *landforms* E2. Ponto 212.

Unidade E3

Esta unidade configura um relevo de escarpas com predomínio de altas declividades (maiores que 30%) e vales encaixados (Figura 5.23). A amplitude altimétrica destas formas é superior a 200 metros e a frequência de canais de drenagem é alta. Representam o substrato rochoso associado mica-xistos com quartiztos intercalados do Grupo Canastra e arenitos e basaltos e diabásios da Bacia do Paraná. Esta variação litológica ocorre, pois a unidade localiza-se na região de borda da Bacia Sedimentar do Paraná e rochas metamórficas.

Figura 5.23 – Escarpas da unidade de *landforms* E3. Ponto 220.

Unidade E4

Esta unidade caracteriza-se por apresentar um relevo predominantemente escarpado com declividades elevadas (Figura 5.24). As escarpas possuem amplitude altimétrica média de 280 metros. Observa-se, na imagem de satélite, um sombreamento acentuado e quebras de relevo. A frequência de canais de drenagem é média, sendo que grande parte dos canais que ocorrem nas escarpas são de primeira ordem e observam-se também alguns canais intermitentes. Estas formas de relevo são sustentadas por quartzitos com intercalações de mica-xisto do Grupo Araxá (Figura 5.25).

Figura 5.24 – Escarpas, unidade de *landforms* E4. Ponto 86.

Figura 5.25 – Afloramento de quartzito intercalado com mica-xisto. Ponto 83.

Unidade E5

Trata-se de um relevo constituído por escarpas com altas declividades e comprimentos superiores a 200 metros (Figura 5.26). A frequência de canais de drenagem é alta e, predominantemente, representada por canais de primeira ordem. Exibem vales encaixados. Estas formas são, predominantemente, sustentadas por mica-xistos e quartzitos do Grupo Canastra, localmente ocorrem arenitos da Formação Botucatu, pois assim como a Unidade 3, esta unidade localiza-se na região de contato entre as rochas metamórficas e a Bacia Sedimentar do Paraná.

Figura 5.26 – Escarpas sustentadas por quartzitos, unidade de *landforms* E5. Ponto 244

Unidade E6

Caracteriza-se por apresentar um relevo de morros associados a escarpas abruptas (Figura 5.27). Predominam nas encostas, declividades maiores que 30%. Estas formas apresentam amplitudes altimétricas em torno de 150 metros e uma frequência de canais de drenagem muito alta. Quartzitos do Grupo Canastra representam o substrato rochoso que sustenta estas formas.

Figura 5.27 – Unidade de *landforms* E6. Ponto 237.

5.3.1.3 Morros

Unidade M1

Esta unidade é constituída por um relevo de morros amplos com topos angulosos (Figura 5.13). Apresenta baixa frequência de canais de drenagem, vales fechados e altas declividades nas encostas. O substrato rochoso associado a estas formas corresponde a regiões de contato entre arenitos e basaltos e diabásios da Formação Serra Geral.

Unidade M2

Esta unidade caracteriza-se por apresentar morros amplos com topos extensos e arredondados (Figura 5.28). Apresenta alta frequência de canais de drenagem. A amplitude altimétrica destes morros varia de 140 m, nas suas extremidades, até 250 m, nas suas porções centrais. Nas encostas, predominam declividades maiores que 20%. Há uma grande densidade de vales fechados. O substrato rochoso associado é constituído por gnaisses (Figura 5.29) e rochas ultramáficas do Complexo Barbacena.

Figura 5.28 – Unidade de *landforms* M2. Ponto 52.

Figura 5.29 – Amostra de gnaisse encontrada na Unidade M2. Ponto 53.

Unidade M3

Esta unidade caracteriza-se por um relevo de morros médios com amplitudes altimétricas em torno de 250 m (Figura 5.30). Exibem topos angulosos e restritos. Apresenta alta frequência de canais de drenagem e vales fechados. Gnaisses e rochas ultramáficas do Complexo Barbacena constituem o substrato rochoso associado a estas formas.

Figura 5.30 – Unidade de *landforms* M3. Ponto: 88.

Unidade M4

Caracteriza-se por apresentar um relevo de morros associados a morrotes (Figura 5.31). Estas formas apresentam expressão geográfica média, exibem topos angulosos e as amplitudes altimétricas variam entre 80 e 140 metros. A frequência de canais de drenagem é média. O substrato rochoso é constituído por mica-xistos e gnaisses do Grupo Araxá.

Figura 5.31 – Unidade de *landforms* M4. Ponto: 185.

Unidade M5

Corresponde a um relevo de morros e morrotes pequenos associados (Figura 5.32). Os topos variam de arredondados a angulosos. Possui alta frequência de canais de drenagem e vales fechados. O substrato rochoso que sustenta estas formas é composto por gnaisses e rochas ultramáficas do Grupo Araxá.

Figura 5.32 – Unidade de *landforms* M5. Ponto: 63.

Unidade M6

Trata-se de um relevo de morros associados a morros com encostas suavizadas (Figura 5.33). A amplitude altimétrica destas formas é em torno de 140 metros. Os morros com encostas íngremes (declividades superiores a 15%) apresentam topos angulosos e restritos, ao passo que nos morros com encostas suavizadas os topos arredondados e restritos. A frequência de canais de drenagem é baixa. Exibe vales que se alternam entre abertos e fechados. Gnaisses e mica-xistos com intercalações ocasionais de quartzito do Grupo Araxá, constituem o substrato rochoso associado a estas formas.

Figura 5.33 – Unidade de *landforms* M6. Ponto: 39.

Unidade M7

Corresponde a um relevo de morros médios com topos aplainados e restritos, com amplitude altimétrica média de 120m (Figura 5.34). Apresenta vales fechados e baixa frequência de canais de drenagem. O substrato associado é composto por mica-xistos com intercalações de quartzitos e gnaisses.

Figura 5.34 – Unidade de *landforms* M7. Ponto 198:

Unidade M8

Esta unidade corresponde a um relevo de morros pequenos com topos angulosos e restritos (Figura 5.35). As amplitudes altimétricas médias são em torno de 130 m. Apresentam frequência alta de canais de drenagem e vales fechados. Em campo, foram observados focos de processos erosivos (sulcos e ravinas), causados por trilhas de gado, nas bases dos morros. O substrato rochoso é composto, em pelo menos 70%, por gnaisses com intercalações de xisto, quartzito e anfibolito.

Figura 5.35 – Unidade de *landforms* M8. Ponto: 97.

Unidade M9

Corresponde a um relevo de morros médios, alinhados na direção NW-SE, com amplitude altimétrica entre 180 e 240 metros (Figura 5.36). Estes morros apresentam topos angulosos e extensos. A frequência de canais de drenagem é baixa. Sustentam estas formas quartzitos e xistos intercalados com quartiztos.

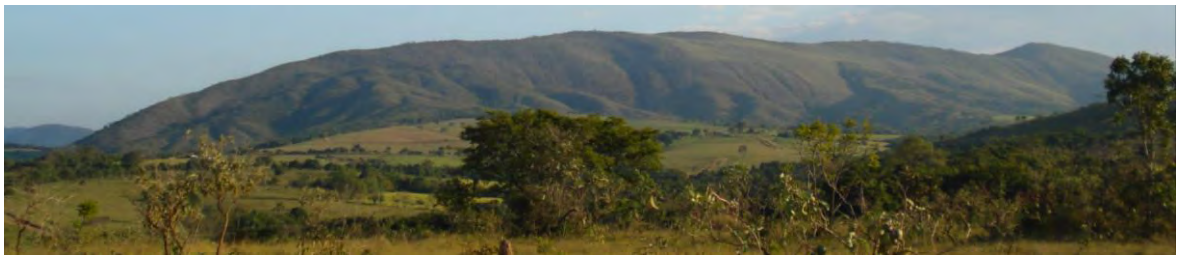


Figura 5.36 – Unidade de *landforms* M9. Ponto: 44.

Unidade M10

Corresponde a um relevo de morros amplos com amplitude altimétrica entre 200 a 290 metros (Figura 5.37). Estes morros apresentam topos angulosos e extensos. A frequência de canais de drenagem é baixa. Exibe vales fechados. O substrato rochoso que sustenta estas formas é constituído por gnaisses do Grupo Araxá.

Figura 5.37 – Unidade de *landforms* M10. Ponto 22.

Unidade M11

Esta unidade é composta por um relevo de morros amplos com topos angulosos, que formam cristas alinhadas na direção NW-SE (Figura 5.38). Nas extremidades destes morros são observados morrotes. A amplitude altimétrica predominante é de 280 metros. Exibem vales fechados e baixa frequência de canais de drenagem. Mica-xistos e quartzitos (intercalados) constituem o substrato rochoso associado a estas formas.

Figura 5.38 – Unidade de *landforms* M11. Ponto: 125.

Unidade M12

Esta unidade caracteriza-se por um relevo de morros amplos com topos aplainados e extensos, associados a vales fechados (Figura 5.39). A frequência de canais de drenagem é baixa. Nas encostas, há predomínio de declividades maiores que 20%, no entanto, é comum a ocorrência de áreas mais aplainadas situada entre duas encostas, com declividade baixa e extensão variada, chamadas de mesoencostas (ZUQUETTE, 1987), observar Figura 5.40. O substrato rochoso associado é constituído por quartzitos do Grupo Canastra.

Figura 5.39 – Unidade de *landforms* M12 Ponto: 29.

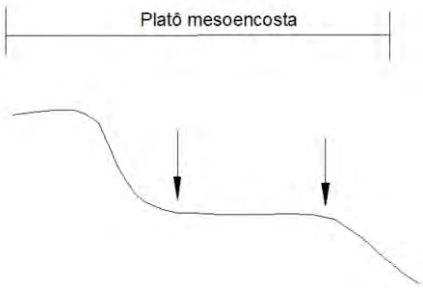


Figura 5.40 – Perfil esquemático de um platô mesoencosta.

Unidade M13

Trata-se de um relevo de morros amplos associados a morrotes médios, ambas as formas exibem topos angulosos. Apresenta vales fechados e alta frequência de canais de drenagem. Mica-xistos com intercalações de quartzito do Grupo Canastra correspondem ao substrato rochoso associado a estas formas.

Unidade M14

Esta unidade corresponde a um relevo de morros médios com amplitudes altimétricas variando de 230 a 290 m (Figura 5.41). Exibem topos angulosos e extensos. Apresentam alta frequência de canais de drenagem e vales fechados. Nas encostas, predominam declividades maiores que 20%. Estas formas de relevo são sustentadas por quartzitos do Grupo Canastra.

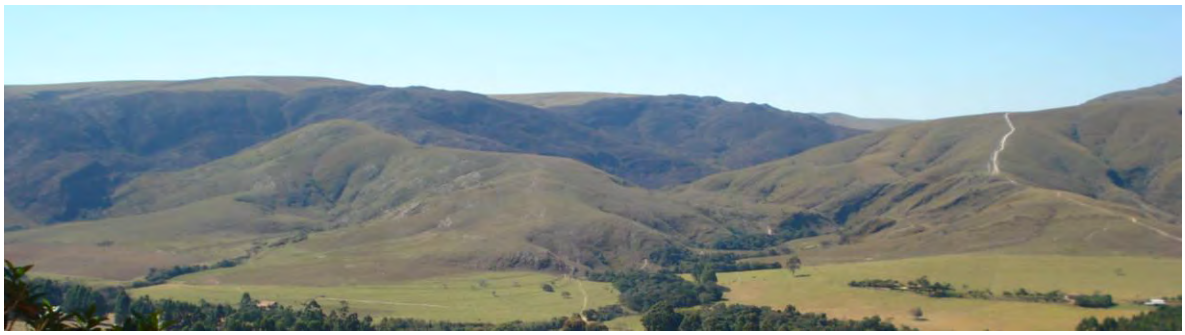


Figura 5.41 – Unidade de *landforms* M14 Ponto: 143.

5.3.1.4 Morros com Encostas Suavizadas

Unidade Ms1

Esta unidade caracteriza-se por apresentar morros amplos com encostas suavizadas e topos aplainados extensos (Figura 5.42 e 5.43). Predominam declividades inferiores a 15%, mas localmente ocorrem declividades superiores a 15%, próximas aos canais de drenagem. Apresenta baixa frequência de canais drenagem. O substrato rochoso é composto por basaltos e diabásios da Formação Serra Geral e arenitos da Formação Botucatu.

Figura 5.42 – Relevo da Unidade de *landforms* Ms1 sustentado por basaltos. Ponto: 168.

Figura 5.43 – Relevo da Unidade de *landforms* Ms1 sustentado por arenitos. Ponto: 169.

Unidade Ms2

Trata-se de um relevo de morros com encostas suavizadas e topos aplainados, associados a colinas pequenas e médias com topos arredondados (Figura 5.44). A amplitude altimétrica destas formas varia de 90 metros (nas colinas) a 120 metros (nos morros). Apresenta baixa frequência de canais drenagem. O substrato rochoso é composto por arenitos da Formação Botucatu e basaltos e diabásios da Formação Serra Geral.

Figura 5.44 – Morros com encostas suavizadas associados a colinas, Unidade de *landforms* Ms2. Ponto: 239.

Unidade Ms3

Esta unidade corresponde a uma associação entre morros com encostas suavizadas e colinas amplas. Os morros possuem topos arredondados e amplitudes altimétricas de, no máximo, 110 metros. Apresenta baixa frequência de canais drenagem. O substrato rochoso é

composto por arenitos e, em campo, foram observados morros testemunhos sustentados por arenitos silicificados (Figura 5.45).

Figura 5.45 – Morro testemunho sustentado por arenito silicificado, na Unidade de *landforms* Ms3.

5.3.1.5 Morrotes

Unidade Mt1

Caracteriza-se por um relevo com predomínio de morrotes pequenos com topos aplainados restritos. A frequência de canais de drenagem é média. Localmente ocorrem morros testemunhos (Figura 5.46), isolados, com topos angulosos apresentando amplitude altimétrica média de 125 metros, sustentados por arenitos silicificados. O substrato rochoso é predominantemente constituído por arenitos da Formação Aquidauana.

Figura 5.46 – Morro testemunho sustentado por arenito silicificado, na Unidade de *landforms* Mt1.

Unidade Mt2

Constitui um relevo de morrotes médios com topos arredondados, associados a colinas amplas com topos aplainados (Figura 5.47). Os vales variam entre abertos e fechados e a frequência de canais de drenagem é média. O substrato rochoso que sustenta estas formas é, predominantemente, composto por arenitos da Formação Aquidauana.

Figura 5.47 – Colinas aplainadas da Unidade de *landforms* Mt2. Ponto: 13.

Unidade Mt3

Trata-se de um relevo de morrotes pequenos e médios com topos arredondados. Apresenta média frequência de canais de drenagem e vales fechados. O substrato rochoso associado é formado por gnaisses e rochas ultramáficas pertencentes ao Complexo Barbacena e Sequência Greenstone do Morro do Ferro.

Unidade Mt4

Esta unidade caracteriza-se por uma associação de morrotes e morros, interceptados por vales abertos. A variação na amplitude altimétrica não permite que cada tipo de relevo seja individualizado, pois variam de 60 a 120 m. A frequência de canais de drenagem é alta. Os morros são pequenos e exibem topos arredondados e restritos. O substrato rochoso é, predominantemente, constituído por gnaisses e rochas ultramáficas do Complexo Barbacena.

Unidade Mt5

Esta unidade caracteriza-se por apresentar um relevo de morrotes médios com topos arredondados (Figura 5.48). Apresenta uma alta frequência de canais de drenagem. Há uma

grande ocorrência de vales abertos, que caracterizam planícies aluvionares desenvolvidas. Gnaisses do Grupo Araxá e localmente rochas ultramáficas constituem o substrato rochoso associado a estas formas.

Figura 5.48 – Unidade de *landforms* Mt5. Ponto: 57.

Unidade Mt6

Esta unidade caracteriza-se por apresentar morrotes interceptados por vales (Figura 5.49). Os morrotes são pequenos e exibem topos angulosos. A amplitude altimétrica predominante fica entre 70 e 80 m, no entanto, ocorrem alguns morros isolados com amplitudes em torno de 120m. Há ocorrência de planície aluvionares interiores desenvolvidas. Apresenta alta frequência de canais de drenagem. O substrato rochoso é, predominantemente, constituído por gnaisses do Grupo Araxá.

Figura 5.49 – Unidade de *landforms* Mt6. Ponto: 82.

Unidade Mt7

Corresponde a um relevo de morrotes pequenos e médios interceptados por vales fechados (Figura 5.50). Com amplitudes altimétricas entre 90 e 100 metros, estas formas exibem topos arredondados e restritos. Apresenta média frequência de canais de drenagem. O substrato rochoso é formado por gnaisses e xistos do Grupo Araxá.

Figura 5.50 – Unidade de *landforms* Mt7. Ponto: 73.

Unidade Mt8

Trata-se de um relevo composto por morrotes associados a colinas (Figura 5.51). Os morrotes são pequenos e possuem topos angulosos, ao passo que as colinas são amplas com topos arredondados. Apresenta média frequência de canais de drenagem e vales que variam entre abertos e fechados. Sustentam estas formas mica-xistos com intercalações de quartzito e gnaisses do Grupo Araxá.

Figura 5.51 – Unidade de *landforms* Mt8. Ponto: 158.

Unidade Mt9

Esta unidade é caracterizada por apresentar agrupamentos de morrotes médios ou morrotes pequenos isolados adjacentes às formas de relevo mais suaves, como as colinas. A amplitude altimétrica média é de 90 metros e os topos são arredondados. A frequência de canais de drenagem é baixa. O substrato rochoso que sustenta estas formas é formado por gnaisses e mica-xistos do Grupo Araxá.

Unidade Mt10

Caracterizada por apresentar um relevo de morrotes e morros pequenos com topos angulosos e amplitudes altimétricas entre 90 e 120 metros (Figura 5.53). Exibe vales abertos e alta frequência de canais de drenagem. O substrato rochoso associado a estas formas corresponde a gnaisses do Grupo Araxá.

Unidade Mt11

Esta unidade caracteriza-se por uma associação entre pequenos vales fechados e morrotes (Figura 5.52). Apresenta alta frequência de canais de drenagem. Os morrotes são pequenos com topos aplainados e a amplitude altimétrica máxima destas formas é de 70 metros. Observam-se planícies aluvionares interiores restritas. O substrato rochoso que constitui estas formas de relevo são gnaisses do Grupo Araxá.

Figura 5.52 – Unidade de *landforms* Mt11. Ponto: 91.

5.3.1.6 Planícies

Unidade P

Corresponde a planícies adjacentes ao Rio Grande, ou, a canais de drenagem secundários (Figura 5.53). Nestas áreas a declividade é bem baixa (de 0 a 3%), podendo ser sujeitas à inundação, devido à declividade e/ou à sazonalidade do nível das águas da represa. O canal de drenagem principal é meandrante e, por vezes, apresenta meandros abandonados.

Figura 5.53 – Planície em 1º plano, Unidade S2 ao fundo. Linha tracejada indicando meandro abandonado.

5.3.1.7 Platôs

Unidade Pt1

Trata-se de um relevo de platôs irregulares que são circundados por escarpas íngremes (Figura 5.54). Apresenta baixa frequência de canais de drenagem. O substrato rochoso associado é predominantemente composto por arenitos da Bacia do Paraná.

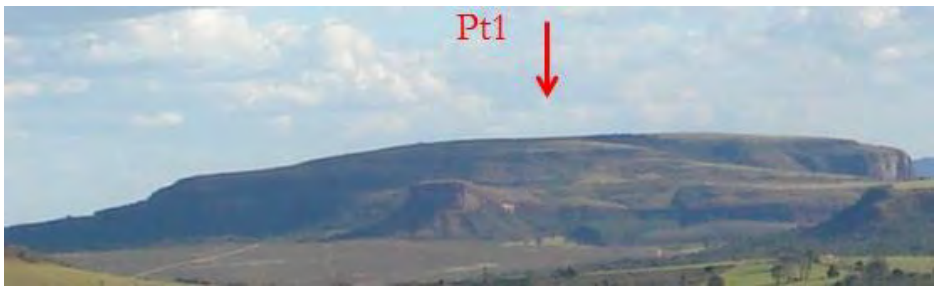


Figura 5.54 – Unidade de *landforms* Pt1. Ponto: 174.

Unidade Pt2

Esta unidade é caracterizada por apresentar um relevo formado por platôs planos sustentados por basaltos e diabásios da Formação Serra Geral (Figura 5.55).

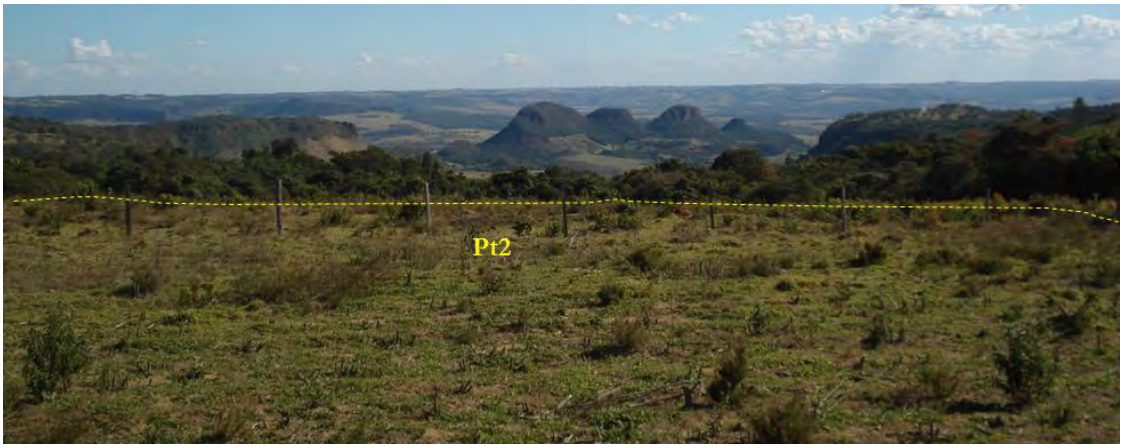


Figura 5.55 – Unidade de *landforms* Pt2. Ponto: 221.

Unidade Pt3

Caracateriza-se por apresentar um relevo de platôs irregulares, com baixa frequência de canais de drenagem (Figura 5.56). O substrato rochoso associado a estas formas é constituído por quartzitos do Grupo Canastra.

Figura 5.56 – Unidade de *landforms* Pt3. Ponto: 128.

Unidade Pt4

Esta unidade corresponde a um relevo de platôs abaulados (Figura 5.57), interceptados por vales irregulares (Unidade V3). Apresenta pouquíssimos canais de

drenagem. São circundados por encostas íngremes. O substrato rochoso associado é predominantemente composto por mica-xistos do Grupo Canastra, localmente ocorrem quartzitos.

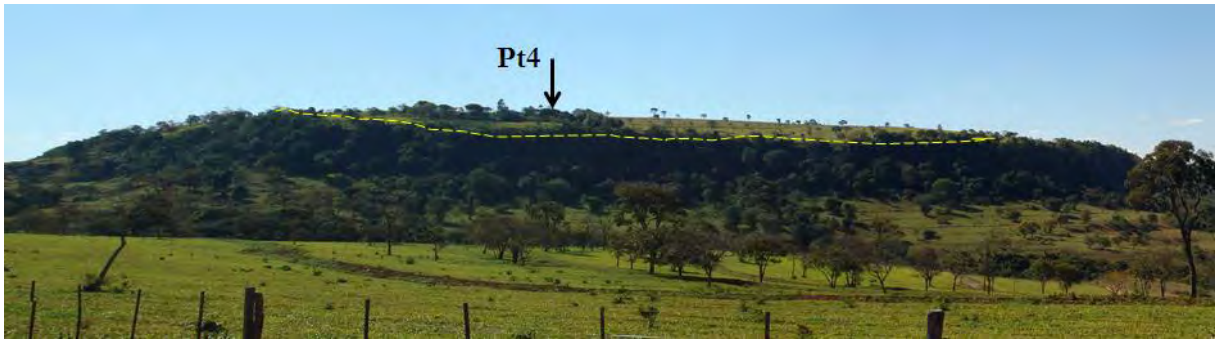


Figura 5.57 – Unidade de *landforms* Pt4. Ponto: 131.

5.3.1.8 Serras

Unidade S1

Trata-se de um relevo composto por serras com amplitude altimétrica de 300 metros (Figura 5.58). Os topos são angulosos e restritos. Exibe vales encaixados e média frequência de canais de drenagem. O substrato rochoso que sustenta estas formas é constituído por quartzitos do Grupo Araxá, localmente ocorrem xistos.

Figura 5.58 – Unidade de *landforms* S1. Ponto: 43.

Unidade S2

Corresponde a um relevo composto por serras com elevadas amplitudes altimétricas, entre 300 e 450 metros, e vertentes com declividades elevadas (Figura 5.59). Os topos são angulosos e extensos, que definem cristas com orientações variadas. Apresentam vales fechados e média frequência de canais de drenagem. Foram observados escarpamentos de falha, tanto pela imagem de satélite e MDT, como em campo. O substrato rochoso que sustenta estas formas é constituído por quartzitos e xistos do Grupo Araxá.

Figura 5.59 – Unidade de *landforms* S2. Ponto: 107.

Unidade S3

É caracterizada por apresentar um relevo composto por serras retilíneas alinhadas na direção NW-SE com elevadas amplitudes altimétricas, em torno de 440 metros (Figura 5.60). As encostas que formam as serras são escarpas retilíneas, ou, estão evoluindo para estas formas. Notam-se extensos vales encaixados. Os topos são extensos e com formas variadas (de aplainados a angulosos). Estas feições são, predominantemente, sustentadas por quartzitos do Grupo Canastra, que afloram nas escarpas ou podem ser cobertos por uma pequena camada de solo saprolito arenoso.

Figura 5.60 – Unidade de *landforms* S3. Ponto: 105.

Unidade S4

Esta unidade caracteriza-se por apresentar um relevo formado por serras com amplitudes altimétricas entre 300 e 400 metros. A frequência de canais de drenagem é média e os vales são fechados. As encostas são sustentadas por quartzitos do Grupo Canastra e apresentam declividades maiores que 30%, ao passo que os topos são planos (declividades menores que 5%) e constituídos por coberturas cenozoicas indiferenciadas.

5.3.1.9 Vales

Unidade V1

Esta unidade corresponde a relevo de vales com encostas suaves e profundidade rasa. A frequência de canais de drenagem é média. O substrato rochoso associado é composto por xistos do Grupo Araxá.

Unidade V2

Trata-se de uma associação entre extensos vales abertos e colinas amplas com topos aplainados. A frequência de canais de drenagem é média. O substrato é composto por rochas milonitizadas do Grupo Canastra. Na Figura 5.61 é possível observar o vale com planície aluvionar.

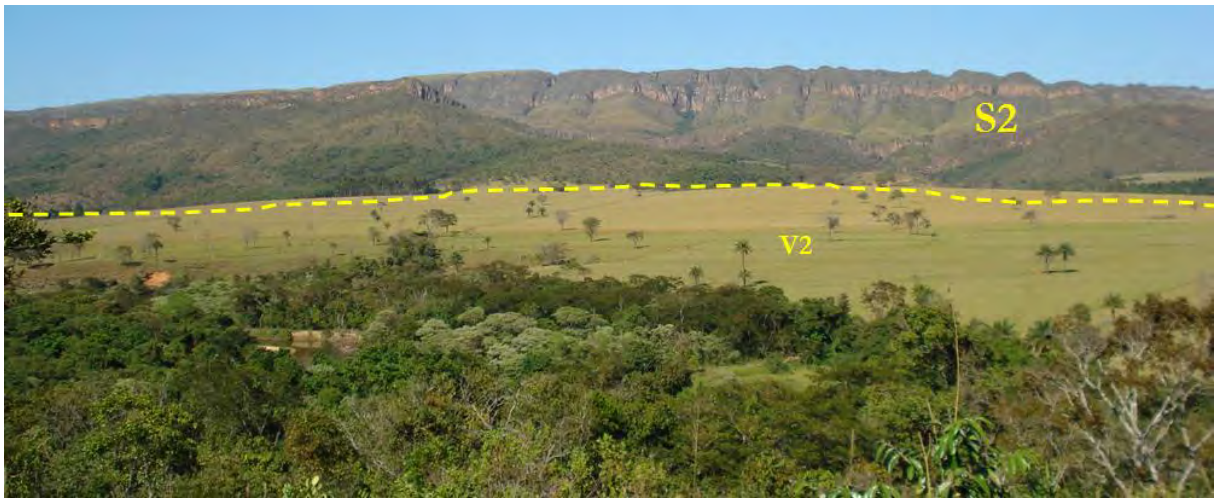


Figura 5.61 – Unidade de *landforms* V2. Ponto: 122.

Unidade V3

Esta unidade caracteriza-se por apresentar vales com encostas irregulares (Figura 5.62). Conforme definido por Zuquette (1987), estas áreas "são caracterizadas por não apresentarem continuidade de formas e declividade e/ou apresentar uma encosta diferente da outra". O substrato rochoso que sustenta estas formas é composto por mica-xistos intercalados com quartzitos do Grupo Canastra e xistos do Grupo Araxá.

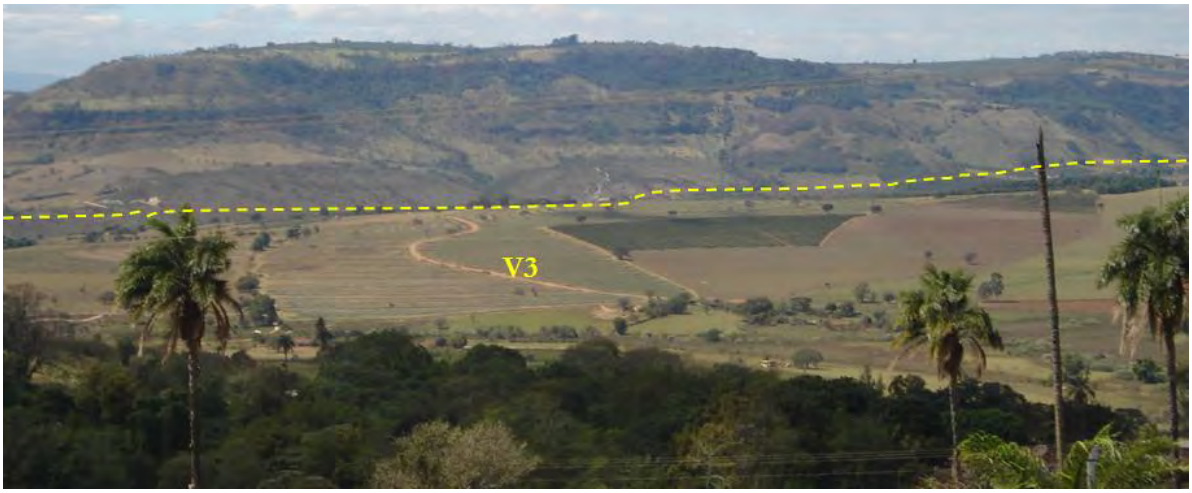


Figura 5.62 – Unidade de *landforms* V3. Ponto: 238.

5.4 MAPA DE MATERIAIS INCONSOLIDADOS

Foram mapeadas 17 unidades de materiais inconsolidados, sendo que cada uma delas é representada por um perfil de alteração típico. Na descrição de cada uma das unidades de materiais inconsolidados é apresentado o perfil de alteração típico de forma esquemática, possibilitando representar o(s) nível(is) mais representativo(s) da unidade, ou seja, os materiais que ocorrem com maior frequência e que melhor caracterizam a unidade. A Figura 5.63 exemplifica como são apresentadas as informações. O Apêndice E apresenta os resultados dos ensaios laboratoriais. O Mapa de Materiais Inconsolidados é apresentado na Figura 5.64 e no Apêndice F.

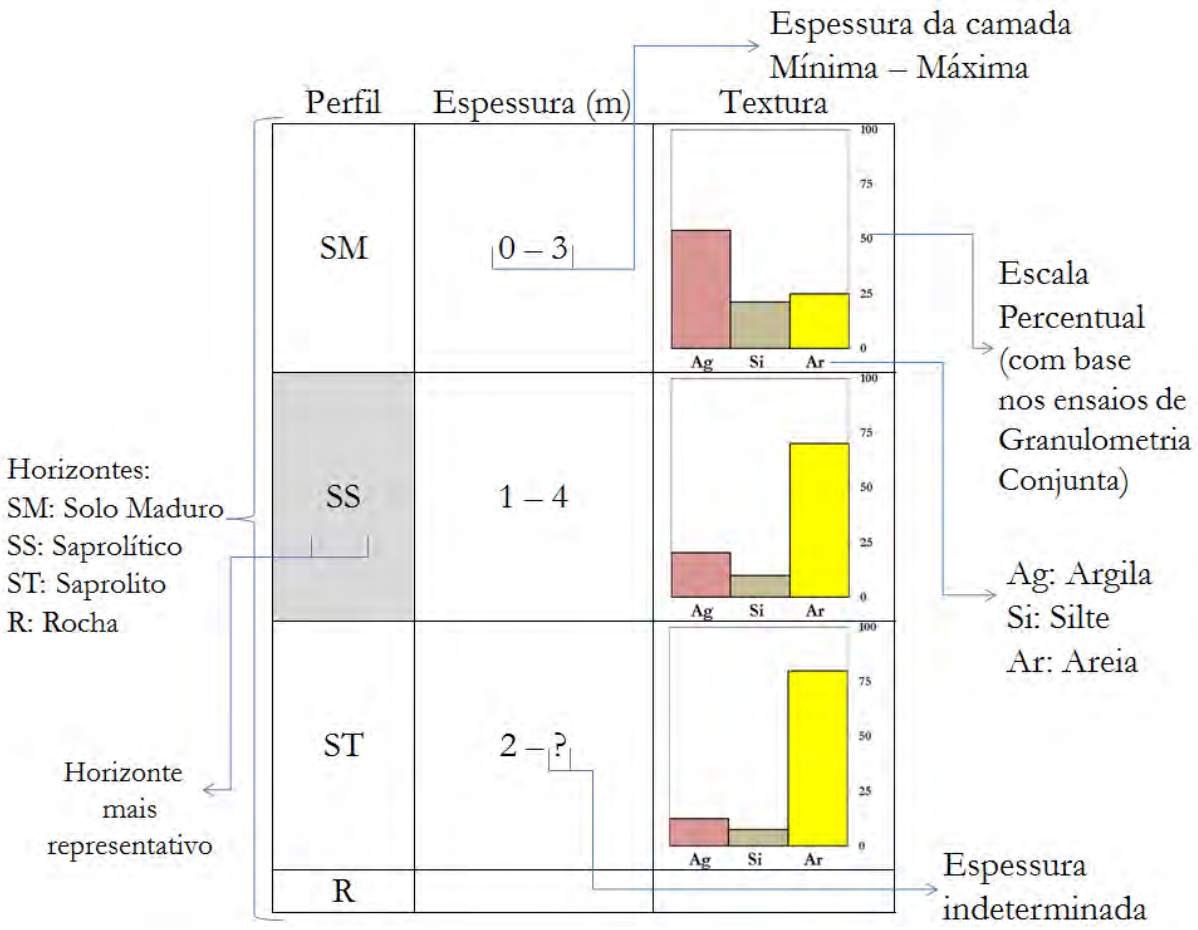


Figura 5.63 – Exemplo de perfil esquemático adotado para representar as unidades de materiais inconsolidados.

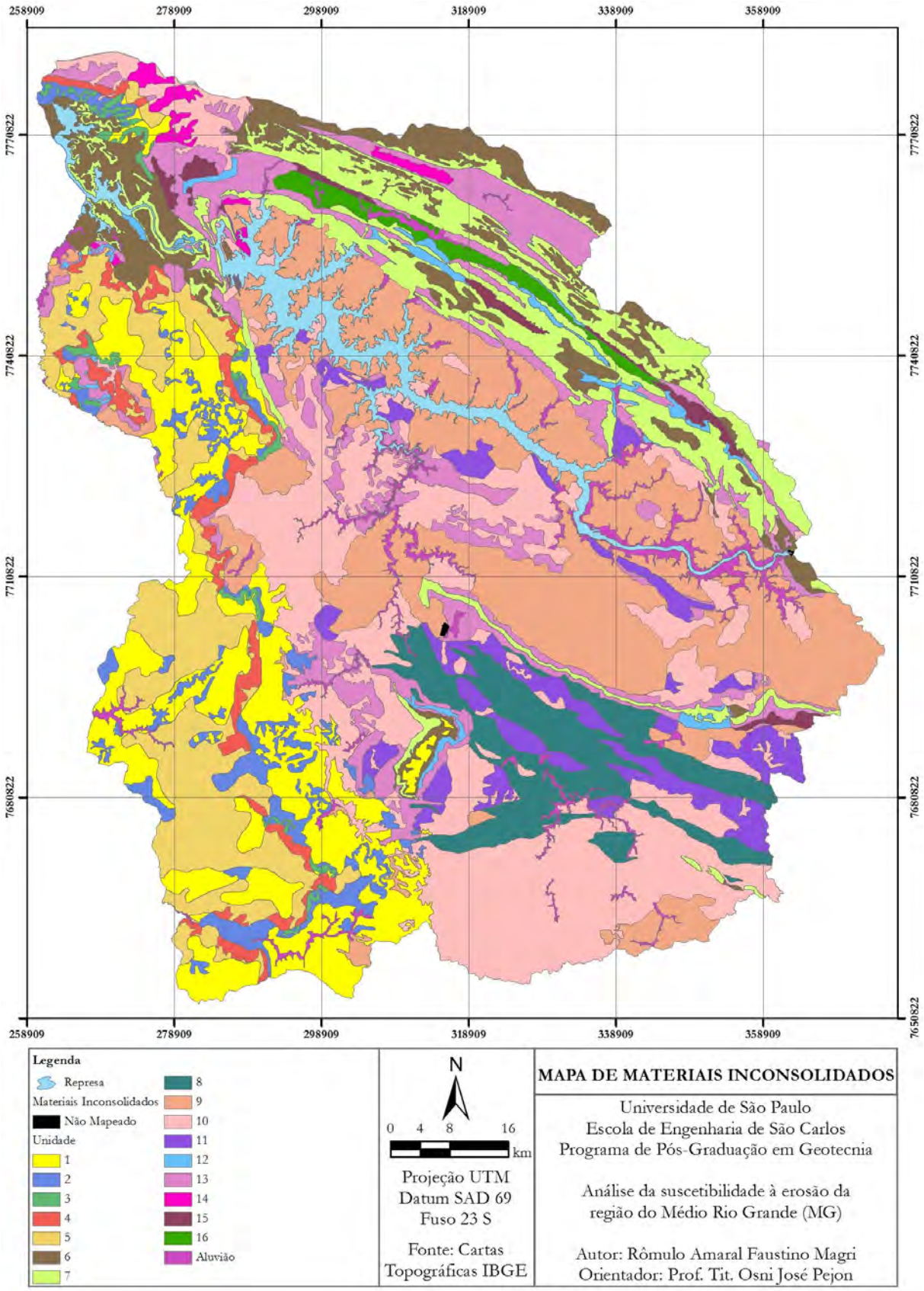


Figura 5.64 – Mapa de Materiais Inconsolidados.

Unidade 1

Esta unidade ocupa 975,80 km², o que corresponde a 10,27% da área total mapeada. Predomina o nível de solo maduro (Figura 5.65) e o solo saprolítico, ambos com textura arenosa e grandes espessuras. Estes materiais ocorrem sobrepostos a arenitos das Formações Aquidauana e Botucatu, associados a relevos colinosos, de morrotes, morros com encostas suavizadas e platôs. Na Figura 5.66 é possível observar o perfil típico desta unidade.

Figura 5.65 – Nível de solo maduro (SM) da Unidade 1.

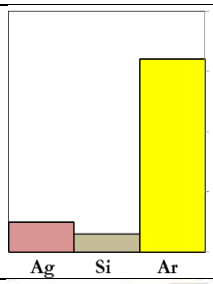
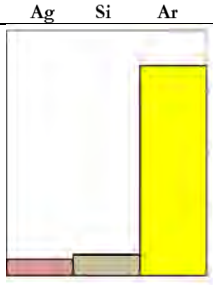
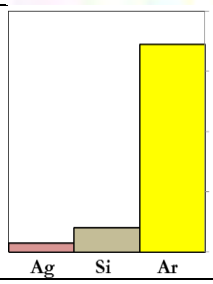
Perfil	Espessura (m)	Textura
SM	0 – 10	
SS	4 – 12	
ST	5 – ?	

Figura 5.66 – Ilustração esquemática do perfil de alteração da Unidade 1.

Unidade 2

Ocupando 319,99 km² (3,37% do total), esta unidade de materiais inconsolidados ocorre em morros, morros com encostas suavizadas (em locais onde as declividades são maiores que 15%) e nos sopés das escarpas, onde as declividades são menores que 15%. Em toda a unidade predomina o solo saprolítico e o saprolito, sendo o solo saprolítico uma areia e o saprolito uma areia com pouco silte e elevada presença de micas (Figura 5.67.a). Em alguns locais ocorre o solo maduro com textura arenosa e espessura não superior a 10 metros. Estes materiais ocorrem sobrepostos a arenitos das Formações Aquidauana e Botucatu. Na Figura 5.67.b é possível observar o perfil típico desta unidade.

(a)

(b)

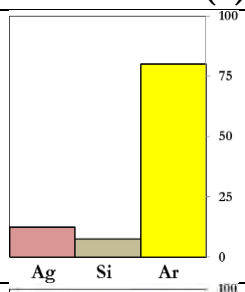
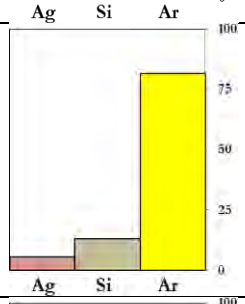
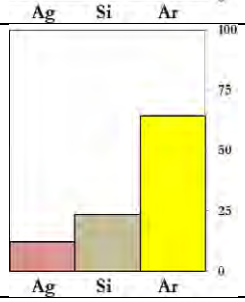
Perfil	Espessura (m)	Textura
SM	0 – 10	
SS	0 – 10	
ST	0 – 10	
R		

Figura 5.67 – (a) Nível de saprolito com presença de micas, e estutura reliquiar da rocha de origem. (b) Ilustração esquemática do perfil de alteração da Unidade 2.

Unidade 3

Nesta unidade predominam os afloramentos de arenitos silicificados das Formações Botucatu e Aquidauana, que podem estar sotopostos a uma camada de solo maduro com

textura arenosa e espessura de no máximo um metro, conforme mostra a Figura 5.68. Abrangendo uma área de 65,41 km² (0,69% do total), esta unidade ocorre nas escarpas com declividades maiores que 30%. A Figura 5.69 mostra uma rocha alterada desta unidade.

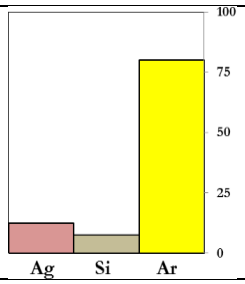
Perfil	Espessura (m)	Textura
SM	0 – 1	
R		

Figura 5.68 – Ilustração esquemática do perfil de alteração da Unidade 3.

Figura 5.69 – Arenito alterado.

Unidade 4

Possuindo uma superfície de 189,23 km² (1,99% do total), esta unidade corresponde a afloramentos de basaltos e diabásios da Formação Serra Geral (Figura 5.70), que ocorrem em escarpas e estão sotopostos diretamente a uma camada de solo maduro com espessura de no máximo 0,7 metros, constituído por uma argila areno-siltosa. A Figura 5.71 apresenta o perfil esquemático desta unidade.

Figura 5.70 – Afloramento de basaltos da Formação Serra Geral.

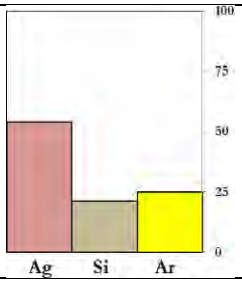
Perfil	Espessura (m)	Textura
SM	0 – 0,7	
R		

Figura 5.71 – Ilustração esquemática do perfil de alteração da Unidade 4.

Unidade 5

Os materiais inconsolidados presentes nesta unidade correspondem a solos maduros, bem evoluídos, com granulometria constituída pela fração argila em pelo menos 50%, possuem espessura mínima de dois metros, conforme mostra a Figura 5.72. Ocupam uma área de 744,85 km² (7,84% da área total). Estão associados a basaltos e diabásios da Formação Serra Geral e ocorrem em todos os tipos de relevo presentes na área, exceto em escarpas. Na Figura 5.73 é possível observar o perfil esquemático desta unidade.

Figura 5.72 – Aspecto dos materiais inconsolidados da Unidade 4.

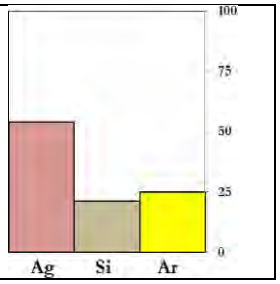
Perfil	Espessura (m)	Textura
SM	2 – ?	

Figura 5.73 – Ilustração esquemática do perfil de alteração da Unidade 5.

Unidade 6

Esta unidade perfaz uma área de 524,28 km², o que corresponde a 5,52% da área total. Predomina o nível saprolito com textura arenosa, sotoposto ao solo maduro composto por uma areia com pouca argila e espessura não superior a dois metros. Estes materiais ocorrem em relevos com declividades menores que 30%, associados a quartzitos dos Grupos Canastra e Araxá. A Figura 5.74 apresenta o perfil esquemático desta unidade.

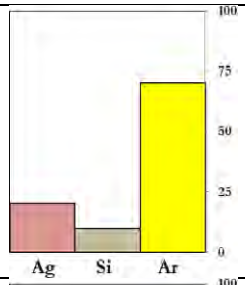
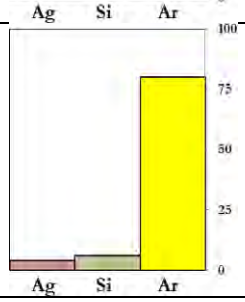
Perfil	Espessura (m)	Textura
SM	0 – 2	
ST	1,5 – ?	

Figura 5.74 – Ilustração esquemática do perfil de alteração da Unidade 6.

Unidade 7

Esta unidade estende-se por uma área de 775,12 km², que perfaz 8,16% da área total, e caracteriza-se por apresentar uma camada de solo maduro composta por uma areia com pouca argila, com espessura inferior a meio metro. Sotoposto a este material, estão os quartzitos dos Grupos Canastra e Araxá associados a relevos bastante enérgicos, compostos por serras e escarpas. Na Figura 5.75 é possível observar o aspecto destes materiais em campo e a Figura 5.76 apresenta o perfil esquemático desta unidade.

Figura 5.75 – Solo maduro sobreposto a quartzito alterado, Unidade 7.

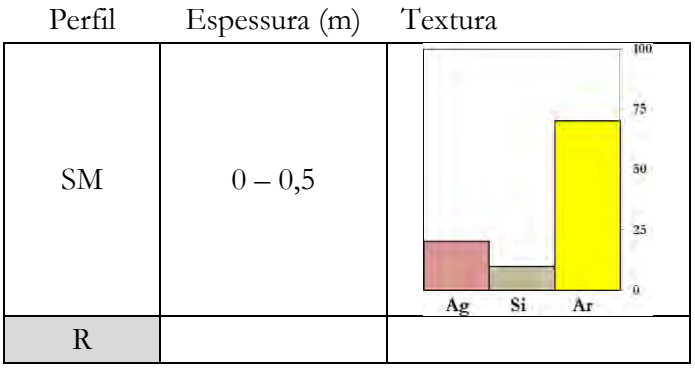


Figura 5.76 – Ilustração esquemática do perfil de alteração da Unidade 7.

Unidade 8

Nesta unidade predomina o nível de solo saprolito constituído por um silte arenoso. Encontra-se sobreposto a este nível, o solo maduro com textura argilo arenosa e espessura não superior a dois metros. Esta unidade abrange uma área de 493,38 km² (5,20% da área total), e ocorre em relevos de morros e morrotes sustentados por gnaisses e rochas ultramáficas do Complexo de Barbacena. Na Figura 5.77.a é possível observar o perfil esquemático desta unidade e a Figura 5.77.b apresenta o aspecto destes materiais em campo.

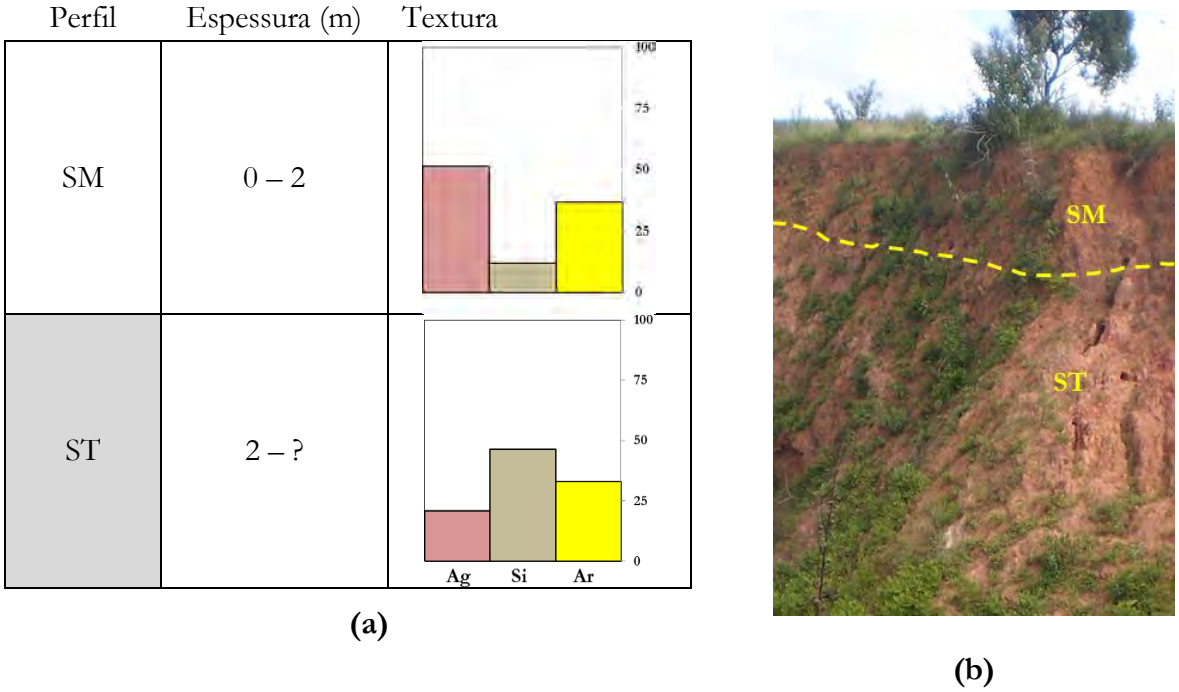


Figura 5.77 – (a) Ilustração esquemática do perfil de alteração da Unidade 8. (b) Aspecto dos materiais inconsolidados em campo.

Unidade 9

Esta é a maior das unidades de materiais inconsolidado, abrange 1778,43 km², o que representa 18,73% da área total. O nível de solo maduro possui espessura entre 1 a 15 metros e é constituído por uma areia argilosa. Sotoposto a este nível, encontra-se o solo saprolítico constituído por uma argila areno-siltosa e o por último o nível de solo saprolito (silte arenoso). Esta unidade ocorre em relevos colinosos, sustentados por gnaisses e xistos com intercalações ocasionais de quartzito do Grupo Araxá. Na Figura 5.78.a é possível observar o perfil esquemático desta unidade e a Figura 5.78.b apresenta o aspecto do solo maduro em campo.

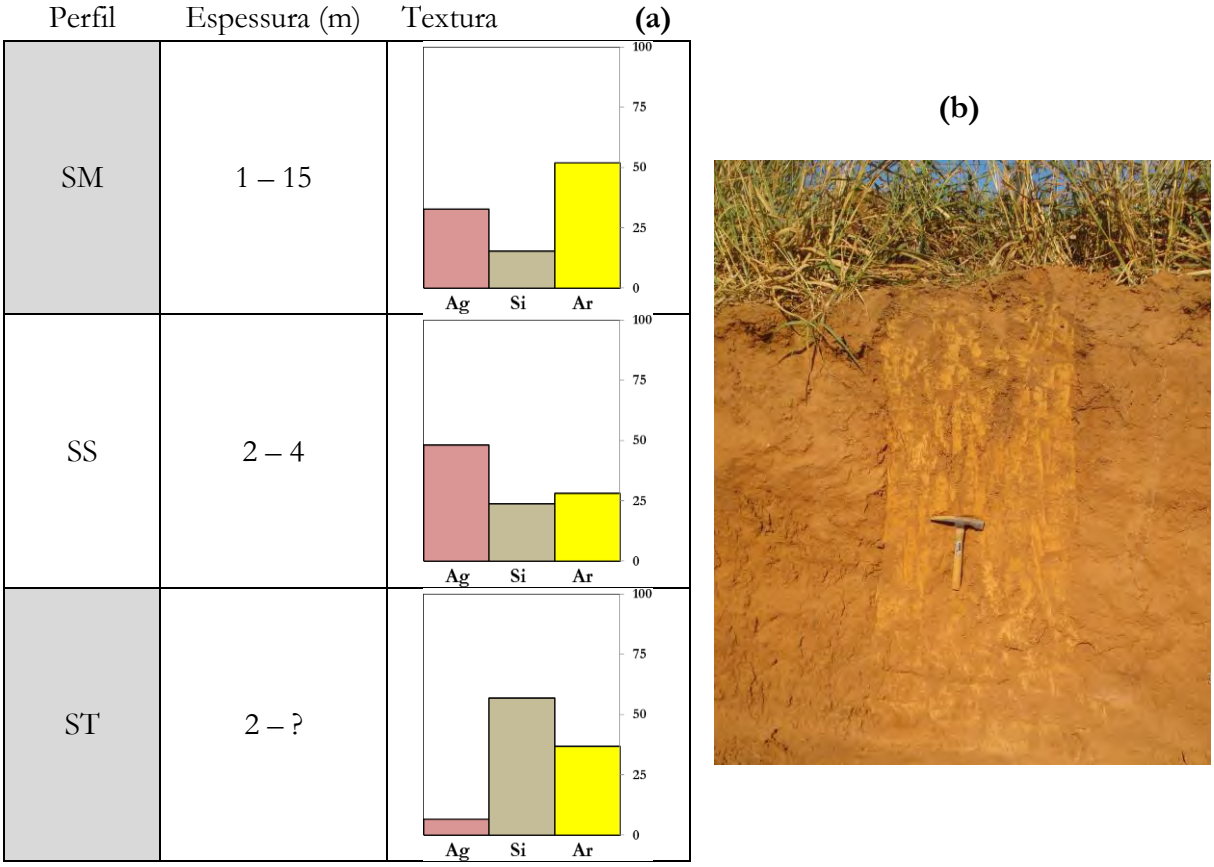


Figura 5.78 – (a) Ilustração esquemática do perfil de alteração da Unidade 9. (b) Solo maduro da Unidade 9.

Unidade 10

Ocupando uma área de 1760,98 km² (18,54% da área total), esta unidade se constitui a segunda maior. O nível de solo maduro possui textura argilo-silto-arenosa, e espessura inferior a 10 metros, este nível encontra-se sobreposto ao solo saprolítico areno-siltoso, com

espessura máxima de 7 metros, seguido pelo saprolito constituído por um silte arenoso (Figura 5.79). Sustentada por platôs, morrotes e nas regiões de morros que possuem declividades menores que 15%, esta unidade é associada a gnaisses e xistos com intercalações ocasionais de quartzito do Grupo Araxá. Na Figura 5.80 é possível observar o perfil esquemático desta unidade.

Figura 5. 79 – Aspecto do nível de saprolito em campo.

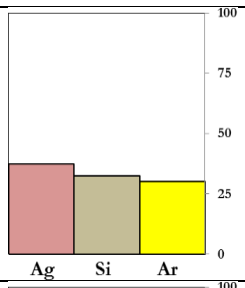
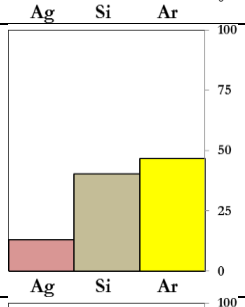
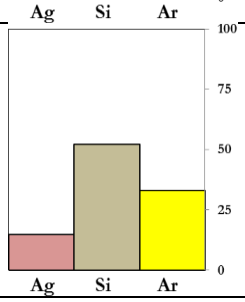
Perfil	Espessura (m)	Textura
SM	0 – 10	
SS	0 – 7	
ST	1,5 – ?	

Figura 5.80 – Perfil de alteração da Unidade 10.

Unidade 11

Ocupando uma área de 411,05 km² (4,33% da área total), esta unidade de materiais inconsolidados caracteriza-se por apresentar o predomínio do nível de solo saprolítico com espessura entre 0,5 e 4 metros, e textura areno-siltosa, sobreposto ao solo saprolito composto por silte arenoso. Sobreposto ao solo saprolítico, ocorre o nível de solo maduro silto-argiloso com espessura inferior a 2 metros. Esta unidade ocorre em morros (declividades maiores que 15%), associados a gnaisses do Grupo Araxá e Complexo Barbacena. Na Figura 5.81.a é possível observar o perfil esquemático desta unidade e a Figura 5.81.b apresenta o aspecto destes materiais em campo.

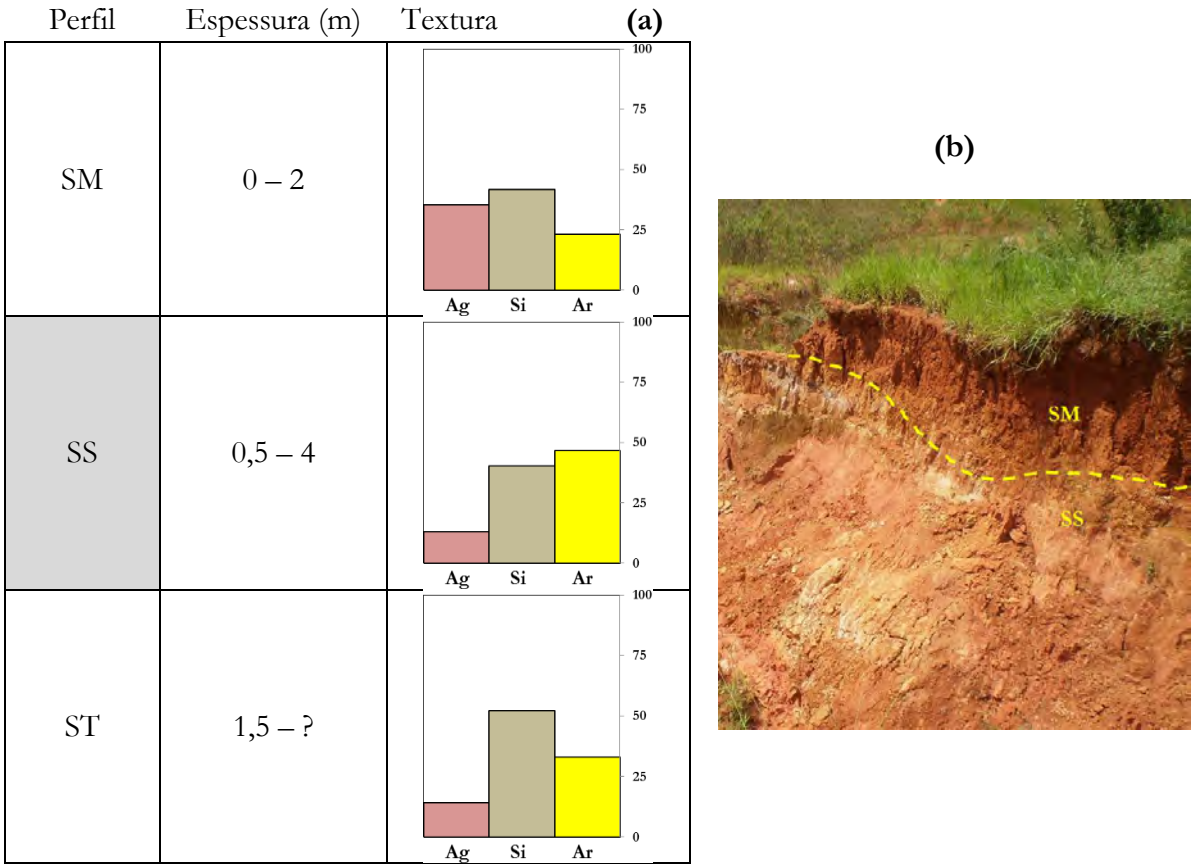


Figura 5.81 – (a) Ilustração esquemática do perfil de alteração da Unidade 11. (b) Aspecto dos materiais inconsolidados em campo.

Unidade 12

Esta unidade ocupa uma área de 99,74 km², o que corresponde a 1,05% da área total. Predominam os afloramentos de xistos e mica-xisto com intercalações de quartzito,

sotopostos a uma pequena camada de solo saprolito composto por silte com pouca areia (Figura 5.82). O tipo de relevo associado a esta unidade são as serras e escarpas com declividades maiores que 30%. Na Figura 5.83 é possível observar o perfil esquemático desta unidade.

Figura 5.82 – Saprolito e rocha alterada da Unidade 12.

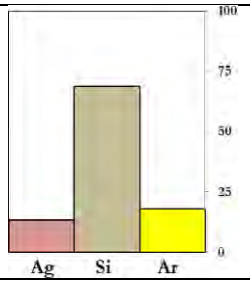
Perfil	Espessura (m)	Textura
ST	0 – 1,3	
R		

Figura 5.83 – Ilustração esquemática do perfil de alteração da Unidade 12.

Unidade 13

Esta unidade abrange uma área de 883,62 km², o que corresponde a 9,30% da área total. Predominam os níveis de solo saprolítico (silto-argiloso), com espessura entre 1 e 3 metros, e saprolito (siltoso), com espessura inferior a 6 metros, sobrepostos a xistos com intercalações ocasionais de quartzito. Sobreposto as estes níveis, ocorre o solo maduro (silte argiloso), com espessura inferior a 2 metros. Esta unidade está associada a declividades menores que 30% em relevos de serras e escarpas e, em morros e morrotes com declividades maiores que 15%. Figura 5.84 apresenta o perfil esquemático desta unidade.

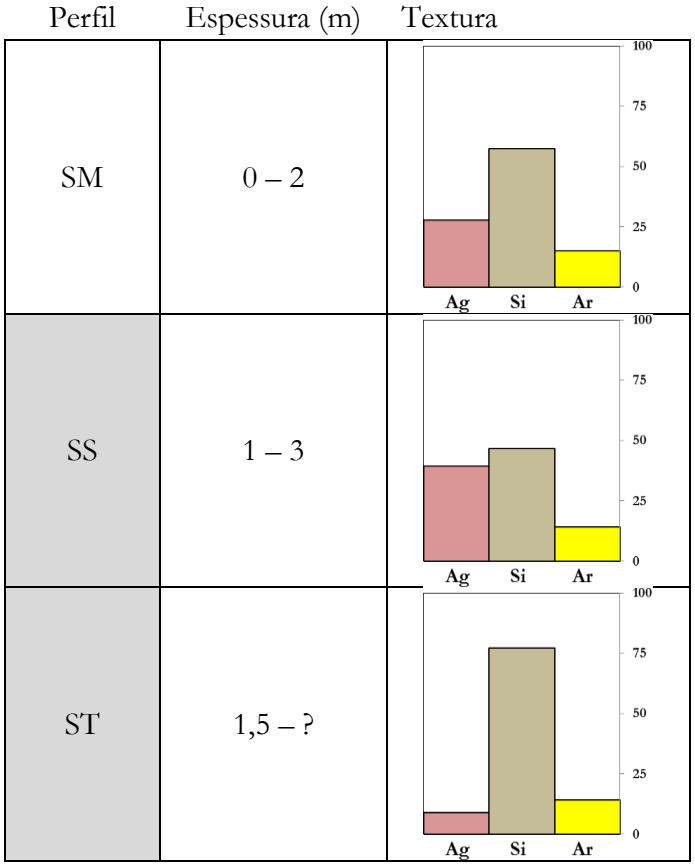


Figura 5.84 – Ilustração esquemática do perfil de alteração da Unidade 13.

Unidade 14

Nesta unidade predomina o nível de solo saprolítico, caracterizado por apresentar textura bastante arenosa (90% fração areia), e espessura inferior a 8 metros, sotoposto ao nível de solo maduro composto por uma argila arenosa, com espessura entre 2 e 10 metros. Esta é a menor das unidades de materiais inconsolidados, possui uma área de 58,47 km²

(0,62% da área total) e está associada a mica-xistos com intercalações ocasionais de quartzito do Grupo Canastra. Na Figura 5.85 é possível observar o perfil esquemático desta unidade e a Figura 5.86 apresenta o aspecto do solo maduro em campo.

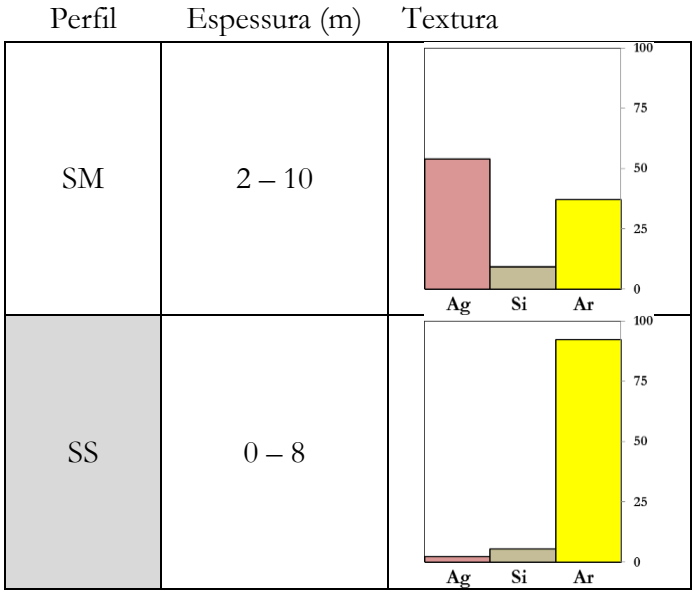


Figura 5.85 – Ilustração esquemática do perfil de alteração da Unidade 14.

Figura 5.86 – Nível de solo maduro da Unidade 14 em campo.

Unidade 15

Abrangendo uma área de 83,68 km² (0,88% da área total), esta unidade ocorre em vales, sustentados por xistos. Há o predomínio do nível de solo maduro com textura bastante arenosa (76%), com espessura entre 0,5 e 2 metros; e do nível de solo saprolito composto por silte com pouca areia. Entre estes dois níveis ocorre o saprolítico areno-siltoso. A Figura 5.87 apresenta o perfil esquemático desta unidade.

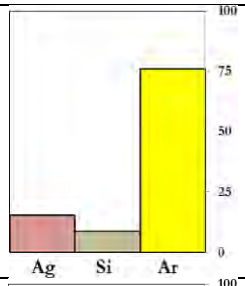
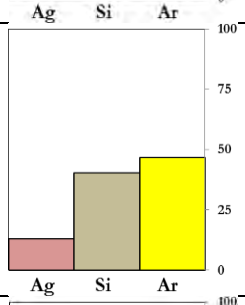
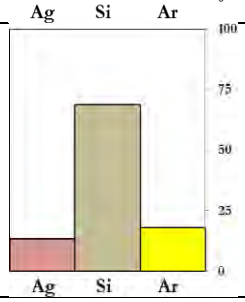
Perfil	Espessura (m)	Textura
SM	0,5 – 2	
SS	0 – 3	
ST	2 – ?	

Figura 5.87 – Ilustração esquemática do perfil de alteração da Unidade 15.

Unidade 16

Ocupando uma área de 89,40 km² (0,94% do total), esta unidade de materiais inconsolidados ocorre em vales, colinas e morrotes que estão associados a rochas milonitizadas do Grupo Canastra. Predomina o solo maduro constituído por um silte argiloso e com espessura inferior a 2,4 metros, sobreposto ao solo saprolito siltoso. Na Figura 5.88 é possível observar o perfil esquemático desta unidade e a Figura 5.89 apresenta o aspecto destes materiais em campo.

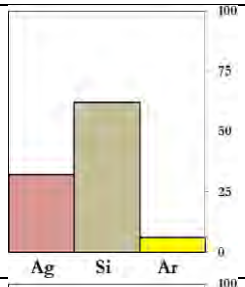
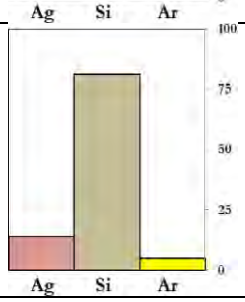
Perfil	Espessura (m)	Textura
SM	0 – 2,4	
ST	1,8 – ?	

Figura 5.88 – Ilustração esquemática do perfil de alteração da Unidade 16.

Figura 5.89 – Estrutura reliquiar em nível saprolito de Unidade 16.

Unidade 17

Esta unidade abrange uma área de 241,88 km² (2,55%) e corresponde a depósitos aluvionares das áreas de inundação adjacentes ao Rio Grande, e de áreas adjacentes a outros canais de drenagem da área de estudo. A textura destes materiais é bastante variável, resultado dos processos de deposição fluvial. Nos ensaios realizados, o material apresentou textura silto-argilosa. Em alguns pontos descritos, foram observados, na base do perfil, a presença de

materiais granulares com granulometria variada. A Figura 5.90 mostra o aspecto destes materiais em campo.

Figura 5.90 – Aspecto dos materiais inconsolidados de Unidade 17 em pontos distintos.

5.5 CARTA DE SUSCETIBILIDADE À EROSÃO

Para elaboração da Carta de Suscetibilidade à Erosão foram utilizadas as informações contidas nos seguintes documentos cartográficos: Mapa de Materiais Inconsolidados, Carta de Declividades, Mapa de Formas do Terreno e Mapa de Substrato Rochoso. A estes documentos foram atribuídos pesos, conforme a metodologia descrita no Item 4.2.6.1.

A distribuição de pesos para os materiais inconsolidados levou em consideração a espessura e textura dos materiais. Quanto maior a espessura, maior é a probabilidade de desencadeamento de processos erosivos lineares de grande porte, em relação à textura, quanto mais arenoso, mais suscetível à erosão. As unidades que apresentam características similares e que definem um mesmo comportamento frente à ocorrência de processos erosivos foram agrupadas para facilitar a comparação par a par.

A Tabela 5.5 mostra a matriz de comparação pareada para as unidades de materiais inconsolidados. Cada elemento da matriz indica quanto o fator da coluna da esquerda é mais importante em relação a cada fator correspondente na linha superior, portanto quando um fator é confrontado com ele mesmo, o resultado é 1, pois possui igual importância.

Tabela 5.5 – Matriz de comparação pareada para as unidades de materiais inconsolidados.

Unidades de Materiais Inconsolidados	2	1	14	9	8	10	11	13	15; 16	3; 6; 7;	4; 5; 12; 17
2	1	2	3	4	5	6	7	8	8	9	9
1	1/2	1	2	3	4	5	6	7	8	8	9
14	1/3	1/2	1	2	3	4	5	6	7	8	8
9	1/4	1/3	1/2	1	2	3	4	5	6	7	8
8	1/5	1/4	1/3	1/2	1	2	3	4	5	6	7
10	1/6	1/5	1/4	1/3	1/2	1	2	3	4	5	6
11	1/7	1/6	1/5	1/4	1/3	1/2	1	2	3	4	5
13	1/8	1/7	1/6	1/5	1/4	1/3	1/2	1	2	3	4
15; 16;	1/8	1/8	1/7	1/6	1/5	1/4	1/3	1/2	1	2	3
3; 6; 7;	1/9	1/8	1/8	1/7	1/6	1/5	1/4	1/3	1/2	1	2
4; 5; 12; 17	1/9	1/9	1/8	1/8	1/7	1/6	1/5	1/4	1/3	1/2	1
SOMA	3,07	4,95	7,84	11,72	16,59	22,45	29,28	37,08	44,83	53,50	62,00

A Tabela 5.6 apresenta a matriz normalizada, o autovetor (peso) e a análise de consistência obtida para as unidades de materiais inconsolidados. As Unidades 2 e 1, foram as

que receberam maior peso, 26,99% e 20,06%, respectivamente. Já as Unidades 15 e 16 apresentam um grande teor de finos, por isso, a estas foi atribuído o peso de 2,31%. As Unidades 3, 6 e 7, possuem materiais com textura arenosa, no entanto estes apresentam pequena espessura, sendo que muitas vezes o substrato rochoso aflora na superfície, assim o peso atribuído a estas unidades foi 1,71%. As Unidades 4, 5, 12, 17, foram as que receberam menor peso, 1,34%, por possuírem textura desfavorável à ocorrência de processos erosivos (Unidade 4, 5e 17), e/ou por apresentarem o substrato rochoso aflorante (Unidade 12).

Tabela 5.6 – Matriz normalizada, autovetor (peso) e análise de consistência para as unidades de materiais inconsolidados.

Matriz Normalizada

Materiais Inconsolidados	2	1	14	9	8	10	11	13	15; 16	3; 6; 7;	4; 5; 12; 17	Autovetor
2	0,3263	0,4037	0,3825	0,3414	0,3013	0,2673	0,2390	0,2157	0,1784	0,1682	0,1452	0,2699
1	0,1631	0,2019	0,2550	0,2560	0,2411	0,2227	0,2049	0,1888	0,1784	0,1495	0,1452	0,2006
14	0,1088	0,1009	0,1275	0,1707	0,1808	0,1782	0,1707	0,1618	0,1561	0,1495	0,1290	0,1486
9	0,0816	0,0673	0,0638	0,0853	0,1205	0,1336	0,1366	0,1348	0,1338	0,1308	0,1290	0,1107
8	0,0653	0,0505	0,0425	0,0427	0,0603	0,0891	0,1024	0,1079	0,1115	0,1121	0,1129	0,0816
10	0,0544	0,0404	0,0319	0,0284	0,0301	0,0445	0,0683	0,0809	0,0892	0,0935	0,0968	0,0599
11	0,0466	0,0336	0,0255	0,0213	0,0201	0,0223	0,0341	0,0539	0,0669	0,0748	0,0806	0,0436
13	0,0408	0,0288	0,0213	0,0171	0,0151	0,0148	0,0171	0,0270	0,0446	0,0561	0,0645	0,0316
15; 16;	0,0408	0,0252	0,0182	0,0142	0,0121	0,0111	0,0114	0,0135	0,0223	0,0374	0,0484	0,0231
3; 6; 7;	0,0363	0,0252	0,0159	0,0122	0,0100	0,0089	0,0085	0,0090	0,0112	0,0187	0,0323	0,0171
4; 5; 12; 17	0,0363	0,0224	0,0159	0,0107	0,0086	0,0074	0,0068	0,0067	0,0074	0,0093	0,0161	0,0134

Análise de Consistência

λmáx = 12,213	Nº atributos: 11
Índice de Consistência (IC) = 0,1213	
Índice de Consistência Randômica = 1,51	Vide Tabela
Razão de Consistência = 8,04	OK

A Tabela 5.7 apresenta a matriz de comparação pareada para as classes de declividade. À medida que se tem um incremento nos valores de declividade, aumenta a sua importância na suscetibilidade à ocorrência de processos erosivos, devido ao aumento da energia cinética das águas de escoamento superficial, assim, as declividades de 0 – 10% receberam um peso menor do que as declividades maiores que 45%. No entanto, teve-se o cuidado de não valorizar muito a classe de declividades maiores que 45%, visto que, na área de estudo, estas regiões, em sua grande parte, representam terrenos escarpados com substrato rochoso associado a quartzitos sotopostos a materiais inconsolidados pouco espessos ou ausentes,

portanto, nestas condições a declividade não condiciona os processos erosivos. A Tabela 5.8 apresenta a matriz normalizada, o autovetor (peso) e a análise de consistência obtida para as classes de declividade.

Tabela 5.7 – Matriz de comparação pareada para as classes de declividade.

Classes de Declividade	<5%	5-10%	10-20%	20-30%	30-45%	>45%
<5%	1	1/2	1/2	1/3	1/3	1/3
5-10%	2	1	1/2	1/2	1/2	1/2
10-20%	2	2	1	1/2	1/2	1/2
20-30%	3	2	2	1	1/2	1/2
30-45%	3	2	2	2	1	1/2
>45%	3	2	2	2	2	1
SOMA	14,00	9,50	8,00	6,33	4,83	3,33

Tabela 5.8 – Matriz normalizada, autovetor (peso) e análise de consistência para classes de declividade.

Matriz Normalizada

Classes de Declividade							**Autovetor**
<5%	0,071	0,053	0,063	0,053	0,069	0,100	0,068
5-10%	0,143	0,105	0,063	0,079	0,103	0,150	0,107
10-20%	0,143	0,211	0,125	0,079	0,103	0,150	0,135
20-30%	0,214	0,211	0,250	0,158	0,103	0,150	0,181
30-45%	0,214	0,211	0,250	0,316	0,207	0,150	0,225
>45%	0,214	0,211	0,250	0,316	0,414	0,300	0,284

Análise de Consistência

λmáx = 6,2304 | Nº atributos: 6

Índice de Consistência (IC) = 0,0461

Índice de Consistência Randômica = 1,24 | Vide Tabela

Razão de Consistência = 3,72 | OK

Em relação às formas de terreno, a maior importância foi atribuída aos terrenos com curvatura vertical convexa, pois nestes a intensidade da erosão é mais acentuada, as boçorocas ocorrem principalmente em encostas convexas convergentes e secundariamente em encostas convexas divergentes (RODRIGUES, 1982; XUJIONGXIN, 1996;

NISHIYAMA, 1998). As encostas convexas convergentes receberam maior peso, 30,70%, em segundo lugar na ordem de importâncias estão as encostas convexas divergentes (com peso de 21,82%), seguidas das convexas planares (com peso de 15,43%), côncavas convergentes (com peso de 10,89%), côncavas planares (com peso de 7,64%), côncavas divergentes (com peso de 5,33%), retilíneas convergentes (com peso de 3,70%), retilíneas divergentes (com peso de 2,59%) e, com o menor peso (1,89%) as retilíneas planares. A Tabela 5.9 apresenta a matriz de comparação pareada para as formas do terreno e a Tabela 5.10 apresenta a matriz normalizada, o autovetor (peso) e a análise de consistência.

Tabela 5.9 – Matriz de comparação pareada para as formas de terreno.

Formas de Terreno	C-CX	D-CX	P-CX	C-CV	P-CV	D-CV	C-R	D-R	P-R
C-CX	1	2	3	4	5	6	7	8	9
D-CX	1/2	1	2	3	4	5	6	7	8
P-CX	1/3	1/2	1	2	3	4	5	6	7
C-CV	1/4	1/3	1/2	1	2	3	4	5	6
P-CV	1/5	1/4	1/3	1/2	1	2	3	4	5
D-CV	1/6	1/5	1/4	1/3	1/2	1	2	3	4
C-R	1/7	1/6	1/5	1/4	1/3	1/2	1	2	3
D-R	1/8	1/7	1/6	1/5	1/4	1/3	1/2	1	2
P-R	1/9	1/8	1/7	1/6	1/5	1/4	1/3	1/2	1
SOMA	2,83	4,72	7,59	11,45	16,28	22,08	28,83	36,50	45,00

Legenda:

C: Convergente
D: Divergente
P: Planar
} Curvatura Horizontal

CX: Convexa
CV: Côncava
R: Retilinea
} Curvatura Vertical

Tabela 5.10 – Matriz normalizada, o autovetor (peso) e a análise de consistência obtida para as formas de terreno.

Matriz Normalizada

Formas de Terreno										Autovetor
Convergente-Convexa	0,3535	0,4239	0,3951	0,3493	0,3071	0,2717	0,2428	0,2192	0,2000	0,3070
Divergente-Convexa	0,1767	0,2120	0,2634	0,2620	0,2456	0,2264	0,2081	0,1918	0,1778	0,2182
Planar-Convexa	0,1178	0,1060	0,1317	0,1747	0,1842	0,1811	0,1734	0,1644	0,1556	0,1543
Convergente-Côncava	0,0884	0,0707	0,0659	0,0873	0,1228	0,1358	0,1387	0,1370	0,1333	0,1089
Planar-Côncava	0,0707	0,0530	0,0439	0,0437	0,0614	0,0906	0,1040	0,1096	0,1111	0,0764
Divergente-Côncava	0,0589	0,0424	0,0329	0,0291	0,0307	0,0453	0,0694	0,0822	0,0889	0,0533
Convergente-Retilínea	0,0505	0,0353	0,0263	0,0218	0,0205	0,0226	0,0347	0,0548	0,0667	0,0370
Divergente-Retilínea	0,0442	0,0303	0,0220	0,0175	0,0154	0,0151	0,0173	0,0274	0,0444	0,0259
Planar-Retilínea	0,0393	0,0265	0,0188	0,0146	0,0123	0,0113	0,0116	0,0137	0,0222	0,0189

Análise de Consistência

λmáx = 9,6040 | Nº atributos: 9

Índice de Consistência (IC) = 0,075505

ndice de Consistência Randômica : 1,45 | Vide Tabela

azão de Consistência = 5,21 | OK

Em relação ao substrato rochoso analisou-se a potencialidade do tipo litológico em desenvolver processos erosivos. Assim como para os materiais inconsolidados, as unidades que apresentam características similares e que definem um mesmo comportamento frente à ocorrência de processos erosivos foram agrupadas para facilitar a comparação par a par. A Tabela 5.11 apresenta a matriz de comparação pareada para o substrato rochoso. O substrato rochoso arenoso, representado por arenitos das Formações Aquidauana e Botucatu, foi considerado o mais suscetível ao desenvolvimento de processos erosivos, recebendo peso de 48,58%, seguido do substrato rochoso constituído por mica-xistos intercalados com quartzitos (com peso de 21,34%). Os basaltos e diabásios da Formação Serra Geral, foram os que receberam o menor peso, 3,25%. A Tabela 5.12 apresenta a matriz normalizada, o autovetor (peso) e a análise de consistência obtida para o substrato rochoso.

Tabela 5.11 – Matriz de comparação pareada para o substrato rochoso.

Substrato Rochoso	3	10	4	7; 8; 11; 12;	5; 6; 9	1; 2
3	1	4	5	6	7	9
10	1/4	1	2	3	5	7
4	1/5	1/2	1	2	3	5
7; 8; 11; 12;	1/6	1/3	1/2	1	2	3
5; 6; 9	1/7	1/5	1/3	1/2	1	2
1; 2	1/9	1/7	1/5	1/3	1/2	1
SOMA	1,870635	6,1762	9,0333	12,833333	18,5	27

Legenda:

1. Coberturas Quaternárias
2. Basalto e Diabásio
3. Arenito
4. Gnaisse
5. Xisto
6. Quartzito
7. R. Ultramáficas
8. Milonito
9. R. Calcissilicáticas
10. Xisto/Quartzito
11. Gnaisse/Xisto
12. Ganisse/Ultramáficas

Tabela 5.12 – Matriz normalizada, o autovetor (peso) e a análise de consistência obtida para o substrato rochoso.

Matriz Normalizada

Substrato Rochoso							Auto Vetor
3	0,5346	0,6476	0,5535	0,4675	0,3784	0,3333	0,4858
10	0,1336	0,1619	0,2214	0,2338	0,2703	0,2593	0,2134
4	0,1069	0,0810	0,1107	0,1558	0,1622	0,1852	0,1336
7; 8; 11; 12;	0,0891	0,0540	0,0554	0,0779	0,1081	0,1111	0,0826
5; 6; 9	0,0764	0,0324	0,0369	0,0390	0,0541	0,0741	0,0521
1; 2	0,0594	0,0231	0,0221	0,0260	0,0270	0,0370	0,0325

Análise de Consistência

Auto Valor:	6,3342	Nº atributos:	6
Índice de Consistência	IC	0,0668	
Índice de Consistência Randomica	1,24	Vide Tabela	
Razão de Consistência:	5,39	OK	

Após analisar os atributos de cada tema separadamente, os mesmos foram comparados par a par, conforme Tabela 5.13 que apresenta a matriz de comparação pareada para os temas considerados influentes na suscetibilidade à erosão.

Tabela 5.13 – Matriz de comparação pareada para os temas considerados influentes na suscetibilidade à erosão.

Atributos	Material Inconsolidado	Declividade	Forma do Terreno	Substrato Rochoso
Material Inconsolidado	1	2	2	3
Declividade	1/2	1	2	3
Forma do Terreno	1/2	1/2	1	1
Substrato Rochoso	1/3	1/3	1	1

A Tabela 5.14 apresenta a matriz normalizada, o autovetor (peso) e a análise de consistência obtida para os temas considerados influentes na suscetibilidade à erosão. Nota-se que o material inconsolidado foi considerado o atributo mais importante na suscetibilidade à erosão, em termos percentuais a sua importância equivale a 44,67%, seguido da declividade, com importância de 28,81% e, em menor importância as formas do terreno (13,80%) e o substrato rochoso (12,72%).

Tabela 5.14 – Matriz normalizada, autovetor (peso) e análise de consistência para os atributos considerados influentes na suscetibilidade à erosão.

Matriz Normalizada

Atributos					**Autovetor**
Material Inconsolidado	0,4615	0,5217	0,4286	0,3750	0,4467
Declividade	0,2308	0,2609	0,2857	0,3750	0,2881
Forma do Terreno	0,1538	0,1304	0,1429	0,1250	0,1380
Substrato Rochoso	0,1538	0,0870	0,1429	0,1250	0,1272

Análise de Consistência

λmáx = 4,0558	Nº atributos: 4	
Índice de Consistência (IC) = 0,0186		
Índice de Consistência Randômica = 0,9	Vide Tabela	
Razão de Consistência = 2,07	OK	

Após a atribuição de pesos, utilizando a técnica AHP, foi feito o cruzamento dos documentos cartográficos através da ferramenta *Weighted Sum*, conforme descrito no Item 4.2.6.2, esta ferramenta multiplicou a importância relativa de cada classe do documento cartográfico (arquivos matriciais de entrada) pelo peso específico atribuído ao documento cartográfico. Então, após a multiplicação, ocorreu a soma conjunta de cada arquivo matricial de entrada para a formação de um arquivo matricial de saída.

O arquivo matricial de saída (Carta de Suscetibilidade à Erosão obtida), apresenta pixels com valores de 238,36 a 3065,60. Estes valores foram classificados de acordo com o método de Quebras Naturais (*Natural Breaks*), e resultou em cinco classes de suscetibilidade à erosão, conforme mostra a Tabela 5.15.

Tabela 5.15 – Intervalos de valores dos pixels e suas respectivas classes de suscetibilidade à erosão.

Intervalos de Valores dos Pixels	**Classes de Suscetibilidade à Erosão**
< 713,12	Muito Baixa
713,12 – 1.039,85	Baixa
1039,85 – 1519,06	Média
1519,06 – 2096,29	Alta
> 2096,29	Muito Alta

A Figura 5.91 apresenta o distribuição percentual de cada classe de suscetibilidade à erosão na área de estudo. Nota-se que há o predomínio de áreas com baixa suscetibilidade à erosão, pois 38,67% da área total é ocupada por esta classe, o que representa 3672,87 km² (Tabela 5.16), ao passo que as áreas com alta e muita alta suscetibilidade à erosão, juntas, correspondem apenas a 14,23% da área total. A Carta de Suscetibilidade à Erosão obtida é apresentada na Figura 5.92 e no Apêndice G.

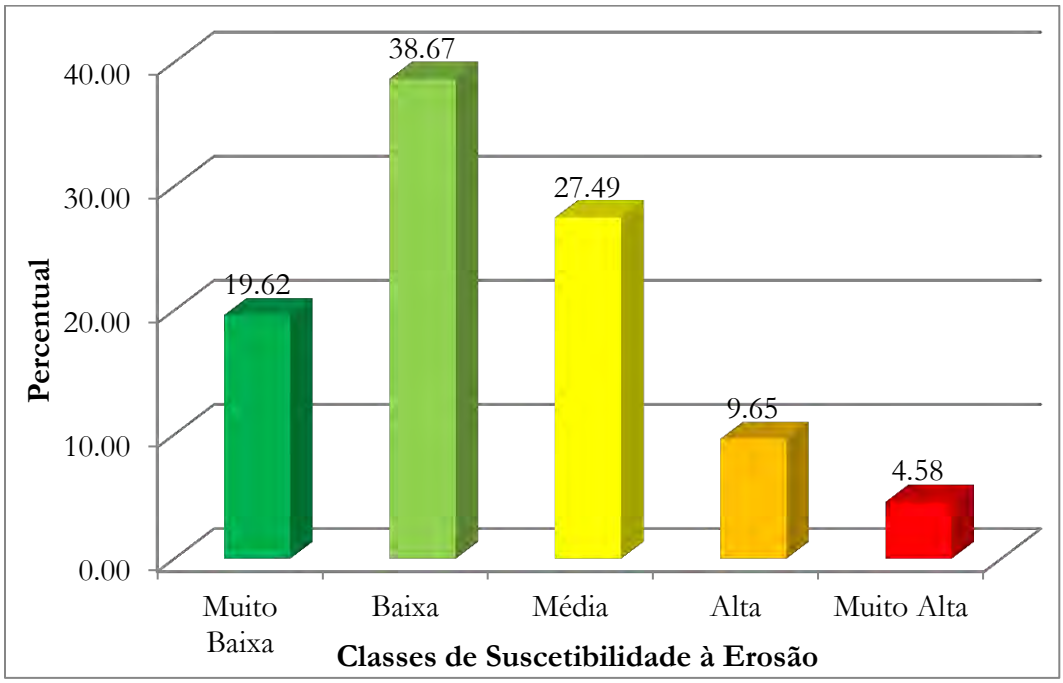


Figura 5.91 – Gráfico representando o percentual de cada classes de suscetibilidade à erosão em relação à área de estudo.

As áreas com muito baixa suscetibilidade à erosão, ocupam 1862,94 km² (19,62% da área total), e estão associadas, principalmente, a materiais inconsolidados bem evoluídos, com notável presença da fração argila. Nestas áreas o substrato rochoso é constituído por basaltos e diabásios da Formação Serra Geral.

As áreas compostas por relevos de serras, localizadas na porção norte da área de estudo, apesar de possuírem altas declividades, o que favorece o escoamento superficial, possuem baixa ou muito baixa suscetibilidade à erosão, pois os materiais geológicos que as constituem não favorecem o desenvolvimento de processos erosivos de grande porte.

As áreas com alta e muito alta suscetibilidade à erosão, concentram-se, principalmente, nas regiões onde os materiais inconsolidados são espessos e bastante arenosos e, estão sobrepostos aos arenitos das Formações Aquidauana e Botucatu, nestas regiões o relevo é composto por colinas e morros com encostas suavizadas que fazem parte dos relevos com declividades mais suaves, no entanto o que favorece a suscetibilidade à erosão destas áreas são os materiais geológicos que as constituem.

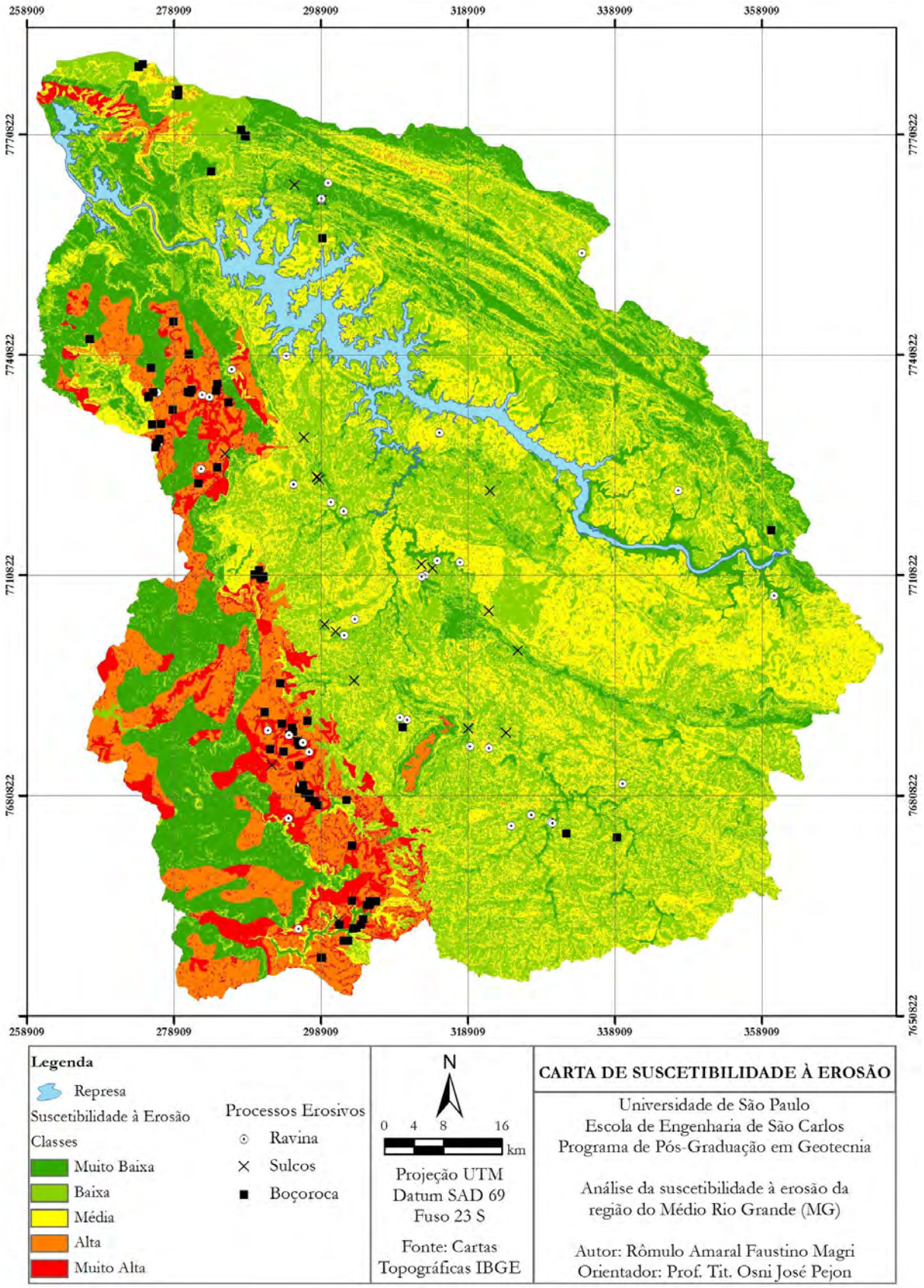


Figura 5.92 – Carta de Suscetibilidade à Erosão da área de estudo.

Tabela 5.16 – Distribuição das classes de suscetibilidade à erosão na área de estudo.

Classe	Área (km²)	%
Muito Baixa	1862,94	19,62
Baixa	3672,87	38,67
Média	2610,26	27,49
Alta	916,22	9,65
Muito Alta	434,70	4,58
Total	9496,98	100,00

5.5.1 Suscetibilidade à Erosão x Inventário de Feições Erosivas

Através da interpretação de imagens de satélite Alos, foram identificados os possíveis focos de processos erosivos e estes foram avaliados *in loco*. Foram encontrados 136 processos erosivos, que juntos perfazem uma área de 2,38 km². Na Figura 5.93 é possível observar os tipos de processos que ocorrem na área. O Apêndice H apresenta a planilha com as características destes processos erosivos.

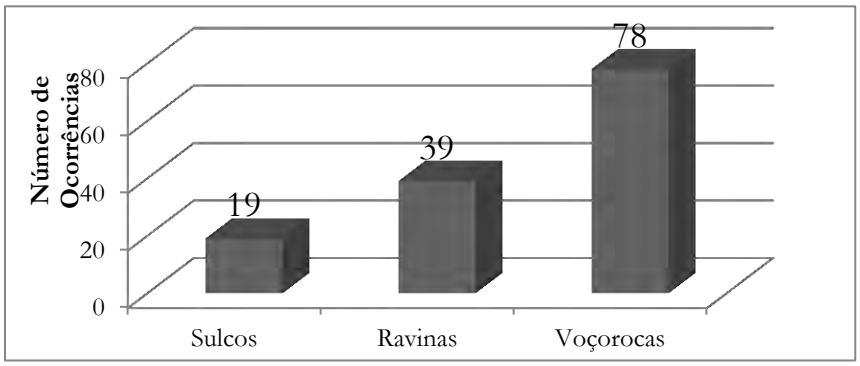


Figura 5.93 – Tipos de processos erosivos que ocorrem na área.

Os dados de inventário foram plotados sobre a Carta de Suscetibilidade à Erosão obtida, com isso conclui-se que esta carta retratou bem o comportamento do meio físico frente à potencialidade de desencadeamento de processos erosivos lineares de grande porte, pois, como pode ser observado na Tabela 5.17, das 78 boçorocas que existem na área de estudo, 62 (mais de 79% do total) ocorrem em áreas com alta e muito alta suscetibilidade à erosão.

Tabela 5.17 – Ocorrência de processos erosivos nas classes de suscetibilidade à erosão.

	Classes de Suscetibilidade à Erosão				
Número de ocorrências	Muito Baixa	Baixa	Média	Alta	Muito Alta
Sulcos	4	8	4	2	1
Ravinas	3	11	13	5	7
Boçorocas	2	8	6	26	36
Total	9	27	23	33	44

5.5.2 Suscetibilidade à Erosão x Uso e Ocupação

A Carta de Suscetibilidade à Erosão produzida levou em conta somente atributos do meio físico, assim a mesma não reflete a influência antrópica na suscetibilidade à erosão e sim a suscetibilidade natural da área.

Este produto cartográfico, de uma forma simplificada, indica quais são as áreas em que se deve ter um controle mais rígido do uso e ocupação do solo para prevenir o desencadeamento de processos erosivos de grande porte, ou seja, auxilia no planejamento ambiental e na definição de medidas a serem tomadas.

Para observar a distribuição da ocorrência das classes de suscetibilidade à erosão nos diferentes tipos de uso e ocupação da área, foi realizada uma tabulação cruzada entre a Carta de Suscetibilidade à Erosão e o Mapa de Uso e Ocupação (DIAS, PEJON e COLLARES, 2013), conforme apresenta a Tabela 5.18.

Tabela 5.18 – Tabulação cruzada entre a Carta de Suscetibilidade à Erosão e o Mapa de Uso e Ocupação.

Tipos de Uso e Ocupação	**Área (km²) Ocupada pelas Classe de Suscetibilidade à Erosão**					
	Muito Baixa	Baixa	Média	Alta	Muito Alta	Total
Área Agrícola	668,65	1193,33	841,42	480,59	167,92	3351,91
Vegetação Natural	712,11	1301,12	906,95	167,59	123,11	3210,88
Área Urbana	11,57	20,26	19,55	14,82	3,66	69,85
Atividade Pontual(1)	3,57	6,71	3,67	3,13	0,74	17,82
Pastagem	461,96	1141,59	831,57	246,63	136,73	2818,48
Solo Exposto	5,08	9,87	7,10	3,46	2,54	28,05
Total	1862,94	3672,87	2610,26	916,22	434,70	9496,98

(1) Aeroporto, Subestação de energia, Indústria, Hidroelétrica e PCH (Pequena Central Hidroelétrica).

A classe de muito alta suscetibilidade à erosão ocorre principalmente nas áreas com atividades agrícolas (38,63% do total da classe), em seguida nas áreas de pastagem (31,45% do total da classe) e 28,32% do total da classe ocorre em áreas com vegetação natural, conforme mostra a Figura 5.94. Nas áreas agrícolas e de pastagens devem ser utilizadas técnicas de manejo visando à proteção dos solos, pois se houver o desencadeamento de processos erosivos nestas áreas, estes serão de grandes proporções, pois os fatores naturais aliados às práticas inadequadas de manejo, favorecem o desencadeamento e evolução destes processos. As áreas de vegetação natural devem ser preservadas, para prevenir a ocorrência de processos erosivos, pois a supressão da vegetação aumenta a velocidade do escoamento superficial das águas e potencializa os efeitos da erosão.

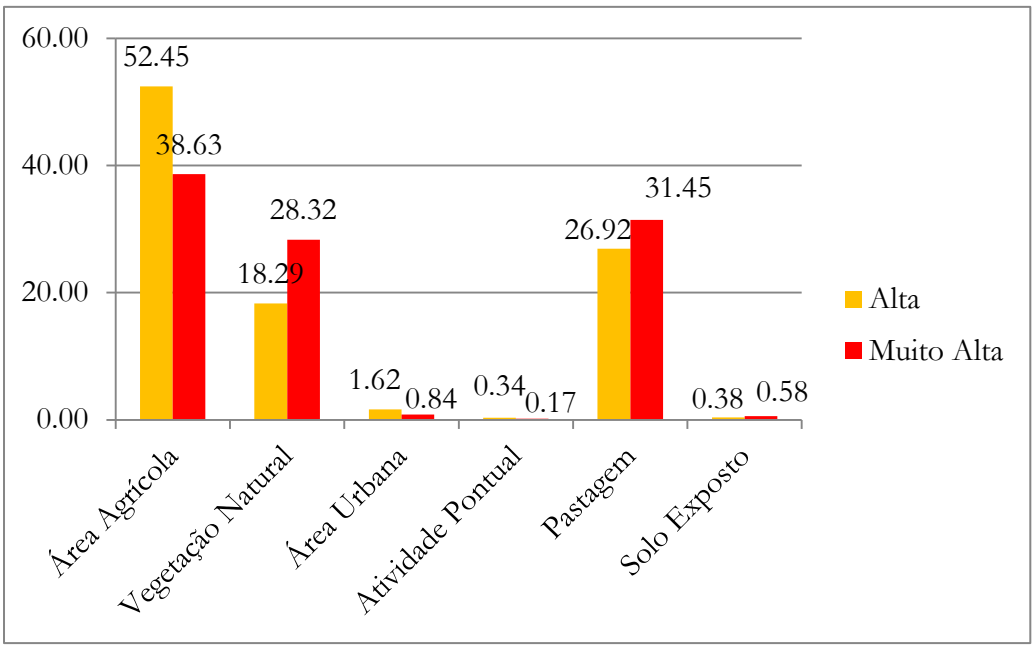


Figura 5.94 – Distribuição das classes de alta e muito alta suscetibilidade à erosão nos diferentes tipos de uso e ocupação do solo.

A Tabela 5.19 mostra a distribuição percentual das classes de suscetibilidade à erosão em relação à área total de cada tipo de uso e ocupação do terreno. Nota-se que as áreas urbanas ou de expansão urbana estão localizadas principalmente nas classes de média, baixa e muito baixa suscetibilidade à erosão, apenas 26,44% destas áreas possui alta ou muito alta suscetibilidade à erosão, no entanto é o tipo de uso que apresenta o maior percentual das classes de alta e muito alta suscetibilidade à erosão. Portanto, a instalação de equipamentos urbanos e implantação de loteamentos, nestes locais, deve ser feita de forma adequada, pois a

falta de projetos de drenagem podem favorecer o escoamento superficial e desencadear processos erosivos.

Tabela 5.19 – Distribuição percentual das classes de suscetibilidade à erosão em relação à área total de cada tipo de uso e ocupação do terreno.

	Tipos de Uso e Ocupação					
Classes de Suscetibilidade à Erosão (%)	**Área Agrícola**	**Vegetação Natural**	**Área Urbana**	**Atividade Pontual**	**Pastagem**	**Solo Exposto**
Muito Baixa	19,95	22,18	16,56	20,03	16,39	18,12
Baixa	35,60	40,52	29,00	37,64	40,50	35,18
Média	25,10	28,25	27,99	20,58	29,50	25,30
Alta	14,34	5,22	21,21	17,56	8,75	12,35
Muito Alta	5,01	3,83	5,23	4,17	4,85	9,05

Dos 2818,48 km² de pastagens na área de estudo, 40,50% estão na classe de baixa suscetibilidade à erosão, ao passo que 13,6% apresentam alta ou muito alta suscetibilidade à erosão. As áreas de alta e muito alta suscetibilidade, requerem maior atenção, pois muitas vezes os processos erosivos se iniciam nestas áreas, devido à baixa proteção que as pastagens oferecem aos solos e pela criação de trilhas (caminhos preferenciais) que o gado promove devido à sua locomoção e que favorecem a concentração das águas de escoamento superficial, facilitando assim a geração de processos erosivos.

5.5.3 Análise por Macrounidades

As macrounidades delimitadas por Gomes e Collares (2010), conforme apresentado no Capítulo 3, foram analisadas quanto à suscetibilidade à erosão e também em relação à ocorrência de processos erosivos.

Para analisar quanto à suscetibilidade, fez-se uma tabulação cruzada entre a Carta de Suscetibilidade à Erosão e a delimitação das macrounidades, assim foi possível obter a distribuição percentual das classes de suscetibilidade à erosão nas macrounidades, conforme apresenta a Tabela 5.20.

Para analisar quais são as macrounidades mais críticas em relação à ocorrência de processos erosivos, calculou-se em taxas percentuais a área correspondente a estes processos em cada macrounidade (Tabela 5.21). Com as taxas percentuais de área ocupada por erosão

obtidas, as macrounidades foram classificadas quanto à sua criticidade, através do procedimento estatístico Quebras Naturais (*Natural Breaks*), e resultou em três classes, conforme mostra a Tabela 5.22.

Tabela 5.20 – Distribuição percentual das classes de suscetibilidade à erosão nas Macrounidades.

	Classes de Suscetibilidade à Erosão (%)				
Macrounidade	**Muito Baixa**	**Baixa**	**Média**	**Alta**	**Muito Alta**
MB[01]	28,74	45,91	24,97	0,37	0,00
MB[02]	16,40	50,08	33,18	0,34	0,00
MB[03]	37,23	42,62	19,98	0,17	0,00
MB[04]	31,46	43,15	24,49	0,90	0,00
MB[05]	42,86	39,58	17,55	0,00	0,00
MB[06]	34,88	51,82	13,26	0,04	0,00
MB[07]	25,34	53,58	20,70	0,37	0,00
MB[08]	30,89	39,97	19,13	8,70	1,32
MB[09]	56,76	12,56	15,14	13,68	1,86
MB[10]	41,02	9,39	6,40	36,57	6,62
MB[11]	4,70	50,03	38,62	4,63	2,02
MB[12]	9,98	40,01	28,44	13,81	7,77
MB[13]	7,84	46,98	30,15	9,71	5,32
MB[14]	4,76	45,65	48,59	1,00	0,00
MB[15]	7,33	50,59	41,59	0,49	0,00
MB[16]	9,07	34,99	55,26	0,68	0,00
MB[17]	45,37	7,28	0,89	29,03	17,43
MB[18]	21,00	5,67	8,62	42,22	22,50
ML[19]	28,91	36,18	34,64	0,27	0,00
ML[20]	7,25	55,74	36,45	0,55	0,00
ML[21]	8,82	48,11	42,25	0,82	0,00
ML[22]	42,92	34,41	22,50	0,14	0,03
MM[23]	41,99	46,04	11,83	0,14	0,00
MM[24]	11,79	44,27	43,40	0,53	0,00
MM[25]	17,84	46,32	35,38	0,46	0,00
MM[26]	22,06	37,88	22,13	8,32	9,60
MM[27]	9,31	29,70	59,40	1,59	0,00
MM[28]	7,25	60,00	32,34	0,40	0,00
MM[29]	22,55	40,77	22,96	8,12	5,59
MM[30]	37,67	15,56	12,77	21,39	12,61
MM[31]	70,16	6,94	0,36	19,70	2,84
MM[32]	0,00	0,00	0,00	72,23	27,77
MM[33]	66,64	5,84	0,44	22,70	4,38
MM[34]	20,48	1,08	0,06	65,04	13,35

Tabela 5.21 – Dados referentes aos processos erosivos ocorrentes nas macrounidades.

Macrounidade	Área Total (km²)	Nº de Processos Erosivos	Área Total (km²) de Erosão	% de Área Ocupada por Erosão
MB[02]	72,56	1	0,00514178	0,007085907
MB[04]	611,45	1	0,005442121	0,000890031
MB[05]	81,08	5	0,07657486	0,094446344
MB[06]	135,51	3	0,025433728	0,018768727
MB[08]	108,23	1	0,009598137	0,008868467
MB[10]	262,92	10	0,419449621	0,159536291
MB[11]	79,54	1	0,001470794	0,001849034
MB[12]	453,01	13	0,098183051	0,021673409
MB[13]	2417,75	55	0,748524679	0,030959614
MB[16]	310,97	1	0,001513569	0,000486733
MB[17]	429,90	2	0,031558558	0,007340915
MB[18]	358,14	16	0,347553659	0,097043214
ML[20]	316,79	1	0,001302701	0,000411218
ML[21]	175,49	1	0,045545053	0,0259525
MM[23]	49,90	1	0,025378826	0,050864195
MM[26]	188,30	7	0,11225889	0,059616432
MM[28]	210,40	2	0,035797395	0,017014299
MM[29]	306,51	4	0,016718	0,005454267
MM[30]	303,22	11	0,372438709	0,122829479

Tabela 5.22 – Intervalos de valores e suas respectivas classes de criticidade.

Intervalos de Valores	Criticidade
< 0,018770	Baixa
0,018770 - 0,059616	Média
> 0,059617	Alta

Quanto à ocorrência de altos percentuais de áreas com alta e muito alta suscetibilidade à erosão, as macrounidades MM 32, MM 34, MB 18, MB 17, MB 10 e MM 30 se destacam, pois apresentam mais de 34% de suas áreas ocupadas por estas classes.

Em relação às macrounidades mais críticas quanto à ocorrência de processos erosivos, quatro apresentam alta criticidade, cinco apresentam média criticidade e o restante apresenta baixa criticidade, conforme apresenta a Figura 5.95.

A Tabela 5.23 sumariza as macrounidades que se destacam tanto em relação à suscetibilidade à erosão, como em relação à ocorrência de processos erosivos. Estas macrounidades que se destacam são analisadas na sequência.

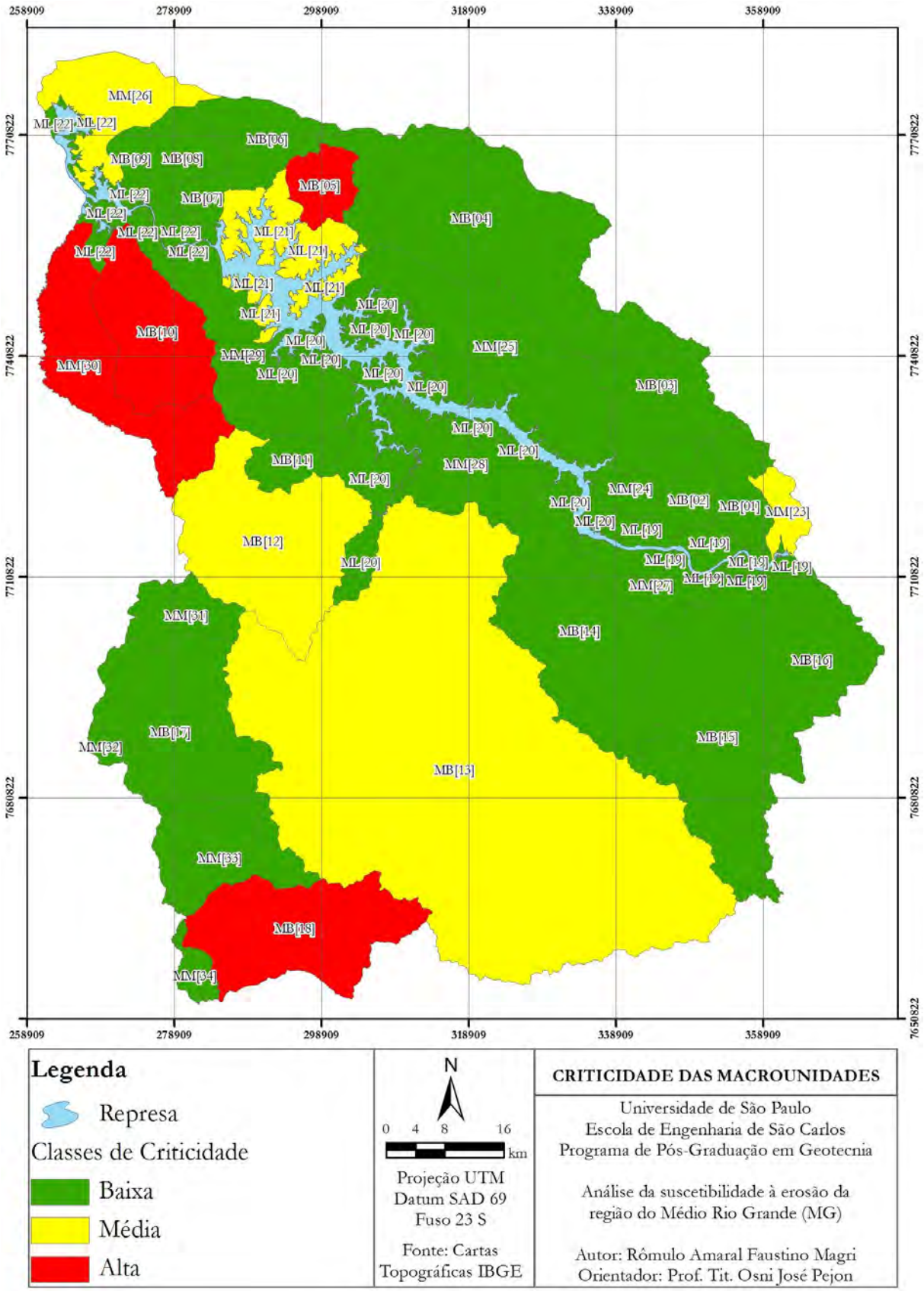


Figura 5.95 – Mapa de Criticidade das Macrocunidades em relação à área de processos erosivos.

Tabela 5.23 – Macrounidades que se destacam em relação à suscetibilidade e à ocorrência de processos erosivos.

Macrounidade	Alta e Muito Alta Suscetibilidade à Erosão	Criticidade Quanto à Ocorrência de Erosões
MB 05		x
MB 10	x	x
MB 17	x	
MB 18	x	x
MM 30	x	x
MM 32	x	
MM 34	x	

MB 05 - Ribeirão Bom Jesus

Os municípios de Delfinópolis e São Roque de Minas encontram-se parcialmente inseridos nesta macrounidade que possui 5 processos erosivos que juntos perfazem uma área de 76.574,86 m². Dois destes processos foram classificados como sulcos e estão em estágio incipiente, um encontra-se ativo (Figura 5.96) e o outro não apresenta indícios de mobilização de materiais. Os outros três processos erosivos foram classificados como ravinas, duas estão ativas (Figura 5.97) e uma apresenta sinais de estabilização (Figura 5.98).

Nota-se que não há ocorrência de boçorocas nesta macrounidade, isto é importante, pois também não há ocorrência das classes de alta e muito alta suscetibilidade à erosão. De um modo geral nota-se que os processos erosivos desta macrounidade estão associados a áreas de pastagem e há evidências da contribuição do gado para formação de caminhos preferenciais para escoamento das águas superficiais, resultando no desencadeamento de incisões no terreno, pois os solos apresentam textura variando entre silte a silte argiloso.

Figura 5.96 – (A e B) Concentração de sulcos em estágio incipiente (DEL-6).

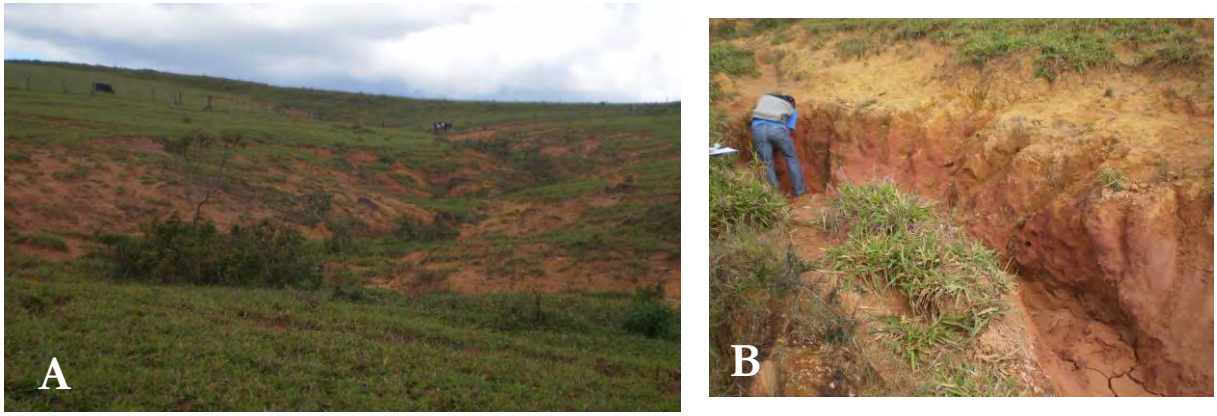


Figura 5.97 – (A e B) Ravinas ativas em estágio de evolução médio (DEL-5).

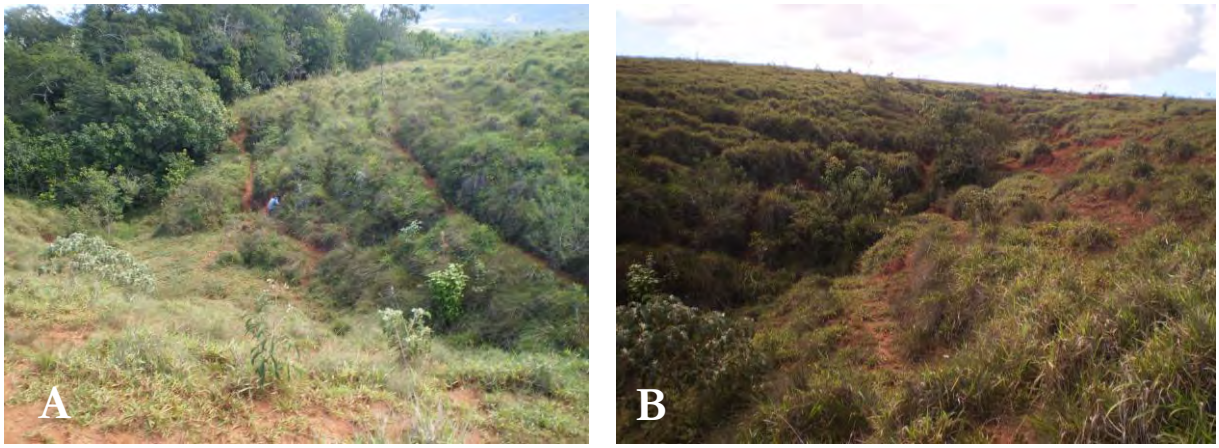


Figura 5.98 – (A e B) Ravinas com sinais de estabilização em estágio de evolução médio (DEL-3).

MB 10 - Ribeirão do Ouro

Esta macrounidade envolve parte dos municípios de Claraval e Ibiraci e destaca-se em relação à presença de áreas com alta e muito alta suscetibilidade à erosão, respectivamente 36,57 e 6,62% de sua área total se enquadram nestas classes. Destaca-se também quanto à ocorrência de processos erosivos, pois é a macrounidade que possui o maior percentual de áreas erodidas em relação à sua área total, são 419.449,62 m² que se encontram degradados por 10 processos erosivos lineares, sendo uma ravina localizada na classe de alta suscetibilidade à erosão e nove boçorocas, seis na classe alta e três na classe muito alta. Estes processos estão associados aos materiais inconsolidados constituídos por espessos pacotes de solo arenoso (Unidades 1 e 2).

Na Figura 5.99 (A) observa-se uma ravina que apresenta uma área de aproximadamente 9.600 m² e um comprimento de 250 metros, sendo caracterizada como uma erosão de encosta ativa, ou seja, está evoluindo para uma boçoroca.

A feição erosiva apresentada na Figura 5.99 (B) é o maior processo erosivo, tanto da macrounidade, como da área de estudo. Ocupa uma área de 100.409,20 m², comprimento de aproximadamente 500 m e profundidade superior a 15 metros. Apresenta várias ramificações, algumas com vegetação arbustiva e outras evidenciando que a mesma está ativa.

Na Figura 5.99 (C) é apresentada a boçoroca com maior profundidade (50 m) que ocorre nesta macrounidade. Com uma área de 2.379,73 m², caracteriza-se como uma erosão de encosta, ativa e em estágio avançado.

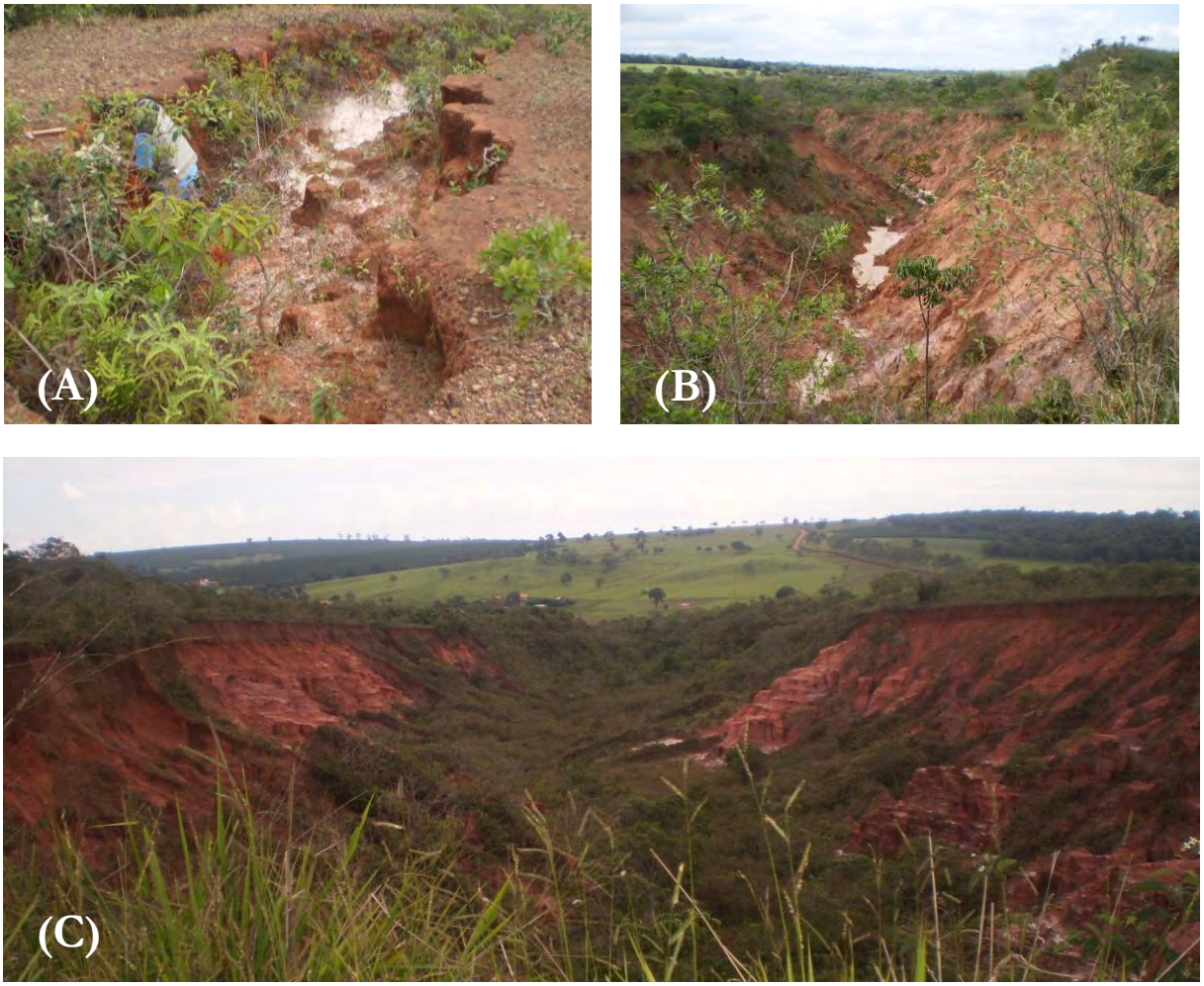


Figura 5.99 – (A) Ravina evoluindo para boçoroca (IB-18); (B) Boçoroca com maior área (IB-01); e (C) Boçoroca com maior profundidade (IB-08).

MB 17 – Rio do Esmeril

Esta macrounidade envolve parte dos municípios de São Sebastião do Paraíso e São Tomás de Aquino. Em 29,03% de sua área ocorre a classe de alta suscetibilidade à erosão e, em 17,43%, muito alta. Em relação aos processos erosivos, observa-se a ocorrência de uma boçoroca e uma concentração e sulcos que juntos perfazem uma área de 35.797,39 m² e estão localizados em áreas com muito alta suscetibilidade. A boçoroca corresponde a uma feição erosiva em estágio avançado e intensamente vegetada, o que evidencia o seu estado dormente, conforme apresenta a Figura 5.100.

Figura 5.100 – Feição erosiva intensamente vegetada (SSP-30).

MB 18 - Ribeirão do Pinheirinho

Esta macrounidade abrange parte dos municípios de Itamogi e Monte Santo de Minas. Destaca-se das demais por apresentar 42,22% de sua área na classe de alta suscetibilidade à erosão e 22,50% na classe muito alta, e também por possuir 347.553,66 m² de áreas degradadas por 16 processos erosivos lineares. Estes processos estão localizados em locais com alta e muito alta suscetibilidade à erosão e correspondem a uma concentração de sulcos, uma ravina e quatorze boçorocas.

A Figura 5.101 mostra a concentração de sulcos em estágio incipiente e em plena atividade (evoluindo para ravinas). A cobertura vegetal no entorno deste processo é composta por pastagens.

A feição erosiva apresentada na Figura 5.102 caracteriza-se como uma ravina com comprimento de 180 metros e área de 3.329 m² e intensamente vegetada, o que indica um estado de estabilização.

Figura 5.101 – Concentração de sulcos (MT-14).

Figura 5.102 – Ravina com indícios de estabilização (MT-16).

Das quatorze boçorocas, apenas duas estão ativas, o restante apresenta indícios de estabilização. A boçoroca apresentada na Figura 5.103 é uma feição erosiva de encosta, com

aproximadamente 100 m de comprimento, 5445,58 m² de área e profundidade de 10 metros. Encontra-se ativa, não apresenta vegetação em seu interior e possui várias ramificações.

Figura 5.103 – Boçoroca ativa (MT-15).

A Figura 5.104 apresenta uma boçoroca ativa com comprimento de 460 metros, profundidade de 35 metros e uma área de 53.066,97 m2. Apresenta 4 ramificação principais, sendo que uma delas é alimentada pelas águas de escoamento superficial que vem da estrada que passa ao lado. O lençol freático é aflorante gerando fenômenos de erosão interna (piping) e há uma grande produção de sedimentos (Figura 5.105). Em alguns pontos observa-se uma vegetação intensa formada por espécies arbustivas (Figura 5.105).

Figura 5.104 – Boçoroca com surgência de água (MT-3).

Figura 5.105 – Sedimentos e vegetação de boçoroca (MT-3).

A boçoroca apresentada na Figura 5.106 caracteriza-se como erosão de encosta que apresenta uma área de 40.910,51 m², comprimento de 410 metros e profundidade de 25 metros. Apesar do lençol freático ser aflorante, esta feição apresenta vegetação de grande porte em algumas de suas ramificações, o que evidencia uma possível estabilização.

Figura 5.106 – Boçoroca (MT-4).

MM 30 - Ribeirão São Tomé

Os municípios de Capetinga, Claraval e Ibiraci fazem parte desta macrounidade, que apresenta 21,39% e 12,61% de sua área total com alta e muito alta suscetibilidade à erosão, respectivamente. Em relação aos processos erosivos, a macrounidade possui 11, sendo que são sete boçorocas e quatros ravinas, que juntas degradam uma área de 372.438,71 m².

As ravinas apresentam estágio de evolução médio e estão localizadas em áreas de muito alta suscetibilidade à erosão, conforme a Figura 5.107 apresenta.

Figura 5.107 – Ravina em estado ativo (CP-03).

Todas as boçorocas apresentam estágio de evolução avançado, em relação às classes de suscetibilidade à erosão, na classe baixa ocorre uma feição, na classe média também ocorre somente uma feição que apresenta sinais de estabilização, e o restante (5 feições) estão na classe de muito alta suscetibilidade à erosão. Com uma área de 77.679,20 m², comprimento de 300 m e profundidade de 10 metros, a feição erosiva de encosta apresentada na Figura 5.108, caracteriza-se com uma boçoroca em estado ativo, apresenta uma vegetação rasteira e possui várias ramificações.

Figura 5.108 – Boçoroca com vegetação rasteira (IB-25).

MM 32 – Rio Jaborandi

Localizada no município de São Sebastião do Paraíso, toda a área de abrangência desta macrounidade apresenta alta e muito alta suscetibilidade à erosão, 72,23% e 27,77% respectivamente. No entanto, não foi observado nenhum processo erosivo, uma possível explicação para isso, é que mais de 70% de sua área é coberta por vegetação natural, composta por matas, o que favorece a dispersão das águas do escoamento superficial e protege os solos, logo, as atividades nesta área devem ser realizadas visando à preservação destas matas, assim previne-se o desencadeamento de processos erosivos lineares.

MM34 – Ribeirão do Baú

Os municípios de Itamogi e Monte Santo de Minas encontram-se parcialmente inseridos nesta macrounidade que possui 65,04 e 13,35% de seus terrenos pertencentes às classes de alta e muito alta suscetibilidade à erosão, respectivamente. Apesar disto, não foi observada nenhuma ocorrência de processos erosivos, assim pode-se dizer que o uso e ocupação não foi impactante, ou foram adotadas técnicas de manejo do solo adequadas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A região do Médio Rio Grande apresenta uma área de aproximadamente 1393,70 km² com alta e muito alta suscetibilidade à erosão, o que representa 14,23% do total. Apesar de haver áreas com declividades consideradas elevadas, estas não apresentam alta suscetibilidade à erosão, pois o substrato rochoso que as sustentam não permite o desenvolvimento de pacotes de materiais inconsolidados espessos, nestes locais, na maioria das vezes a rocha é aflorante e apresenta alto grau de resistência ao intemperismo. As áreas com alta e muito alta suscetibilidade à erosão estão associadas, principalmente, aos materiais inconsolidados com textura arenosa e pacotes espessos oriundos das Formações Aquidauana e Botucatu.

O inventário de feições foi fundamental para se conhecer os processos erosivos que ocorrem na área de estudo e sua distribuição espacial, além de ser útil para a validação da Carta de Suscetibilidade à Erosão. Os processos cadastrados, de um modo geral, são de grande porte estão em estado ativo, degradam áreas extensas e estão associados, principalmente, aos arenitos das Formações Aquidauana e Botucatu.

Ao confrontar os dados levantados no inventário com a Carta de Suscetibilidade à Erosão, conclui-se que a carta conseguiu retratar bem a suscetibilidade da área, pois em torno de 80% dos processos erosivos de grande porte (boçorocas) estão situados nas classes de alta e muito alta suscetibilidade à erosão.

O método de compartimentação do relevo utilizando imagens de satélite, carta de declividade e mapa topográfico mostrou-se eficiente, pois permitiu identificar com facilidade nove tipos de relevo, a saber: colinas, morros, morros com encostas suavizadas, morrotes, escarpas, serras, platôs e planícies, que foram subdivididos em cinquenta e seis unidades de terreno, que apresentam as mesmas características de evolução. O Mapa de *Landforms* gerado permitiu a melhor definição de pontos de amostragem em campo, tornando esta etapa mais ágil e menos onerosa e assim, também pôde ser utilizado para a definição de unidades de materiais inconsolidados.

Apesar de ter sido um documento cartográfico extremamente importante, o Mapa de *Landforms* não foi utilizado diretamente na elaboração da carta de suscetibilidade à erosão, pois, por mais homogêneas que sejam as unidades, as variações da declividade ao longo das encostas e topo das formas, são expressivas e devem ser consideradas, logo, em relação aos

aspectos do relevo, considerou-se a declividade de forma isolada, permitindo assim uma maior fragmentação da mesma (classes) e também considerou-se a curvatura das encostas em relação ao perfil horizontal e vertical.

Em relação ao Mapa de Materiais Inconsolidados, a metodologia utilizada possibilitou retratar o comportamento destes frente à ocorrência de processos erosivos, pois foi considerado um perfil de alteração típico para cada uma das 17 unidades mapeadas, assim a textura e espessura de cada nível de solo foram representadas em um único documento cartográfico. No entanto, estes não puderam ser diferenciados quanto ao seu aspecto genético, devido à expressão da área de estudo e à escala de trabalho adotada.

Quanto às macrounidades que compõem a área de estudo, as que apresentam maiores percentuais de áreas com alta e muito alta suscetibilidade à erosão são: MM 32, MM 34, MB 18, MB 17, MB 10 e MM 30 e, em relação a criticidade quanto à ocorrência de processos erosivos, ou seja, as que apresentam maior percentual de áreas degradadas por processos erosivos em relação à sua área total destacam-se, em ordem de importância, a MB 10, MM 30, MB 18 e MB 05. Nota-se que as macrounidades MB 10, MB 18 e MM 30, se destacam nos dois quesitos, apresentam alta suscetibilidade e alto percentual de áreas degradadas, assim recomenda-se a que tomada de ações seja prioritária nestas macrounidades.

Para fins de Zoneamento Ambiental da região do Médio Rio Grande, sugere-se analisar as macrounidades compartimentadas, pois algumas delas possuem uma área bastante expressiva e uma grande heterogeneidade quanto aos materiais geológicos, como a sub-bacia do Rio São João (MB 13), que possui 55 processos erosivos que degradam uma área de 0,75 km². Estes processos, de um modo geral, são de grande porte e merecem uma atenção especial, pois muitos estão localizados em áreas urbanas e/ou de expansão urbana, causando riscos geotécnicos e ambientais. No entanto, ao se analisar o percentual de áreas degradadas por erosões e, o percentual de áreas nas classes de alta e muito alta suscetibilidade à erosão em relação à sua área total, esta macrounidade não é considerada crítica devido à sua extensão.

A Carta de Suscetibilidade à Erosão produzida levou em conta somente atributos do meio físico, assim a mesma não reflete a influência antrópica na suscetibilidade à erosão e sim a suscetibilidade natural da área. Este produto cartográfico, de uma forma simplificada, indica quais são as áreas em que se deve ter um controle mais rígido do uso e ocupação do solo para

prevenir o desencadeamento de processos erosivos de grande porte, ou seja, auxilia no planejamento ambiental e na definição de medidas a serem tomadas. No entanto, ao serem realizadas intervenções antrópicas na área, recomenda-se que sejam realizados estudos mais detalhados, pois a carta tem finalidade orientativa e possui escala regional.

REFERÊNCIAS[1]

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 14114:** Solo - Solos Argilosos dispersivos - Identificação e classificação por meio do ensaio do furo de agulha (pinhole test). Rio de Janeiro, 1998.

_____. **NBR 7181**: Solo – Análise Granulométrica. Rio de Janeiro, 1984.

ALATORRE, L. C.; BEGUERÍA, S. Identification of eroded areas using remote sensing in a badlands landscape on marls in the central Spanish Pyrenees. **Catena**, [S.I.], v. 76, p. 182-190, 2009.

ALMEIDA, A. F.; GONÇALVES, H. L. R.; COLLARES, E. G.; MAGRI, R. A. F. Levantamento de Processos Erosivos e Movimentos de Massa para fins do Zoneamento Ambiental das Sub-Bacias Hidrográficas do Médio Rio Grande. In: **I Seminário de Pesquisa e Extensão**, 2011, Passos: 2011.

ALVES, D. S. Sistemas de Informação Geográfica. In: Simpósio Brasileiro de Geoprocessamento, 1990, São Paulo. **Anais...** São Paulo: USP, 1990.

AMARAL, C. H.; MACEDO, A. B.; DALMAS, F. B.; GOVEIA, S. S. Evolução do uso e cobertura do solo e a suscetibilidade natural à erosão das Áreas de Preservação Permanente da Folha "Pariquera-Açu" (1:50.000, SG.23-V-A-IV-1), Vale do Ribeira, SP. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 15., 2011, Curitiba. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2011. v. 1.

ARAUJO, T. P**. Estudo do desencadeamento das erosões lineares concentradas em uma área do município de São Pedro/SP**. 2011. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.

AUGUSTO FILHO, O. Análise de métodos de interpolação de modelo digital de terreno e aplicação em SIG de gestão de riscos geotécnicos e ambientais em oleodutos. In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental, 13., São Paulo. **Anais...** São Paulo, 2011. v. 1. p. 1-9.

BAHIA, V. G.; CURI, N.; CARMO, D. N.; GRANATE SÁ, J. J.; MARQUES, M. Fundamentos de erosão do solo. In: **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.16, n.176, p.25-31. 1992

BELCHER, D. J. **The Engineering Significance of *Landforms***. Highway Research Board Bulletin, n.13. 1948.

[1] De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6023.

BENNETT, H. H. **Soil Conservation.** New York and London: McGraw-Hill, 1939.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do Solo.** Piracicaba: Livro Ceres, 1985. 392 p.

BITAR, O. Y.; FORNASARI FILHO, N.; VASCONCELOS, M. M. T.; SILVA, W. S. **O Meio Físico em Estudos de Impacto Ambiental.** 1. ed. São Paulo: IPT (Publicação 1823), 1990. v. 1. 25 p.

BOTELHO, R. G. M. Planejamento Ambiental em Microbacias Hidrográficas. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M. (orgs.) **Erosão e Conservação dos Solos: Conceitos, Temas e Aplicações.** Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999.

BRASIL. Lei 9.433 de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos. **Diário Oficial da União**, Brasília, 1997.

BURROUGH, P. A. **Principles of geographical information system for land resources assessment.** Oxford: Clarendon Press, 1987. 193p.

CÂMARA, G.; MEDEIROS, J. S. **Geoprocessamento em Projetos Ambientais.** 1ed. São José dos Campos: INPE, 1998. v. único. 190 p.

CANIL, K. Proposta metodológica para elaboração de cartas geotécnicas voltadas à prevenção de erosão. In: Simpósio Nacional de Controle de Erosão, 7., 2001, Goiânia. **Anais...** Goiânia: 2001.

CANIL, K.; IWASA, O. Y.; SILVA, W. S.; ALMEIDA, L. E. G. Mapa de feições erosivas lineares do Estado de São Paulo: uma análise qualitativa e quantitativa. In: Simpósio Nacional de Controle de Erosão, 5., 1995, Bauru. **Anais...** Bauru: 1995. p. 1-545.

CAPISTRANO FILHO, G.W. Identificação de áreas não antropizadas no Distrito Federal favoráveis a amostragem de solo visando o estabelecimento do Valor de Referência de Qualidade – VRQ. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 7., 2011, Curitiba. **Anais...** Curitiba: 2011. INPE p.7206.

CARSON, M. A.; KIRKBY, M. J. **Hillslope form and process.** Oxford: Cambridge University Press, 1975.

CERRI, L. E. S.; AMARAL, C. P. Riscos Geológicos. In: OLIVEIRA, A. M. S.; BRITO, S. N. A. (Eds.) **Geologia de Engenharia**. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 1998.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo: E. Bücher; Ed. da Universidade,1988. 149p.

COELHO NETTO, A. L. Hidrologia de Encosta na Interface com a Geomorfologia. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (Orgs.). **Geomorfologia: Uma Atualização de Bases e Conceitos.** Rio de Janeiro: Bertrand, 1994. 472p.

COLLARES, E. G.; LORANDI, R. A Caracterização dos Materiais Inconsolidados na Compartimentação Geotécnica da Região de Bragança Paulista – SP. In: **Revista do Instituto Geológico**. São Paulo, v. especial, p. 115-120., 1995.

COMIG – Companhia Mineradora de Minas Gerais. **Mapa Geológico do Estado de Minas Gerais – 1:1.000.000**. COMIG/SEME: 1994.

CORDANI, U. G.; TAIOLI, F. A Terra, a Humanidade e o Desenvolvimento Sustentável. In: TEIXEIRA, W.; TOLEDO, M. C. M.; FAIRCHILD, T. R.; TAIOLI, F. (Orgs.). **Decifrando a Terra.** São Paulo: Oficina de Textos, 2000.

CPRM – Serviço Geológico do Brasil. **Mapa Geológico da Folha de Alpinópolis - SF23-V-B-IV, na escala de 1:100.000**. CPRM: 2005.

_____. **Mapa Geológico da Folha de Delfinópolis - SF-23-V-A-III, na escala de 1:100.000**. CPRM: 2008.

_____. **Mapa Geológico da Folha de São Sebastião do Paraíso - SF.23-V-A-VI, na escala de 1:100.000.** CPRM: 2006.

CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S.; FILHO, P. H.; FLORENZANO, T. G.; DUARTE, V.; BARBOSA, C. C. F. **Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento Aplicados ao Zoneamento Ecológico-Econômico e ao Ordenamento Territorial.** São José dos Campos: INPE, 2001.

CUNICO, C. **Zoneamento Ambiental da Bacia Hidrográfica do rio Marumbi – PR: Perspectivas para a Análise e Avaliação das Condições Sócio-Ambientais.** 2007. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

DIAS, C. C.; PEJON, O. J.; COLLARES, E. G. **Caracterização do uso e ocupação do terreno nas unidades ambientais e nos macrocompartimentos da porção média do Rio Grande.** Passos: FESP/UEMG, Dezembro, 2013. (Relatório Técnico-Científico – Projeto Grande Minas: União pelas Águas).

DRĂGUŢ, L.; BLASCHKE, T. Automated classification of *landforms* elements using object-based image analysis. **Geomorphology**, [S. I], v. 81, p. 330-344, 2006.

ELLISON, W. D. Soil erosion studies - Part I. **Agricultural Engineering**, v. 28, n. 4, p.145-146, 1947.

FÁCIO, J. A. **Proposição de uma Metodologia de Estudo da Erodibilidade dos Solos do Distrito Federal**. 1991. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, 1991.

FENDRICH, R. Erosão Urbana. In: FENDRICH, R.; OBLADEN, N. L.; AISSE, M. M.; GARCIAS, C. M. **Drenagem e Controle da Erosão Urbana.** Curitiba: Champagnat, 1997. 486 p.

FERES, R**. Análise de processos de erosão acelerada, com base em fotografias aéreas e geoprocessamento Bacia do Rio Bonito (Descalvado, SP)**. 2002. Tese (Doutorado em Ecologia e Recursos Naturais) – Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2002.

FERNANDES, G. T.; et al. Mapa de Risco de Erosão e Contaminação Superficial da Microbacia do Córrego Samambaia – Df/Brasil. **Revista Estudos**, Goiânia, v. 34, n. 11/12, p. 861-873, 2007.

FERREIRA, J. C. **Estudo Socioeconômico dos Municípios Pertencentes às Sub-Bacias Hidrográficas dos Afluentes Mineiros do Médio Rio Grande para fins do Zoneamento Ambiental.** 2010. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade do Estado de Minas Gerais, Fundação de Ensino Superior de Passos, Passos: 2010.

FERREIRA, M. D. **Proposta de Índice de Processos Erosivos Acelerados a partir de Levantamento e Diagnóstico Geológico-Geotécnico de Áreas Degradadas.** 2008. Tese (Doutorado em Geotecnia) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

FERREIRA, M. D.; PEJON, O. J.; ZUQUETTE, L. V. Inventário de processos erosivos na bacia do Ribeirão Bonito (São Paulo-Brasil). In: Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental,7., 2010, Maringá. **Anais...** Maringá: ABGE, 2010. v. 1. p. 1-12.

FLORENZANO, T.G. **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. 320 p.

FOURNIER, F. **Climat et erosion.** Press Universitaires de France, 1960.

GOMES, M. F. A. Projetos para conservação de solo dependem de conscientização para serem valorizados. **Gazeta Regional**, Jaguariúna, 21 Abril 2007. Disponível em: <http://www.cnpma.embrapa.br/nova/mostra2.php3?id=275>. Acesso em: 10 janeiro 2012.

GOMES, D. M.; COLLARES, E. G. **Compartimentação Territorial das Sub-Bacias Hidrográficas dos Afluentes Mineiros do Médio Rio Grande em Macrounidades Ambientais e Unidades Territoriais Básicas - UTB´S.** Passos: FESP/UEMG, Dezembro, 2010. 38p. (Relatório Técnico-Científico – Projeto Grande Minas: União pelas Águas).

GOMES, D. M.; COLLARES, E. G. **Classificação das Unidades Geológicas do Médio Rio Grande**. Passos: FESP/UEMG, 2011. (Relatório Técnico-Científico – Projeto Grande Minas: União pelas Águas).

GRECCHI, R. C.; PEJON, O. J. Estudos geoambientais da região de Piracicaba (SP), focalizando o problema da erosão linear, com auxílio do Sistema de Informação Geográfica – IDRISI. In: Simpósio Nacional de Controle de Erosão, 6., 1998, Presidente Prudente. **Anais...** Presidente Prudente: ABGE, 1998.

GUERRA, A. J. T. Início do processo erosivo. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M. (Orgs.) **Erosão e Conservação dos Solos: Conceitos, Temas e Aplicações.** Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999.

GUERRA, A. J. T. Processos Erosivos nas Encostas. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (Orgs.). **Geomorfologia: Uma Atualização de Bases e Conceitos.** RIO DE JANEIRO: BERTRAND, 1994. 500 p.

GUIMARÃES, C. N. **Mapeamento geotécnico da bacia córrego da Barra, aplicação do penetrômetro de impacto em estudos de processos erosivos São Pedro - SP - escala 1: 10.000.** 2008. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

HARGERTY, D. J. Pipping/sapping erosion. I: Basic considerations. **Journal of Hydraulic Engineering**, v. 117. New York, p. 991-1008. 1991.

HILLEL, D. **Environmental Soil Physics**. San Diego: Academic Press, 1998. 771 p.

HUDSON, N. **Soil conservation.** 2 ed. Ithaca: Cornell University Press, 1981.

HUTCHINSON, M.F. A new procedure for gridding elevation and stream line data with automatic removal of spurious pits. **Journal of Hydrology** 106: 211-232. 1989.

HUTCHINSON, M.F. Calculation of hydrologically sound digital elevation models. Paper presented at **Third International Symposium on Spatial Data Handling** at Sydney, Australia.1988.

IAEG - International Association of Engineering Geology. **Engineering geological maps: a guide to their preparation.** Paris: Unesco Press, 1976.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Carta Topográfica – Folha de Alpinópolis (SF-23-V-B-IV-3).** Rio de Janeiro, 1970a. Escala 1: 50.000.

_____. **Carta Topográfica – Folha de Capetinga (SF-23-V-A-V-2)**. Rio de Janeiro, 1972a. Escala 1: 50.000.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Carta Topográfica – Folha de Capitólio (SF-23-V-B-IV-2)**. Rio de Janeiro, 1970b. Escala 1: 50.000.

_____. **Carta Topográfica – Folha de Carmo do Rio Claro (SF-23-V-B-IV-4)**. Rio de Janeiro, 1970c. Escala 1: 50.000.

_____. **Carta Topográfica – Folha de Cássia (SF-23-V-A-VI-1)**. Rio de Janeiro, 1971a. Escala 1: 50.000.

_____. **Carta Topográfica – Folha de Chapadão da Zagaia (SF-23-V-A-III-1)**. Rio de Janeiro, 1971b. Escala 1: 50.000.

_____. **Carta Topográfica – Folha de Delfinópolis (SF-23-V-A-III-3)**. Rio de Janeiro, 1971c. Escala 1:50.000.

_____. **Carta Topográfica – Folha de Desemboque (SF-23-V-A-II-2)**. Rio de Janeiro, 1972b. Escala 1:50.000.

_____. **Carta Topográfica – Folha de Fortaleza de Minas (SF-23-V-A-VI-4)**. Rio de Janeiro, 1970d. Escala 1:50.000.

_____. **Carta Topográfica – Folha de Furnas (SF-23-V-B-IV-1)**. Rio de Janeiro, 1971d. Escala 1:50.000.

_____. **Carta Topográfica – Folha de Itamogi (SF-23-V-B-II-2)**. Rio de Janeiro, 1971. Escala 1:50.000.

_____. **Carta Topográfica – Folha de Jacui (SF-23-V-C-III-2)**. Rio de Janeiro, 1970e. Escala 1:50.000.

_____. **Carta Topográfica – Folha de Marechal Mascarenhas (SF-23-V-A-II-4)**. Rio de Janeiro, 1972c. Escala 1:50.000.

_____. **Carta Topográfica – Folha de Monte Santo de Minas (SF-23-V-C-III-1)**. Rio de Janeiro, 1970f. Escala 1:50.000.

_____. **Carta Topográfica – Folha de Nova Resende (SF-23-V-D-I-1)**. Rio de Janeiro, 1970g. Escala 1:50.000.

_____. **Carta Topográfica – Folha de Passos (SF-23-V-A-VI-2).** Rio de Janeiro, 1971e. Escala 1:50.000.

_____. **Carta Topográfica – Folha de Pedregulho (SF-23-V-A-II-3)**. Rio de Janeiro, 1972. Escala 1:50.000.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Carta Topográfica – Folha de Rifaina (SF-23-V-A-II-1)**. Rio de Janeiro, 1972. Escala 1:50.000.

_____. **Carta Topográfica – Folha de São Sebastião do Paraíso (SF-23-V-A-VI-3)**. Rio de Janeiro, 1971f.Escala 1:50.000.

_____. **Carta Topográfica – Folha de São Tomaz do Aquino (SF-23-V-A-V-4)**. Rio de Janeiro, 1972d. Escala 1:50.000.

_____. **Carta Topográfica – Folha de Serra da Canastra (SF-23-V-A-III-2)**. Rio de Janeiro, 1971g. Escala 1:50.000.

_____. **Carta Topográfica – Folha de Serra da Guarita (SF-23-V-A-III-4).** Rio de Janeiro, 1971h. Escala 1:50.000.

_____. **Carta Topográfica – Folha de Vargem Bonita (SF-23-V-B-I-3)**. Rio de Janeiro, 1970h. Escala 1:50.000.

IDE, D. M. **Investigação geotécnica e estudo de um processo erosivo causado por ocupação urbana.** 2009. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.

IGAM - Instituto Mineiro de Gestão das Águas. **Comitês e Unidades de Planejamento: Bacia Hidrográfica do Médio Rio Grande (GD7)**. Disponível em: <http://www.igam.mg.gov.br/component/content/150?task=view>. Acesso em: 24 fevereiro 2013.

INDERBITZEN, A. L. An Erosion Test for Soils. **Materials Research & Standards**. Philadelphia, v.1, n.7, p. 553-554, 1961.

INFANTI JR.; FORNASARI FILHO, N. Processos de Dinâmica Superficial. In: OLIVEIRA, A. M. S.; BRITO, S. N. A. (Eds.) **Geologia de Engenharia**. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 1998.

INPE. TOPODATA Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil, 14 ago. 2008. Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/topodata/index.php>. Acesso em: 10 maio 2012.

IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas. **Consolidação do projeto orientação para o controle à erosão no Estado de São Paulo.** São Paulo: IPT, 1989.

_____. **Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo: mapas.** São Paulo: IPT, 1981.

_____. **Orientações para o combate à erosão no estado de São Paulo: Bacia do Peixe - Paranapanema.** São Paulo: IPT - Relatório, 1986.

IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas. **Tecnologia Ambiente e Desenvolvimento.** São Paulo: IPT, 1992.

IWASA, O. Y.; FRENDRICH, R. Controle da Erosão Urbana. In: OLIVEIRA, A. M. S.; BRITO, S. N. A. **Geologia de Engenharia**. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 1998.

JORGE, F. N.; UEHARA, K. Águas de Superfície. In: OLIVEIRA, A. M. S.; BRITO, S. N. A. (Eds.) **Geologia de Engenharia**. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 1998.

LAL, R. Erodibility and erosivity. In: LAL, R. (Ed.). **Soil erosion research methods.** Ankeny: Soil and Water Conservation Society Wageningen, 1988. 244 p.

_____. **Soil erosion in the tropics: Principles and Management.** New York: McGraw-Hill, 1990.

LANNA, A. E. L. **Gerenciamento de Bacia Hidrográfica: aspectos conceituais e metodológicos.** Brasília, Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, 1995.

LOLLO, J. A**. O uso da técnica de avaliação do terreno no processo de elaboração de mapeamento geotécnico: sistematização e aplicação para a quadrícula de Campinas (SP).** 1996. Tese (Doutorado em Geotecnia) Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1996.

LUEDER, D. R. **Aerial Photographic Interpretation Principles and Applications.** McGraw-Hill, New York. 1959.

MACMILLAN, R. A. PETTAPICE, W. W.; NOLAN, S. C. GODDARD, T. W. A generic procedure for automatically segmenting *landforms* into *landforms* elements using DEM's, heuristic rules and fuzzy logic. **Fuzzy Sets and Systems**, [S.I.], v. 113, p. 81-109, 2000.

MAGRI, R. A. F. **Elaboração da Carta de Potencial ao Escoamento Superficial das Águas nas Sub-bacias Hidrográficas dos Afluentes Mineiros do Médio Rio Grande - MG**. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade do Estado de Minas Gerais, Fundação de Ensino Superior de Passos, Passos: 2010.

MARÇAL, M. S.; GUERRA, A. J. T. Indicadores ambientais relevantes para a análise da suscetibilidade à erosão dos solos em Açailândia (MA). **Revista Brasileira de Geomorfologia**, Ano 4, Nº 2, 2003.

MATHEUS, I. C. **Proposta de Metodologia para Dimensionamento da Espessura de Núcleos Argilosos em Barragens Baseada em Ensaio Pinhole.** 2006. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2006.

MATULA, M. Principles and types of engineering geological zoning. **Mem. Soc. Geo. Int.**, Itália, n. 14, p. 327-336, 1976.

MAURO, J. R. **Carta de Susceptibilidade à Erosão para a Área da Bacia do Prosa, Campo Grande – MS: Escala 1:15.000.** 2001. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia Civil de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2001.

MENEZES, M. B. M. **Análise da influência do teor de umidade na absorção d'água e sucção dos solos em estudo de erodibilidade.** 2010. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.

MINAS GERAIS. Lei 13.199 de 29 de janeiro de 1999. Dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos e dá outras providências. **Diário do Executivo**, Belo Horizonte, 1999.

MINAS GERAIS, Secretaria de Estado da Agricultura. **Zoneamento agroclimático de Minas Gerais**. Belo Horizonte/MG, 1980. Disponível em: <http://www.geominas.mg.gov.br/> Acesso em 13 setembro 2011.

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

MONTAÑO, M. **Os recursos hídricos e o zoneamento ambiental: o caso do município de São Carlos (SP).** 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2002.

MORAIS, F.; BACELLAR, L. A. P.; SOBREIRA, F. G. Análise da erodibilidade de saprolitos de gnaisse. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** (Impresso), Viçosa, v. 28, p. 1055-1062, 2004

MORGAN, R. P. C. **Erosión y conservación del suelo.** Madrid: Ediciones Mundi-Prensa, 1996. 343p.

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

MOURA, A. C. M. **Geoprocessameto na gestão e planejamento urbano.** Belo Horizonte: Ed. da autora, 2003. 249 p.

NISHIYAMA, L. **Procedimentos de mapeamento geotécnico como base para análise e avaliações ambientais do meio físico em escala 1:100.000 aplicação no município de Uberlândia - MG.** 1998. Tese (Doutorado em Geotecnia) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1998.

ODUM, E. P. **Ecologia.** Rio de Janeiro: Guanabara, 1988.

OLIVEIRA, A. M. S. Assoreamento em cursos e corpos d'água. In: BITAR, O. Y. (Coord.). **Curso de Geologia Aplicada ao Meio Ambiente**. São Paulo: IPT, 1995.

OLIVEIRA, A. M. S.; PONÇANO, W. L.; SALOMÃO, F.X.T.; DONZELI, P.L.; ROCHA, G.A.; VALÉRIO FILHO, M. Questões metodológicas em diagnósticos regionais de erosão: a experiência pioneira da Bacia do Peixe-Paranapanema, SP. In: Simpósio Nacional de Controle de Erosão, 3., Marília, 1987. **Anais...** São Paulo: ABGE, p. 51-71.

PASTORE, E. L. **Maciços de solos saprolíticos como fundação de barragens de concreto gravidade.** 1992. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1992.

PEJON, O. J. **Mapeamento Geotécnico Regional da Folha de Piracicaba-SP (Escala 1:100.000): Estudo de Aspectos Metodológicos, de Caracterização e de Apresentação de Atributos.** 1992. Tese (Doutorado em Geotecnia) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1992.

PEJON, O. J.; ZUQUETTE, L. V. Elaboração de cartas de zoneamento geotécnico: exemplo da folha de Piracicaba, São Paulo - escala: 1.100.000. **Revista Instituto Geológico.** São Paulo, Volume Especial, 1995.

PEREIRA, T. C. F. K. **Avaliação de Aspectos Socioeconômicos e de Intervenções Antrópicas para fins de Zoneamento Ambiental das Sub-Bacias Hidrográficas do Médio Rio Grande.** 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2012.

PETAN, S.; TAVEIRA-PINTO, F.; MIKOŠ, M.; PAIS-BARBOSA, J. Modelação da erosão do solo da bacia hidrográfica do Rio Leça, com a Equação RUSLE e SIG. **Revista da Associação Portuguesa de Recursos Hídricos**, [S.I.], v. 31, p. 99-110. 2010

PICHLER, E. Boçoroca. **Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia**, São Paulo, v. 2, n.1, p. 3-16, 1953.

PINHEIRO, M. R. **Técnicas cartográficas e aerofotogramétricas no estudo da erosão: alta bacia do Ribeirão Araguá - São Pedro e Charqueada / SP.** 2009. Dissertação (Mestrado em Geografia Física) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

PONÇANO, W. L.; PRANDINI, F.L. 1987. Boçorocas no Estado de São Paulo: Uma Revisão. In: **Simpósio Nacional de Controle de Erosão**, 3, Marília, 1987. Anais... São Paulo:ABGE, p. 51-71.

PROIN/CAPES e UNESP/IGCE. **Material Didático: arquivos de transparências (CD).** Rio Claro: Departamento de Geologia Aplicada, 1999. Disponível em: <http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/ead/interacao/inter08b.html> Acesso em: 20 agosto 2010.

PRUSKI, F. F. Prejuízos Decorrentes da Erosão Hídrica e Tolerância de Perdas de Solo. In: PRUSKI, F. F. (Ed.). **Conservação de solo e água: práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica.** Viçosa: Editora UFV, 2006. 240 p.

PRUSKI, F. F.; RODRIGUES, L. N.; SILVA, D. D. Modelo hidrológico para estimativa do escoamento superficial em áreas agrícolas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 5, n. 2, p. 301-307, 2001.

RADAMBRASIL. **Levantamento de Recursos Naturais.** Rio de Janeiro, Folha SE,23/24. Rio de Janeiro/Vitória, vol. 32. 1983.

RIBEIRO, F. L. **Mapa de vulnerabilidade à erosão da região do alto rio pardo – Pardinho (SP).** Tese (Doutorado) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2002.

RIBEIRO, L. S. **Modelagem Qualitativa e Quantitativa das Terras do Município de Campos dos Goytacazes/RJ quanto à Erosão Laminar através de Técnicas de Geoprocessamento.** Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

ROBAINA, L. E. S.; KORMANN, T. C. ; WIGGERS, M. M. ; SCOTTI . Contribuição geográfica ao estudo das áreas de risco no município de caxias do Sul/RS: Análise espaço-temporal entre 1980 e 2007. In: Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental,7., 2010, Maringá. **Anais...** Maringá: ABGE, 2010. v. 1.

ROBAINA, L. E. S.; TRENTIN, R.; NARDIN, D.; CRISTO, S. S. V. Métodos e Técnicas Geográficas Utilizadas na Análise e Zoneamento Ambiental. **Geografias** (UFMG), Belo Horizonte, 2009.

RODRIGUES, B. B. **Inventário e análise de susceptibilidade aos movimentos de massa gravitacionais e erosões na região de águas de Lindóia/SP-escala 1:10.000.** 1998. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1998.

RODRIGUES, J. E. **Estudo de fenômenos erosivos acelerados: boçorocas.** 1982. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1982.

RODRIGUES, J. E.; VILAR, O. M. Estudo da Erosão Interna Em Boçorocas Através da Teoria do Carreamento. In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, 4., 1984, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: ABGE, 1984. v. 2, p. 163-168.

RODRIGUES, M. Introdução ao Geoprocessamento. In: Simpósio Brasileiro de Geoprocessamento, 1990, São Paulo. **Anais...** São Paulo: USP, 1990.

RODRIGUES, V. L. **Mapeamento Geotécnico como Base para o Planejamento Urbano e Ambiental: Municipio de Jaú/SP.** 2008. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

SAATY, T. L. **The Analytic Hierarchy Process**. McGraw Hill, New York. 1980.

SALOMÃO, F. X. T.; IWASA, O. Y. Erosão e ocupação rural e urbana. In: BITAR, O. Y. (Coord.). **Curso de Geologia Aplicada ao Meio Ambiente**. São Paulo: IPT, 1995.

SANTORO, J. **Análise da ocorrência de processos erosivos no município de Campinas (SP), a partir da interação entre a suscetibilidade natural à erosão hídrica e o uso e ocupação do solo.** Tese (Doutorado) - IGCE-UNESP, Rio Claro, 2000.

SANTORO, J. Erosão Continental. In: TOMINAGA, L. K.; SANTORO, J.; AMARAL, R. (Orgs.). **Desastres Naturais: Conhecer para prevenir**. São Paulo: Instituto Geológico, 2009.

SELBY, M. J. **Hillslope Material and Process**. Oxford: Oxford University Press, 1993.

SENA, J. N. **O uso de sistemas de informações geográficas na avaliação de diferentes alternativas de geração de cartas de suscetibilidade a erosão**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2008.

SHERARD, J.; DUNNINGAN, L.; DECKER, R.; STEELE, E. Pinhole test for identifying dispersive soils. **Journal of the Geotechnical Engineering Division,** 1976.

SILVA, G. S. **Técnica de Avaliação do Terreno e Análise da Fragilidade Potencial e Ambiental da Bacia Hidrográfica o Rio Almada, Sul da Bahia.** 2010. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilheus, 2010.

SILVA, S. F. **Zoneamento Geoambiental com Auxílio de Lógica Fuzzy e Proposta de um Geoindicador para Caracterização do Meio Físico da Bacia do Rio do Peixe.** 2005. Tese (Doutorado em Geotecnia) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.

SILVA, A. M.; SCHULZ, H. E.; CAMARGO, P. B. **Erosão e Hidrossedimentologia em Bacias Hidrográficas.** São Carlos: RiMa, 2003. 140 p.

SILVEIRA, L.L. L. **Elaboração de carta de susceptibilidade à erosão das bacias dos rios Araraquara e Cubatão - SP, escala 1:50.000.** 2002. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2002.

SOCO - Sustainable Agriculture and Soil Conservation. **Processos de degradação do solo.** Ficha Informativa nº 2. 2009. Disponível em: <http://www.soco.jrc.ec.europa.eu/documents/PTFactSheet-02.pdf>. Acesso em: 10 janeiro 2012.

THOMAZIELLO, S. Usos da terra e sua influência sobre a qualidade ambienta. In: SANTOS, R. F. (org.). **Vulnerabilidade Ambiental.** Brasília, MMA, 192 p. 2007.

VALÉRIO FILHO, M.; ARAÚJO JUNIOR, G. J. L. Técnicas de Geoprocessamento e Modelagem Aplicadas no Monitoramento de Áreas Submetidas aos Processos Erosão do Solo. In: Simpósio Nacional de Controle de Erosão, 5., Bauru. **Anais...** Bauru, 1995. p. 279-82.

VAN REMORTEL, R. D.; MAICHLE, R. W.; HICKEY, R. J. Computing the LS factor for the Revised Universal Soil Loss Equation through array-based slope processing of digital elevation data using a C++ executable. **Computers and Geosciences,** [S.I.], v. 30, p. 1043-1053, 2004.

VARNES, D. J. **The logic of engineering and related maps. A discussion of the definition and classification of map units, with special references to problems presented by maps intendend for uses in civil engineering.** U. S. Geological Survey, Professional Paper, 1974.

WEILL, M. A. M.; PIRES NETO, A. G. Erosão e Assoreamento. In: SANTOS, R. F. (org.). **Vulnerabilidade Ambiental.** Brasília, MMA, 192 p. 2007.

WISCHMEIER , W. H.; SMITH , D. D. Predicting rainfall erosion losses. **U. S. Departament of Agriculture - Agriculture Handbook**. Agricultural Research Service, Washington, n. 537, p. 1-35, 1978.

XAVIER-DA-SILVA, J. **Geoprocessamento para análise ambiental**. Rio de Janeiro, 2001. 227p.

XUJIONGXIN. Benggang erosion: the influencing factors. **Catena**, [S.I.], v. 27, p. 249-263 1996.

YAMANOUTH, G. R. B. **Avaliação dos Processos Erosivos e das Técnicas de Controle e Reabilitação - Bacia do Córrego do Espraiado (São Pedro - SP).** Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.

ZACHAR, D. **Soil Erosion**. Amsterdam; New York: Elsevier Scientific, Distribution for the U.S.A. and Canada, Elsevier North-Holland, Inc., 1982. 547 p. Translation of: Erózia pôdy.

ZUQUETTE, L. V. **Análise crítica da cartografia geotécnica e proposta metodológica para as condições brasileiras.** 1987. Tese (Doutorado em Geotecnia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1987.

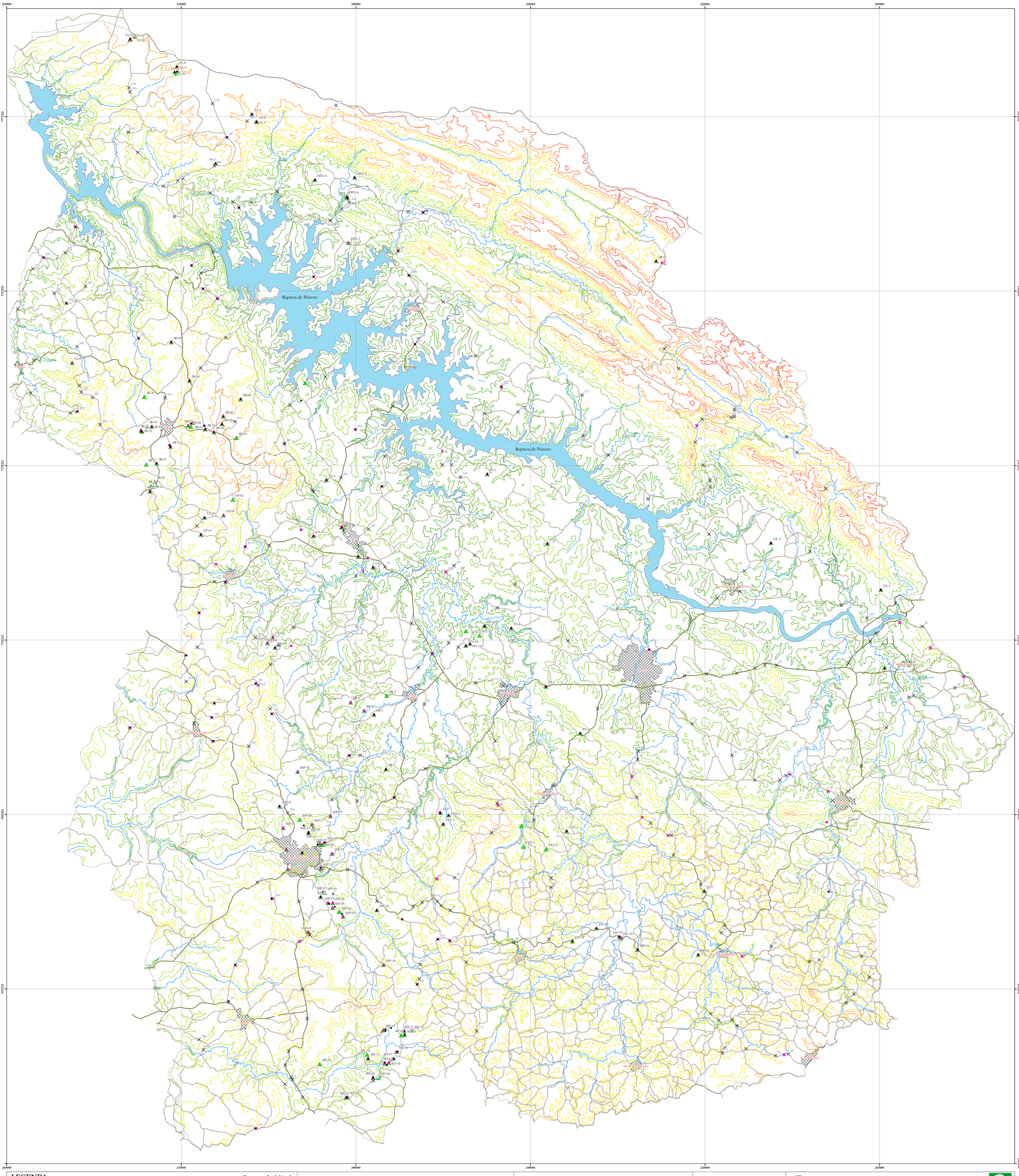
_____. **Curso de riscos geológicos-geotécnicos.** Apostila de aula. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000.

_____. **Importância do mapeamento geotécnico no uso e ocupação do meio físico: fundamentos e guia para elaboração.** 1993. Tese (Livre Docência) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1993.

ZUQUETTE, L.V.; GANDOLFI, N. **Cartografia Geotécnica**. São Paulo: Oficina de Textos, 2004. 190p.

ZUQUETTE, L. V.; NAKAZAWA, V. A. Cartas de Geologia de Engenharia. In: OLIVEIRA, A. M. S.; BRITO, S. N. A. (Eds.) **Geologia de Engenharia.** São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 1998.

APÊNDICE A – Mapa de Documentação



LEGENDA:

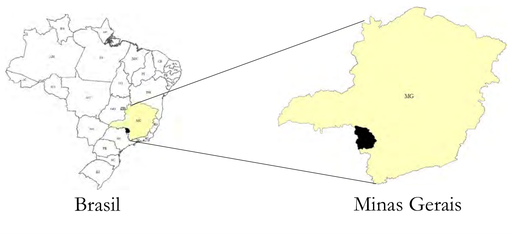
- Delimitação da Área de Estudo
- Coleta de Amostra Deformada (Mat. Inconsolidado)
- Descrição de Perfis de Alteração
- Ponto de Observação e Descrições Gerais
- Processos Erosivos
- Estrada Municipal
- Estrada Pavimentada
- Drenagem (Ordem maior que 4)
- Área Urbana
- Represa

Curvas de Nível

Elevação (m)

- 700
- 800
- 900
- 1000
- 1100
- 1200
- 1300
- 1400

Localização da Área de Estudo



N

Projeção Cartográfica - UTM
Datum: South American 1969
Fuso 23 S

0 3 6 12 18 km

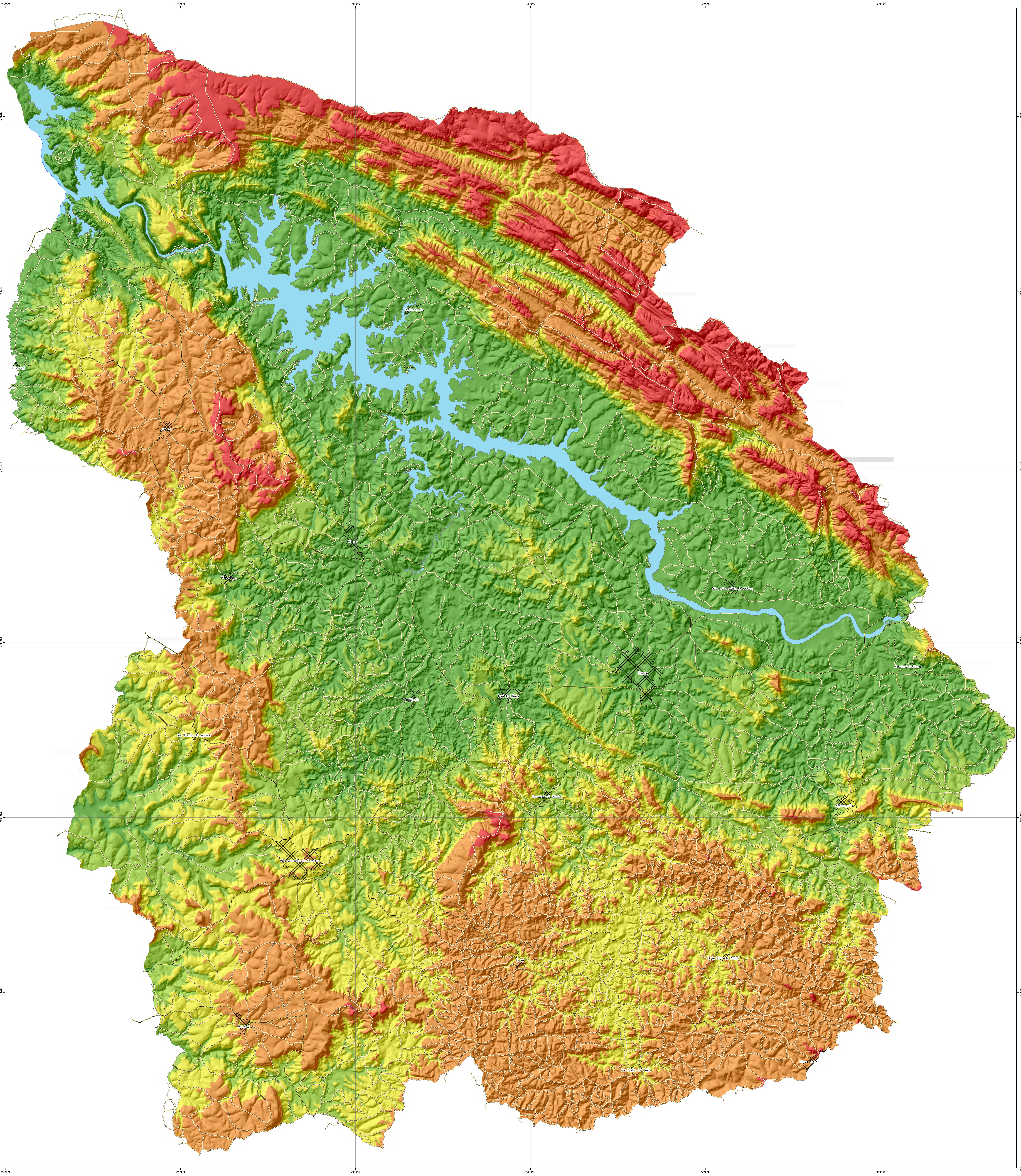
MAPA DE DOCUMENTAÇÃO

Universidade de São Paulo
Escola de Engenharia de São Carlos
Programa de Pós-Graduação em Geotecnia

Análise da suscetibilidade à erosão da região do Médio Rio Grande (MG)

Autor: Eng. Ambiental Rômulo Amaral Faustino Magri
Orientador: Professor Titular Osni José Pejon

APÊNDICE B – Mapa Hipsométrico



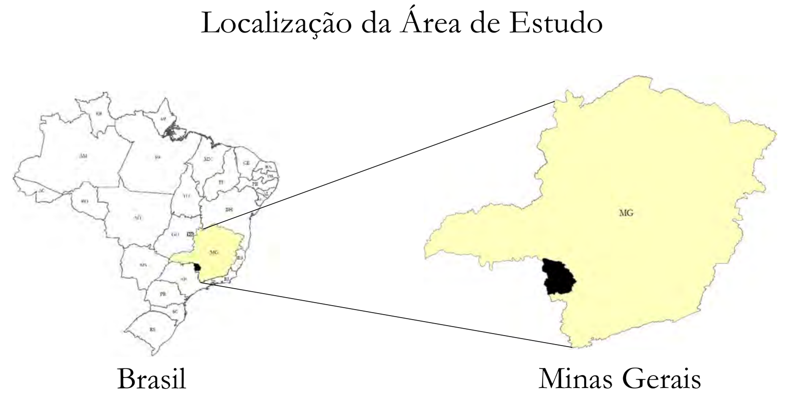
LEGENDA:

Classes Hipsométricas

- < 800 m
- 800 - 900 m
- 900 - 1000 m
- 1000 - 1200 m
- > 1200 m

- Estrada Municipal
- Estrada Pavimentada
- Área Urbana
- Delimitação da Área de Estudo
- Represa

Localização da Área de Estudo



Projeção Cartográfica - UTM
Datum: South American 1969
Fuso 23 S

Fonte: Cartas Topográficas IBGE

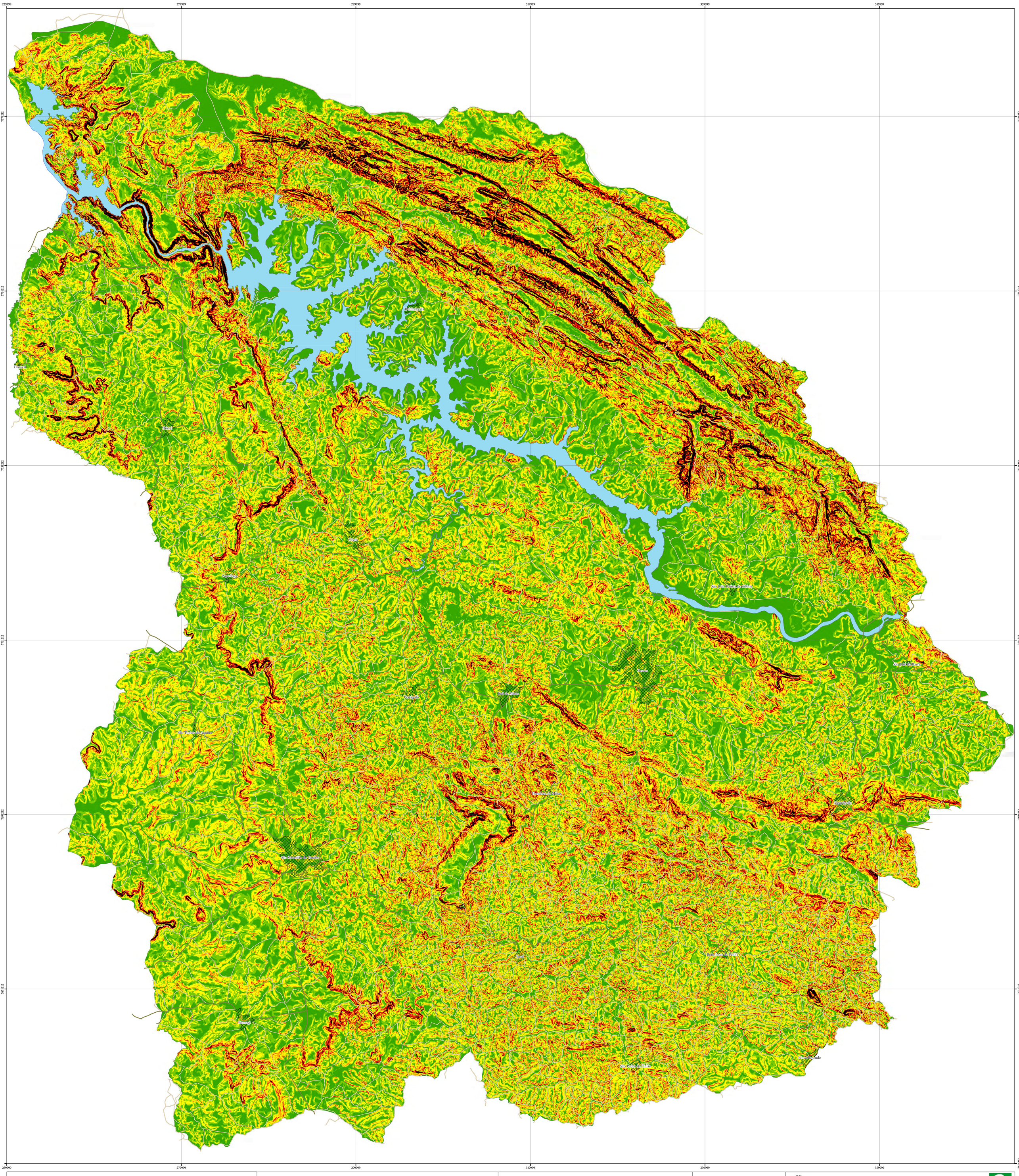
MAPA HIPSOMÉTRICO

Universidade de São Paulo
Escola de Engenharia de São Carlos
Programa de Pós-Graduação em Geotecnia

Análise da suscetibilidade à erosão da região do Médio Rio Grande (MG)

Autor: Eng. Ambiental Rômulo Amaral Faustino Magri
Orientador: Professor Titular Osni José Pejon

APÊNDICE C – Carta de Declividade



LEGENDA:

Classes de Declividade

- < 5%
- 5 - 10%
- 10 -20%
- 20 -30%
- 30 -45%
- > 45%

- Estrada Municipal
- Estrada Pavimentada
- Área_Urbana
- Delimitação da Área de Estudo
- Represa

Localização da Área de Estudo

N

Projeção Cartográfica - UTM
Datum: South American 1969
Fuso 23 S

0 3 6 12 18 km

Fonte: Cartas Topográficas IBGE

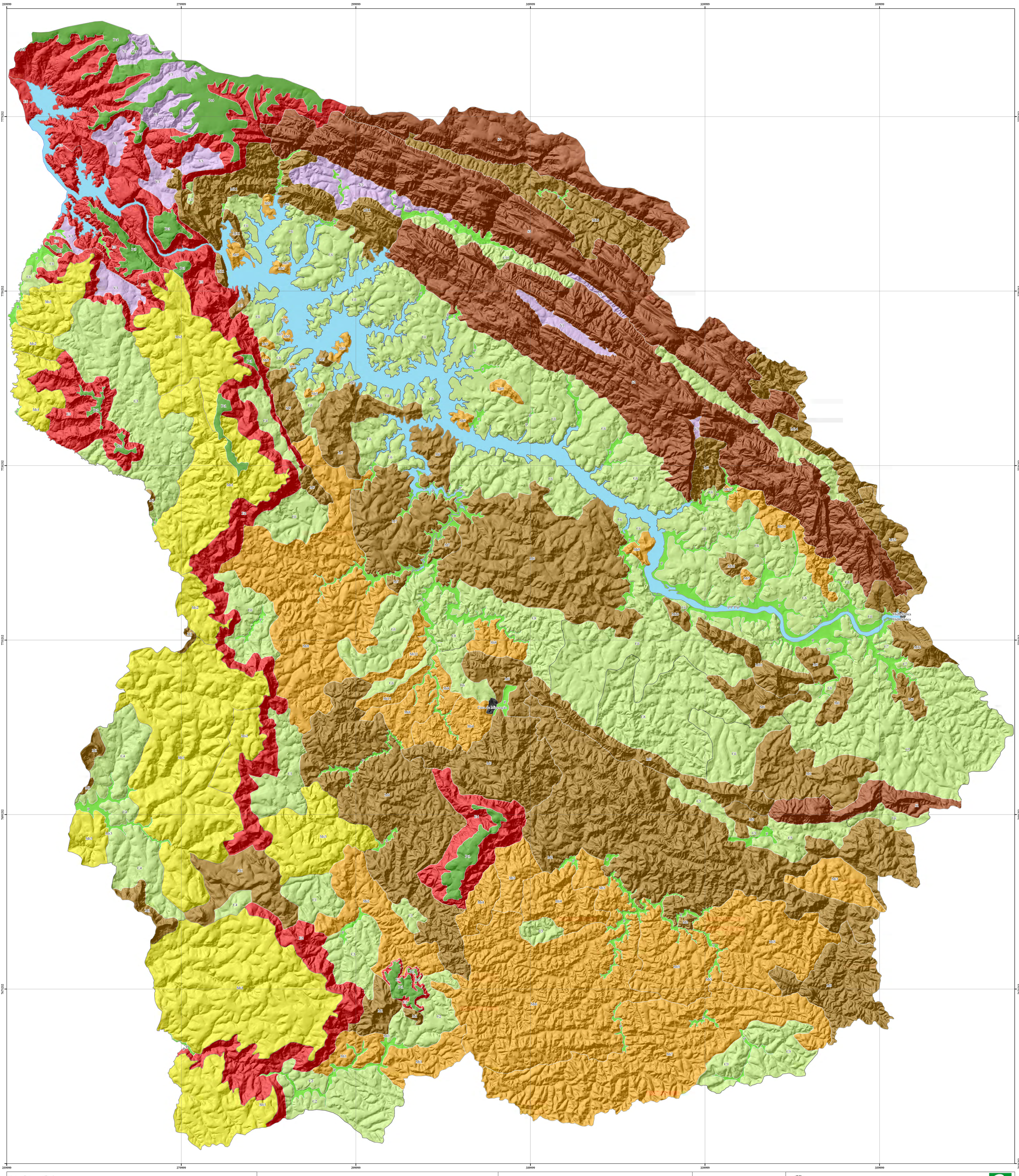
CARTA DE DECLIVIDADE

Universidade de São Paulo
Escola de Engenharia de São Carlos
Programa de Pós-Graduação em Geotecnia

Análise da suscetibilidade à erosão da região do Médio Rio Grande (MG)

Autor: Eng. Ambiental Rômulo Amaral Faustino Magri
Orientador: Professor Titular Osni José Pejon

APÊNDICE D – Mapa de *Landforms*



LEGENDA:

- Delimitação da Área de Estudo
- Represa
- Não Mapeado

Tipo de Relevo Predominante

- Colinas
- Escarpas
- Morros
- Morros suaves
- Morrotes
- Planícies
- Platôs
- Serras
- Vales

Unidades de Landforms

C: Colinas
E: Escarpas
M: Morros
Mt: Morrotes
Ms: Morros Suaves
P: Planícies
S: Serras
V: Vales

Localização da Área de Estudo

N

Projeção Cartográfica - UTM
Datum: South American 1969
Fuso 23 S

0 3 6 12 18 km

MAPA DE LANDFORMS

Universidade de São Paulo
Escola de Engenharia de São Carlos
Programa de Pós-Graduação em Geotecnia

Análise da suscetibilidade à erosão da região do Médio Rio Grande (MG)

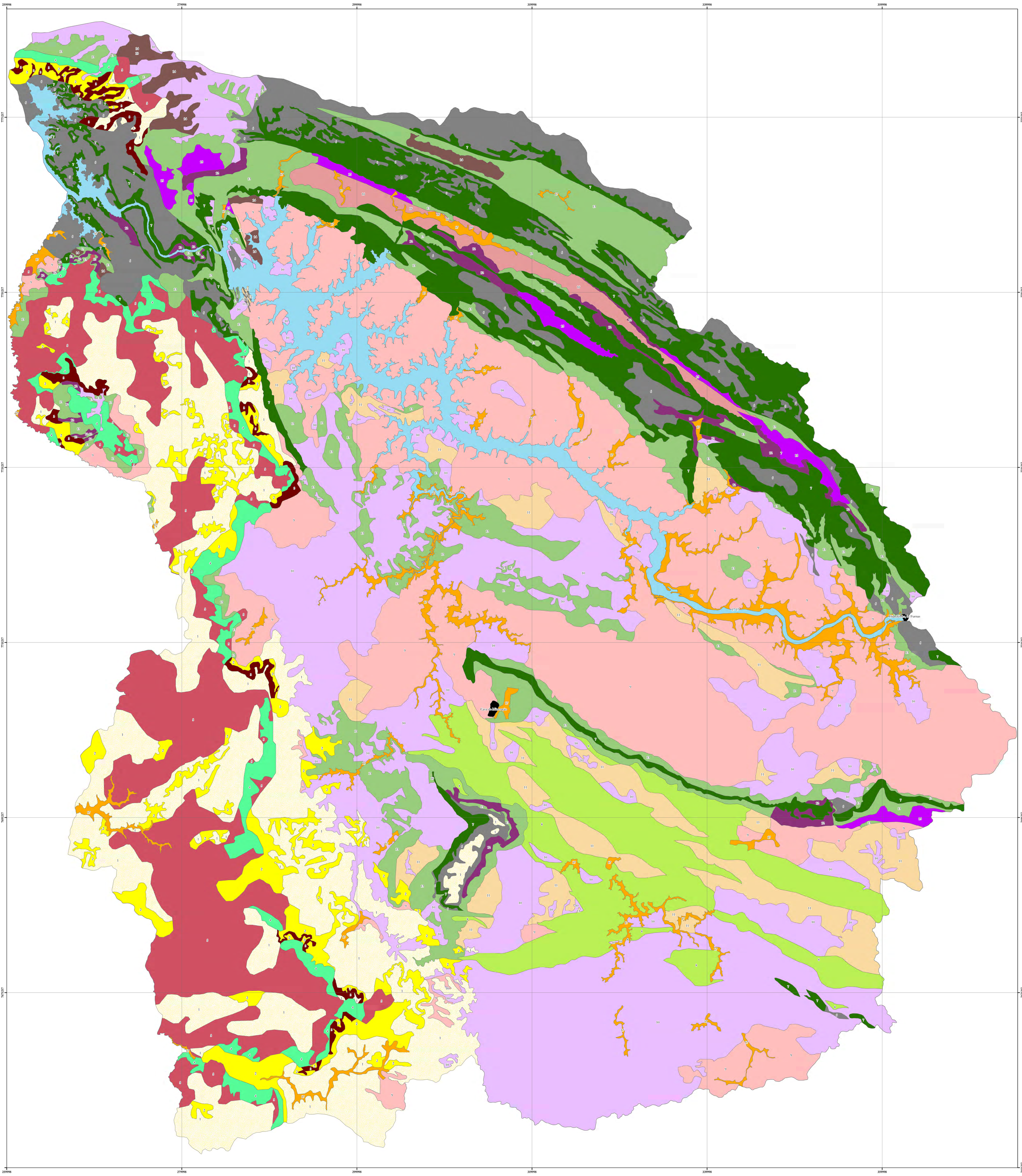
Autor: Eng. Ambiental Rômulo Amaral Faustino Magri
Orientador: Professor Titular Osni José Pejon

APÊNDICE E – Resultados dos ensaios laboratoriais

Unidade	Nível	Granulometria (%)					
		Argila		Silte		Areia	
		Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Unidade 1	Maduro	8,6	19,2	3,5	7,5	77,1	85,7
	Saprolítico	0,7	11,2	7,8	20,8	78,5	85,5
	Saprolito	1,7	3,6	10,2	22,4	75,9	86,2
Unidade 2	Maduro	8,6	19,2	3,5	7,5	77,1	85,7
	Saprolítico	5,4	--	13	--	81,6	--
	Saprolito	12,2	17	23,9	43,9	39,1	64,4
Unidade 3	Maduro	8,6	19,2	3,5	7,5	77,1	85,7
Unidade 4	Maduro	53,9	--	21,1	--	25	--
Unidade 5	Maduro	38,6	53,9	12,6	21,1	25	48,8
Unidade 6	Maduro	20,1	--	9,7	--	70,2	--
	Saprolito	5,0	--	2,0	--	93,0	--
Unidade 7	Maduro	20,1	--	9,7	--	70,2	--
Unidade 8	Maduro	29,4	58,6	11,4	62,6	8,0	36,9
	Saprolito	16,4	20,7	46,3	67,5	13,0	33,0
Unidade 9	Maduro	24,9	36,8	14,5	21,1	42,1	55,3
	Saprolítico	48,2	--	23,6	--	28,2	--
	Saprolito	6,5	--	56,7	--	36,8	--
Unidade 10	Maduro	35,2	59	14,6	41,8	24	45,5
	Saprolítico	9,0	22,4	35,2	47,3	26,0	43,7
	Saprolito	7,0	21,1	48,5	52,3	28,0	44,5
Unidade 11	Maduro	35,2	--	41,8	--	23	--
	Saprolítico	13,1	--	40,2	--	46,7	--
	Saprolito	14,7	--	52,3	--	33,0	--
Unidade 12	Saprolito	13,2	--	68,8	--	18,0	--
Unidade 13	Maduro	27,7	--	57,3	--	15,0	--
	Saprolítico	39,3	--	46,7	--	14,0	--
	Saprolito	2,9	8,9	77,1	82,1	14,0	15,0
Unidade 14	Maduro	53,9	--	9,1	--	37,0	--
	Saprolítico	2,3	--	5,4	--	92,3	--
Unidade 15	Maduro	15,4	--	8,6	--	76,0	--
	Saprolítico	13,1	--	40,2	--	46,7	--
	Saprolito	13,2	--	68,8	--	18,0	--
Unidade 16	Maduro	32,1	--	61,9	--	6,0	--
	Saprolito	13,9	--	81,2	--	4,9	--
Unidade 17	Aluvião	13,9	40,2	48,9	76,1	10	13,0

-- apenas uma amostra foi coletada

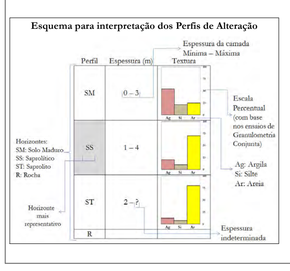
APÊNDICE F – Mapa de Materiais Inconsolidados



LEGENDA:

- Delimitação da Área de Estudo
- Represa
- Materiais Inconsolidados
- Não Mapeado
- Unidades
- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- 7
- 8
- 9
- 10
- 11
- 12
- 13
- 14
- 15
- 16
- Aluvião

Esquema para interpretação dos Perfis de Alteração



UNIDADE 1

Perfil	Espessura (m)	Textura
SM	0 – 10	
SS	4 – 12	
ST	5 – ?	

UNIDADE 2

Perfil	Espessura (m)	Textura
SM	0 – 10	
SS	0 – 10	
ST	0 – 10	
R		

UNIDADE 3

Perfil	Espessura (m)	Textura
SM	0 – 1	
R		

UNIDADE 4

Perfil	Espessura (m)	Textura
SM	0 – 0,7	
R		

UNIDADE 5

Perfil	Espessura (m)	Textura
SM	2 – ?	

UNIDADE 6

Perfil	Espessura (m)	Textura
SM	0 – 2	
ST	1,5 – ?	

UNIDADE 7

Perfil	Espessura (m)	Textura
SM	0 – 0,5	
R		

UNIDADE 8

Perfil	Espessura (m)	Textura
SM	0 – 2	
ST	2 – ?	

UNIDADE 9

Perfil	Espessura (m)	Textura
SM	1 – 15	
SS	2 – 4	
ST	2 – ?	

UNIDADE 10

Perfil	Espessura (m)	Textura
SM	0 – 10	
SS	0 – 7	
ST	1,5 – ?	

UNIDADE 11

Perfil	Espessura (m)	Textura
SM	0 – 2	
SS	0,5 – 4	
ST	1,5 – ?	

UNIDADE 12

Perfil	Espessura (m)	Textura
ST	0 – 1,3	
R		

UNIDADE 13

Perfil	Espessura (m)	Textura
SM	0 – 2	
SS	1 – 3	
ST	1,5 – ?	

UNIDADE 14

Perfil	Espessura (m)	Textura
SM	2 – 10	
SS	0 – 8	

UNIDADE 15

Perfil	Espessura (m)	Textura
SM	0,5 – 2	
SS	0 – 3	
ST	2 – ?	

UNIDADE 16

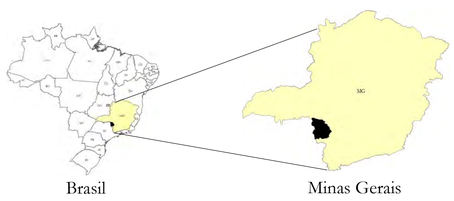
Perfil	Espessura (m)	Textura
SM	0 – 2,4	
ST	1,8 – ?	

N

Projeção Cartográfica - UTM
Datum: South American 1969
Fuso 23 S

0 2 4 8 12 km

Localização da Área de Estudo



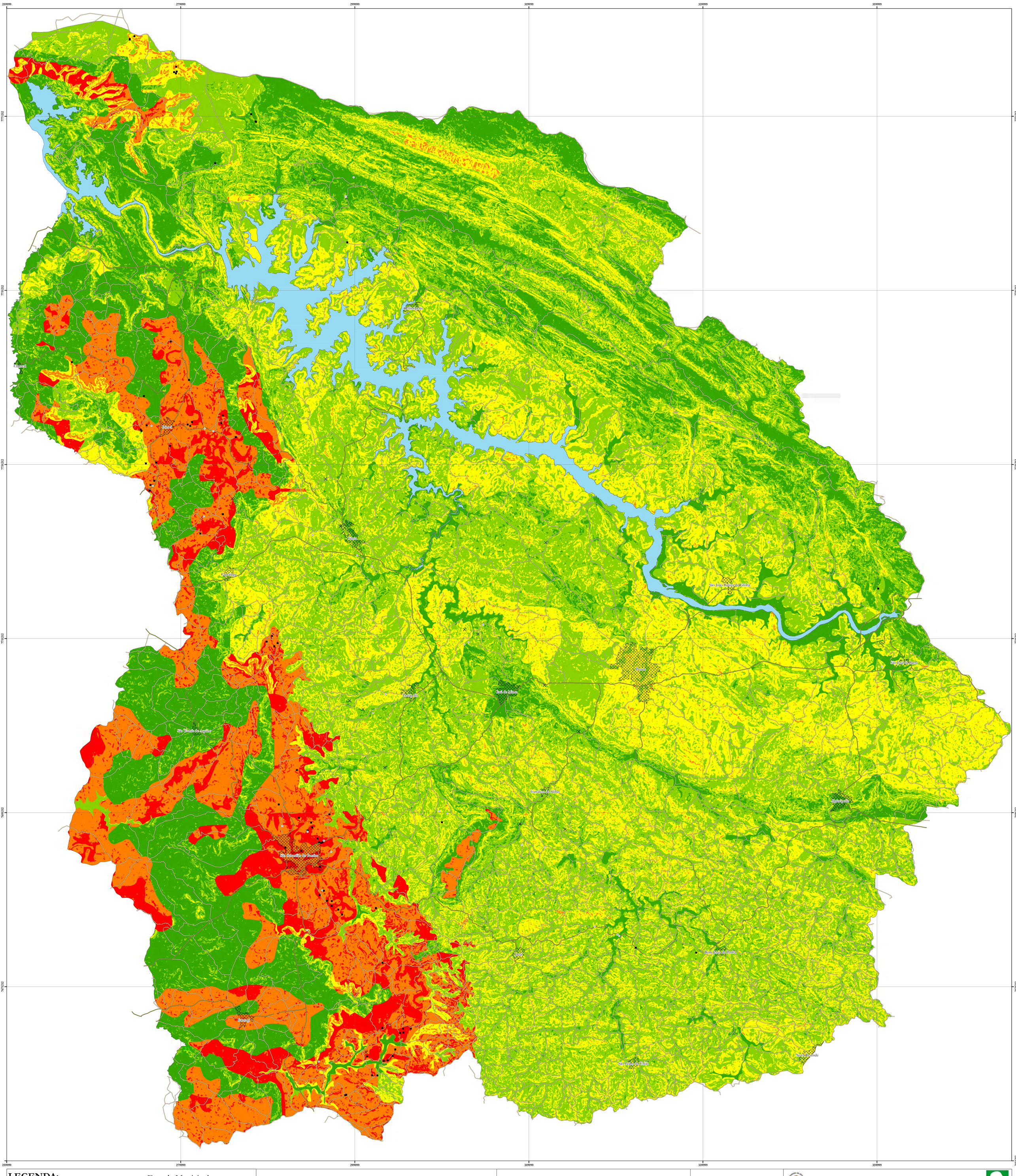
MAPA DE MATERIAIS INCONSOLIDADOS

Universidade de São Paulo
Escola de Engenharia de São Carlos
Programa de Pós-Graduação em Geotecnia

Análise da suscetibilidade à erosão da região do Médio Rio Grande (MG)

Autor: Eng. Ambiental Rômulo Amaral Faustino Magri
Orientador: Professor Titular Osni José Pejon

APÊNDICE G – Carta de Suscetibilidade à Erosão



LEGENDA:

Classes de Suscetibilidade

- Muito Baixa
- Baixa
- Média
- Alta
- Muito Alta

- Estrada Municipal
- Estrada Pavimentada
- Área Urbana
- Delimitação da Área de Estudo
- Represa

Processos Erosivos

- Ravina
- Sulcos
- Boçoroca

Localização da Área de Estudo

N

Projeção Cartográfica - UTM
Datum: South American 1969
Fuso 23 S

0 3 6 12 18 km

CARTA DE SUSCETIBILIDADE À EROSÃO

Universidade de São Paulo
Escola de Engenharia de São Carlos
Programa de Pós-Graduação em Geotecnia

Análise da suscetibilidade à erosão da região do Médio Rio Grande (MG)

Autor: Eng. Ambiental Rômulo Amaral Faustino Magri
Orientador: Professor Titular Osni José Pejon

APÊNDICE H – Características dos processos erosivos identificados

Planilha com as características dos processos erosivos identificados. (continua)

Ponto	x	y	Observação	Tipo de Feição	Estado do Processo	Comprimento	Largura	Profundidade	Forma	Surgência de Água	Vegetação no interior	Outras Características
AL-3	360562	7708012	Ravinas	Médio	Dormente	80m	25m	2m	Erosão de Encosta	Não	Vegetação Rasteira	*
BJP-01	332285	7675699	Boçoroca	Avançado	Ativo	100m	15m	8m	Erosão de drenagem	Não	Sem vegetação	*
BJP-02	339235	7675135	Boçoroca	Avançado	Ativo	300m	30m	10m	Erosão de drenagem	Sim	Vegetação arbustiva	*
CLA-1	267495	7742977	Boçoroca	Avançado	Estabilizado	150m	150m	60m	Erosão de Encosta	Não	Intensamente Vegetada	*
CP-01	282257	7723292	Boçoroca	Avançado	Ativo	100m	100m	15m	Erosão de encosta	Não	Vegetação Rasteira	Rastros de pessoas/ animais
CP-02	285906	7727291	Sulcos	Incipiente	Ativo	70m	150m	1m	Erosão de Encosta	Não	Sem vegetação	Rastros de pessoas/ animais
CP-03	282655	7725246	Ravinas	Médio	Ativo	120m	160m	10m	Erosão de Encosta	Não	Vegetação Rasteira	*
CP-04	284844	7725514	Boçoroca	Avançado	Ativo	400m	100m	30m	Erosão de drenagem	Sim	Vegetação arbustiva	*
CP-06	290490	7711523	Boçoroca	Avançado	Dormente	80m	30m	15m	Erosão de encosta	Não	Vegetação Arbustiva	*
CP-07	289878	7710869	Boçoroca	Avançado	Ativo	60m	70m	7m	Erosão de Encosta	Não	Sem vegetação	*
CP-08	291138	7710699	Boçoroca	Avançado	Ativo	90m	60m	20m	Erosão de encosta	Não	Vegetação arbustiva	Acúmulo de lixo doméstico
CP-09	290750	7710337	Boçoroca	Avançado	Ativo	150m	120m	40m	Erosão de Encosta	Sim	Vegetação Arbustiva	*

Planilha com as características dos processos erosivos identificados. (continuação)

Ponto	x	y	Observação	Tipo de Feição	Estado do Processo	Comprimento	Largura	Profundidade	Forma	Surgência de Água	Vegetação no interior	Outras Características
CS-2	294206	7740677	Ravinas	Médio	Dormente	60m	30m	5m	Erosão de Encosta	Não	Intensamente Vegetada	*
CS-3	298362	7724120	Sulcos e Ravina	Incipiente	Dormente	30m	200m	1,5m	Erosão de Encosta	Não	Vegetação Rasteira	Rastros de animais
CS-4	298429	7724179	Sulcos	Incipiente	Dormente	20m	100m	1m	Erosão de Encosta	Não	Vegetação Rasteira	Rastros de animais
CS-5	296648	7729553	Sulcos e Ravina	Incipiente	Ativo	30m	50m	0,5-2m	Erosão de Encosta	Não	Vegetação Rasteira	Rastros de animais
CS-6	300273	7720763	Ravinas	Médio	Ativo	70m	50m	1,5m	Erosão de drenagem	Não	Sem Vegetação	*
CS-7	295162	7723124	Ravina	Médio	Ativo	10m	3m	2,5m	Erosão de Encosta	Não	Sem Vegetação	*
CS-8	301978	7719508	Ravina	Médio	Ativo	20m	10m	10m	Erosão de Encosta	Não	Vegetação Rasteira	*
CS-9	298650	7723774	Sulcos e Ravina	Incipiente	Ativo	80m	10m	1,5m	Erosão de Encosta	Não	Vegetação Rasteira	Rastros de animais
DEL-1	299145	7756740	Boçoroca	Avançado	Dormente	530m	150m	15-20m	Erosão de Encosta	Não	Vegetação Arbustiva	*
DEL-2	299056	7761843	Sulcos	Incipiente	Dormente	190m	110m	2m	Erosão de Encosta	Não	Vegetação Rasteira	*
DEL-3	298992	7761961	Ravinas	Médio	Dormente	100m	35m	3m	Erosão de Encosta	Não	Vegetação Rasteira	Rastros de pessoas/ animais
DEL-4	298955	7762069	Ravinas	Médio	Ativo	80m	5m	4m	Erosão de Encosta	Não	Vegetação Rasteira	Rastros de pessoas/ animais
DEL-5	299870	7764219	Ravinas	Médio	Ativo	230m	40m	2m	Erosão de Encosta	Não	Sem Vegetação	Rastros de pessoas/animais

Planilha com as características dos processos erosivos identificados. (continuação)

Ponto	x	y	Observação	Tipo de Feição	Estado do Processo	Comprimento	Largura	Profundidade	Forma	Surgência de Água	Vegetação no interior	Outras Características
DEL-6	295308	7763946	Sulcos	Incipiente	Ativo	570m	200m	2m	Erosão de Encosta	Não	Sem Vegetação	Rastros de pessoas/ animais
FTZ-1	324162	7689295	Sulcos	Incipiente	Ativo	20m	30m	2m	Erosão de drenagem	Não	Sem vegetação	Rastros de animais
FTZ-2	321815	7687236	Ravina	Incipiente	Ativo	20m	5m	8m	Erosão de encosta	Não	sem vegetação	Rastros de animais
FTZ-3	319193	7687511	Ravinas	Médio	Ativo	150m	20m	5m	Erosão de encosta	Não	Sem vegetação	*
FTZ-4	318978	7689908	Sulcos	Incipiente	Ativa	20m	40m	0,5m	Erosão de encosta	Não	Sem vegetação	Rastros de animais
FTZ-5	310015	7690111	Boçoroca	Avançada	Ativo	70m	50m	8m	Erosão de drenagem	Sim	Vegetação Arbustiva	Acúmulo de entulho
FTZ-6	310632	7691115	Ravina	Médio	Dormente	70m	3m	2m	Erosão de drenagem	Não	Vegetação Rasteira	Rastros de animais
FTZ-7	309689	7691392	Ravina	Incipiente	Ativo	40m	50m	1,5m	Erosão de encosta	Não	Vegetação Rasteira	Rastros de animais
GL-1	360156	7716958	Boçoroca	Avançado	Ativo	410m	115m	3m	Erosão de Drenagem	Não	Sem Vegetação	*
GL-2	347563	7722335	Ravinas	Medio	Ativo	143m	42m	1m	Erosão de Encosta	Não	Sem Vegetação	Rastros de pessoas/ animais
IB-01	281298	7736105	Boçoroca	Avançado	Ativo	500m	100m	15m	Erosão de Encosta	Não	Vegetação Arbustiva	*
IB-02	280792	7735809	Boçoroca	Avançado	Ativo	400m	150m	30m	Erosão de Encosta	Não	Intensamente Vegetada	Acúmulo de Lixo Doméstico
IB-03	286320	7734373	Boçoroca	Avançado	Ativo	200m	30m	*	Erosão de encosta	Não	Intensamente Vegetada	*

Planilha com as características dos processos erosivos identificados. (continuação)

Ponto	x	y	Observação	Tipo de Feição	Estado do Processo	Comprimento	Largura	Profundidade	Forma	Surgência de Água	Vegetação no interior	Outras Características
IB-04	286807	7738810	Ravina	Médio	Dormente	*	*	*	Erosão de Encosta	Não	Vegetação Rasteira	Acúmulo de entulho
IB-05	284670	7735962	Boçoroca	Avançado	Ativo	150m	40m	30m	Erosão de Encosta	Não	Vegetação Arbustiva	*
IB-06	284816	7736843	Boçoroca	Avançado	Ativo	130m	60m	4m	Erosão de Encosta	Não	Sem Vegetação	Rastros de Pessoas/ animais
IB-08	280941	7740933	Boçoroca	Avançado	Ativo	370m	100m	50m	Erosão de Encosta	Não	Vegetação Arbustiva	*
IB-09	278850	7745337	Boçoroca	avançado	Ativo	350m	80m	30m	Erosão de Encosta	Não	Vegetação Arbustiva	*
IB-11	278767	7733369	Boçoroca	Avançado	ativo	200m	80m	10m	erosão de encosta	Não	Vegetação Arbustiva	*
IB-12	275497	7735075	Boçoroca	Avançado	Ativo	250m	80m	20m	erosão de encosta	Sim	Vegetação arbustiva	*
IB-13	275387	7735220	Boçoroca	Avançado	Ativo	150m	150m	8m	Erosão de Encosta	Não	Vegetação Arbustiva	*
IB-16	282751	7735357	Ravinas	Médio	Ativo	100m	50m	1,5 - 6m	Erosão de Encosta	Não	Sem Vegetação	*
IB-18	276626	7735660	Ravinas	Médio/Ravinas	Ativo	250	70m	1,5m	Erosão de Encosta	Não	Vegetação Arbustiva	*
IB-19	276086	7735701	Boçoroca	Avançado	Ativo	200m	100m	8-15m	Erosão de Encosta	Não	Sem Vegetação	*
IB-20	275767	7739072	Boçoroca	Avançado	Dormente	250m	50m	10m	Erosão de Encosta	Não	Vegetação Arbustiva	*
IB-21	277183	7731449	Boçoroca	Avançado	Ativo	300m	300m	20-30m	Erosão de Encosta	Sim	Vegetação Rasteira	Acúmulo de lixo doméstico

Planilha com as características dos processos erosivos identificados. (continuação)

Ponto	x	y	Observação	Tipo de Feição	Estado do Processo	Comprimento	Largura	Profundidade	Forma	Surgência de Água	Vegetação no interior	Outras Características
IB-22	276418	7728229	Boçoroca	Avançado	Ativo	150m	100m	10m	Erosão de Encosta	Não	Sem Vegetação	*
IB-23	276795	7728760	Ravinas	Médio	Ativo	100m	30m	2m	Erosão de Encosta	Não	Vegetação Arbustiva	*
IB-24	276522	7728854	Boçoroca	Avançado	Ativo	120m	60m	20m	Erosão de Encosta	Não	Vegetação Arbustiva	*
IB-25	276966	7729339	Boçoroca	Avançado	Ativo	300m	40m	10m	Erosão de Encosta	Não	Vegetação Rasteira	*
IB-27	275988	7731334	Boçoroca	Avançado	Ativo	100m	700m	30m	Erosão de Encosta	*	Vegetação Arbustiva	*
IB-28	281088	7735653	Boçoroca	Avançado	Dormente	80m	300m	15 - 20m	Erosão de Encosta	Sim	Intensamente Vegetada	*
IB-29	283742	7735029	Ravinas	Médio	Dormente	250m	100m	3m	Erosão de Encosta	Não	Intensamente Vegetada	*
ITU-01	312621	7712238	Sulcos	Incipiente	Dormente	50m	30m	0,5m	Erosão de Drenagem	Não	Vegetação Rasteira	Rastros de animais
ITU-02	314161	7711718	Sulcos	Incipiente	Dormente	50m	30m	0,5m	Erosão de drenagem	Não	Vegetação Rasteira	Rastros de animais
ITU-03	313078	7710784	Ravinas	Médio	Ativo	50m	35m	2m	Erosão de Drenagem	Sim	Sem Vegetação	Rastros de animais
ITU-04	312605	7710550	Ravinas	Médio	Ativo	15m	20m	1,5m	Erosão de Encosta	Não	Sem vegetação	Rastros de animais
ITU-05	314750	7712800	Ravinas	Médio	Dormente	60m	170m	1,5m	Erosão de Encosta	Não	Vegetação Rasteira	Rastros de animais
JAC-02	324811	7676661	Ravina	Médio	Ativo	55m	3m	1,70m	Erosão de Drenagem	Não	Vegetação Rasteira	Rastros de animais
JAC-03	330179	7677216	Ravina	Médio	Ativo	100m	5m	2m	Erosão de drenagem	Não	Sem vegetação	*

Planilha com as características dos processos erosivos identificados. (continuação)

Ponto	x	y	Observação	Tipo de Feição	Estado do Processo	Comprimento	Largura	Profundidade	Forma	Surgência de Água	Vegetação no interior	Outras Características
JAC-04	327561	7678154	Ravina	Médio	Ativo	100m	7m	1m	Erosão de Drenagem	Não	Sem vegetação	*
JAC-05	330380	7677060	Ravina	Médio	Ativo	100m	15m	1,6m	Erosão de Drenagem	Não	Vegetação Rasteira	*
MT-01	298899	7658762	Boçoroca	Avançado	Dormente	300m	280m	20m	Erosão de Encosta	Não	Vegetação Arbustiva	Rastros de pessoas/ animais Acúmulo de lixo doméstico
MT-02	301976	7661047	Boçoroca	Avançado	Dormente	250m	100m	30m	Erosão de Encosta	Sim	Vegetação Arbustiva	Acúmulo de entulhos
MT-03	303778	7662772	Boçoroca	Avançado	Ativa	460m	120m	35m	Erosão de drenagem	Sim	Vegetação Arbustiva/ Intensamente Vegetada	Rastros de pessoas/ animais Acúmulo de lixo domésticos
MT-04	299024	7658807	Boçoroca	Avançado	Dormente	410m	200m	25m	Erosão de Encosta	Sim	Vegetação Arbustiva	*
MT-05	303332	7662713	Boçoroca	Avançado	Dormente	230m	70m	20m	Erosão de Encosta	Não	Intensamente Vegetada	*
MT-06	302596	7661026	Boçoroca	Avançado	Dormente	330m	105m	35m	Erosão de drenagem	Sim	Intensamente Vegetada	*
MT-07	304345	7663250	Boçoroca	Avançado	Dormente	200m	150m	20m	Erosão de Encosta	Não	Intensamente Vegetada	*
MT-08	304657	7664016	Boçoroca	Avançado	Dormente	200m	120m	30m	Erosão de drenagem	Sim	Intensamente Vegetada	*
MT-09	305208	7665921	Boçoroca	Avançado	Dormente	280m	110m	20m	Erosão de Encosta	Não	Vegetação Arbustiva	*

Planilha com as características dos processos erosivos identificados. (continuação)

Ponto	x	y	Observação	Tipo de Feição	Estado do Processo	Comprimento	Largura	Profundidade	Forma	Surgência de Água	Vegetação no interior	Outras Características
MT-10	305596	7665959	Boçoroca	Avançado	Dormente	160m	50m	10m	Erosão de drenagem	Sim	Vegetação Arbustiva	*
MT-11	305533	7666392	Boçoroca	Avançado	Dormente	230m	30m	20m	Erosão de Encosta	Não	Vegetação Arbustiva	Acúmulo de entulhos
MT-12	306437	7666404	Boçoroca	Avançado	Dormente	350m	200m	40m	Erosão de Encosta	Não	Vegetação Arbustiva	Rastros de pessoas/ animais Acúmulo de lixo domésticos
MT-13	303147	7666502	Boçoroca	Avançado	Dormente	300m	80/300 m	20m	Erosão de Encosta	Sim	Vegetação Arbustiva	Rastros de pessoas/ animais
MT-14	301293	7663683	Sulcos	Incipiente	Ativo	*	*	*	Erosão de drenagem	Não	Sem Vegetação	Retirada de Material
MT-15	301413	7663229	Boçoroca	Avançado	Ativo	100m	70m	10m	Erosão de Encosta	Não	Sem Vegetação	*
MT-16	295863	7662604	Ravina	Medio	Estabilizado	180m	10m	1,5m	Erosão de Encosta	Não	Intensamente Vegetada	*
PA-2	321947	7722246	Sulcos	Incipiente	Ativo	350m	2m	0,5m	Erosão de drenagem	Não	Vegetação Rasteira	Rastros de Animais
PA-3	315053	7730222	Ravina	Incipiente	Ativo	200m	25m	1,5m	Erosão de drenagem	Não	Sem vegetação	*
PA-4	317810	7712563	Ravinas	Incipiente	Ativo	40m	16m	1m	Erosão de drenagem	Não	Sem vegetação	Rastros de Animais
PA-5	321779	7705868	Sulcos e Ravinas	Incipiente	Ativo	45m	100m	0,5-1m	Erosão de encosta	Não	Sem vegetação	Rastros de animais
PA-6	325710	7700519	Sulcos	Incipiente	Ativo	200m	160m	0,5m	Erosão de encosta	Não	Sem vegetação	Rastros de Animais

Planilha com as características dos processos erosivos identificados. (continuação)

Ponto	x	y	Observação	Tipo de Feição	Estado do Processo	Comprimento	Largura	Profundidade	Forma	Surgência de Água	Vegetação no interior	Outras Características
PA-7	339924	7682414	Ravinas	Médio	Ativo	200m	30m	3m	Erosão de encosta	Não	Sem vegetação	*
PR-1	299407	7704063	Sulcos	Incipiente	Dormente	80m	20m	0,5m	Erosão de Drenagem	Não	Sem Vegetação	Rastros de pessoas/ animais
PR-2	303546	7704806	Ravina	Incipiente	Dormente	42m	35m	1m	Erosão de Encosta	Não	Vegetação Rasteira	*
PR-3	302082	7702650	Ravina	Médio	Ativo	180m	15m	2m	Erosão de Encosta	Sim	Sem Vegetação	*
PR-4	300947	7703102	Sulcos e Ravinas	Médio	Dormente	150m	37m	2m	Erosão de Encosta	Não	Sem Vegetação	Rastros de pessoas/ animais
PR-5	303454	7696385	Sulcos	Incipiente	Dormente	350m	250m	1m	Erosão de Encosta	Não	Vegetação Rasteira	Rastros de pessoas/ animais
SA-1	283949	7765830	Boçoroca	Avançado	Dormente	200m	60m	8m	Erosão de drenagem	Não	Intensamente Vegetada	*
SA-10	279241	7776306	Boçoroca	Avançado	Ativo	250m	80m	15m	Erosão de encosta	Sim	Vegetação Arbustiva	*
SA-11	279450	7776151	Boçoroca	Avançado	Dormente	150m	60m	15m	Erosão de encosta	Não	Vegetação Arbustiva	*
SA-2	288092	7771464	Boçoroca	Avançado	Dormente	180m	85m	50m	Erosão de encosta	Não	Intensamente Vegetada	Acúmulo de lixo
SA-3	288599	7770635	Boçoroca	Avançado	Ativo	140m	30m	20m	Erosão de encosta	Não	Sem vegetação	*
SA-4	288655	7770590	Boçoroca	Avançado	Ativo	80m	40m	15m	Erosão de encosta	Não	sem vegetação	*

Planilha com as características dos processos erosivos identificados. (continuação)

Ponto	x	y	Observação	Tipo de Feição	Estado do Processo	Comprimento	Largura	Profundidade	Forma	Surgência de Água	Vegetação no interior	Outras Características
SA-5	274683	7780420	Boçoroca	Avançado	Ativo	250m	140m	10-20m	Erosão de drenagem	Sim	Vegetação Arbustiva	*
SA-6	274150	7780102	Boçoroca	Avançado	Ativo	200m	55m	20m	Erosão de drenagem	Sim	Vegetação Arbustiva	*
SA-7	274144	7780021	Boçoroca	Avançado	Ativo	210m	40-80m	20m	Erosão de drenagem	Não	Vegetação Arbustiva	*
SA-8	279482	7776916	Boçoroca	Avançado	Dormente	120m	62m	15m	Erosão de encosta	Sim	Intensamente Vegetada	*
SA-9	279542	7776370	Boçoroca	Avançado	Dormente	200m	150m	20m	Erosão de encosta	Não	Vegetação Arbustiva	*
SR-01	334412	7754638	Ravina	Médio	Ativo	170m	15m	2m	Erosão de Encosta	Não	Vegetação Arbustiva	*
SSP-01	295959	7681751	Boçoroca	Avançado	Dormente	700m	20/150 m	15m	Erosão de encosta	Não	Vegetação Arbustiva	Rastros de pessoas/ animais Acúmulo de lixo doméstico
SSP-02	296794	7681101	Boçoroca	Avançado	Dormente	300m	70m	20/80m	Erosão de encosta	Não	Vegetação Arbustiva	*
SSP-03	298531	7679508	Boçoroca	Avançado	Dormente	400m	250m	40m	Erosão de encosta	Não	Vegetação Arbustiva	Rastros de pessoas/ animais
SSP-04	298103	7680090	Boçoroca	Avançado	Dormente	150m	50m	20m	Erosão de encosta	Não	Intensamente vegetada	*
SSP-05	297341	7680510	Boçoroca	Avançado	Dormente	250m	40m	15m	Erosão de encosta	Não	Intensamente vegetada	*
SSP-06	297363	7681069	Boçoroca	Avançado	Dormente	600m	150m	20/30m	Erosão de encosta	Não	Vegetação Arbustiva	*

Planilha com as características dos processos erosivos identificados. (continuação)

Ponto	x	y	Observação	Tipo de Feição	Estado do Processo	Comprimento	Largura	Profundidade	Forma	Surgência de Água	Vegetação no interior	Outras Características
SSP-07	296255	7682295	Ravina	Médio	Dormente	150m	70m	15m	Erosão de encosta	Não	Vegetação Arbustiva	Acúmulo de lixo doméstico
SSP-09	294530	7677721	Ravina	Incipiente	Ativo	80m	30m	30/50m	Erosão de encosta	Não	Vegetação Rasteira	*
SSP-10	296455	7682245	Boçoroca	Avançado	Dormente	380m	20m	7/10m	Erosão de encosta	Não	Intensamente vegetada	*
SSP-11	295980	7685006	Boçoroca	Avançado	Ativo	110m	400m	24m	Erosão de encosta	Não	Vegetação Rasteira	Rastros de pessoas/ animais
SSP-12	302424	7680256	Boçoroca	Avançado	Dormente	170m	200m	15m	Erosão de encosta	Sim	Vegetação Arbustiva	*
SSP-14	303178	7673972	Boçoroca	Avançado	Ativo	100m	150m	30m	Erosão de encosta	Sim	Vegetação Rasteira	*
SSP-15	295888	7687824	Boçoroca	Avançado	Ativo	250m	300m	20m	Erosão de encosta	Sim	Vegetação Rasteira	Rastros de pessoas/ Animais Acúmulo de lixo doméstico/ entulho
SSP-16	295112	7689515	Boçoroca	Avançado	Ativo	550m	150m	30m	Erosão de encosta	Não	Vegetação Arbustiva	*
SSP-17	294979	7690063	Boçoroca	Avançado	Ativo	100m	40m	10m	Erosão de encosta	Não	Sem Vegetação	*
SSP-18	295723	7688228	Boçoroca	Avançado	Dormente	450m	100m	25m	Erosão de encosta	Sim	Intensamente vegetada	*
SSP-19	294594	7689168	Boçoroca	Avançado	Estabilizado	40m	50m	25m	Erosão de encosta	Não	Intensamente vegetada	*

Planilha com as características dos processos erosivos identificados. (continuação)

Ponto	x	y	Observação	Tipo de Feição	Estado do Processo	Comprimento	Largura	Profundidade	Forma	Surgência de Água	Vegetação no interior	Outras Características
SSP-20	294575	7689009	Ravina	Médio	Ativo	50m	40m	10m	Erosão de encosta	Não	Sem Vegetação	Rastros de pessoas/ animais Acúmulo de lixo doméstico
SSP-22	296129	7687743	Boçoroca	Avançado	Estabilizado	200m	30m	20m	Erosão de encosta	Não	Intensamente vegetada	*
SSP-23	296299	7687805	Boçoroca	Avançado	Dormente	150m	100m	40m	Erosão de encosta	Sim	Intensamente vegetada	*
SSP-24	296444	7688001	Ravinas	Médio	Ativo	30m	25m	12m	Erosão de encosta	Não	Sem Vegetação	*
SSP-25	293844	7686822	Boçoroca	Avançado	Ativo	150m	80m	10m	Erosão de encosta	Sim	Sem Vegetação	Rastros de pessoas/ animais
SSP-26	291673	7689688	Ravina	Médio	Ativo	*	*	6m	Erosão de encosta	Sim	Vegetação Rasteira	*
SSP-27	292234	7684915	Sulcos	Incipiente	Ativo	80m	*	8m	Erosão de encosta	Não	Sem Vegetação	Rastros de pessoas/ animais
SSP-28	293587	7690619	Boçoroca	Avançado	Estabilizado	150m	50m	20m	Erosão de encosta	Sim	Intensamente vegetada	*
SSP-29	297093	7691027	Boçoroca	Avançado	Dormente	*	*	20m	Erosão de encosta	Não	Vegetação Arbustiva	*
SSP-30	292026	7687205	Boçoroca	Avançado	Dormente	200m	80m	20m	Erosão de encosta	Não	Intensamente vegetada	Rastros de pessoas/ animais
SSP-31	291262	7692144	Boçoroca	Avançado	Ativo	100m	30m	9m	Erosão de encosta	Não	Vegetação Rasteira	*

Planilha com as características dos processos erosivos identificados. (conclusão)

Ponto	x	y	Observação	Tipo de Feição	Estado do Processo	Comprimento	Largura	Profundidade	Forma	Surgência de Água	Vegetação no interior	Outras Características
SSP-32	293338	7696115	Boçoroca	Avançado	Ativo	250m	100m	30m	Erosão de encosta	Sim	Vegetação Arbustiva	*
SSP-33	297282	7686724	Ravinas	Médio	Ativo	70m	30m	3m	Erosão de encosta	Não	Vegetação Rasteira	Acúmulo de entulho