

Universidade Federal de São Carlos
Centro de Ciências Biológicas e da Saúde
Programa de Pós-graduação em Ecologia e Recursos Naturais

Análise de processos de erosão acelerada,
com base em fotografias aéreas e geoprocessamento:
Bacia do Rio Bonito (Descalvado, SP).

Roberto Feres

Orientador: Prof. Dr. Reinaldo Lorandi

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação
em Ecologia e Recursos Naturais da Universidade
Federal de São Carlos, como requisito para
obtenção do título de Doutor em Ciências (Área
de Concentração: Ecologia e Recursos Naturais)

São Carlos
Março/2002

**Ficha catalográfica elaborada pelo DePT da
Biblioteca Comunitária/UFSCar**

F349ap	<p>Feres, Roberto. Análise de processos de erosão acelerada, com base em fotografias aéreas e geoprocessamento: Bacia do Rio Bonito (Descalvado, SP) / Roberto Feres . -- São Carlos : UFSCar, 2002. 142 p.</p> <p>Tese (Doutorado) -- Universidade Federal de São Carlos, 2002.</p> <p>1.Erosão do solo. 2. Fotografias aéreas. 3. Ocupação do solo. 4. Política ambiental. 5. Ecologia da paisagem. I. Título.</p> <p>CDD: 631.45 (20ª)</p>
--------	---

AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais – PPG/ERN, que ousou aceitar um Engenheiro Civil entre seus doutorandos, permitindo que esta tese fosse realizada.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Reinaldo Lorandi, que colocou ao dispor deste trabalho todos os recursos necessários para sua realização, tendo sido um grande amigo nestes anos de convívio.

Aos colegas de turma e aos professores Dr. José Eduardo dos Santos, Dr. José Roberto Verani, Dr. José Salatiel Pires e Dr. Felisberto Cavalheiro, cujos cuidados me fizeram assimilar com maior facilidade os conceitos e jargões da Ecologia, com os quais não tinha qualquer familiaridade.

Aos colegas do Grupo de Pesquisa em Geologia de Planejamento do Meio Físico – GPMF, em especial ao Marco Antonio Albano Moreira, à Maria Eugênia Bruck de Moraes, ao Fábio Enrique Torresan e ao Cláudio Jorge Cançado, que contribuíram significativamente nos levantamentos de campo, organização das informações e nas discussões que deram rumo a este trabalho.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP, que indiretamente contribuiu no financiamento da pesquisa, permitindo a aquisição das fotografias aéreas utilizadas.

À Universidade Federal do Acre – UFAC e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, que autorizaram e financiaram a realização de meu Doutorado.

À Guida e ao Marcel, meus primos queridos, que me hospedaram sempre que precisei estar em São Carlos durante os anos de Mestrado e Doutorado.

E, por fim, aos que me incentivaram nesta empreitada, muitas vezes abrindo mão de seus próprios interesses, a quem pretendo poder compensar da melhor forma todos os períodos de ausência.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	O processo erosivo	3
1.1.1	O fenômeno da erosão:	3
1.1.2	Erosão hídrica	5
1.1.3	Fatores do meio físico condicionantes do processo erosivo acelerado	11
1.1.4	Sistemas de avaliação da erosão hídrica	18
1.1.5	Interferência da declividade nos processos erosivos:	20
1.1.6	O Mapeamento Geotécnico para controle da erosão:	22
1.2	Uso das fotografias aéreas em sistema de informações geográficas	25
1.3	Bacia hidrográfica como unidade de análise ambiental	26
2	CASO DE ESTUDO	29
2.1	Localização da área	29
2.2	Descrição da área de estudo	33
2.2.1	Clima e vegetação natural	33
2.2.2	Pedologia	33
2.2.3	Geologia	37
2.2.4	Geomorfologia	46
2.2.5	Uso e ocupação da terra na área	47
2.2.6	Outras informações cartográficas disponíveis	49
3	MÉTODOS	53
3.1	Digitalização da base cartográfica	55
3.2	Georreferenciamento dos arquivos de imagem	56
3.3	Foto-mosaico georreferenciado	59

3.4	Análise do relevo.....	62
3.5	Mapa de materiais inconsolidados.....	65
3.6	Caracterização dos processos erosivos.....	67
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	68
4.1	Mapa de materiais inconsolidados.....	68
4.2	Ocorrências erosivas aceleradas encontradas na área de estudo.	71
4.2.1	Ocorrência nº 1.	74
4.2.2	Ocorrência nº 2.	77
4.2.3	Ocorrência nº 3.	80
4.2.4	Ocorrência nº 4.	83
4.2.5	Ocorrência nº 5.	86
4.2.6	Ocorrência nº 6.	89
4.2.7	Ocorrência nº 7.	92
4.2.8	Ocorrência nº 8.	95
4.2.9	Ocorrência nº 9.	98
4.2.10	Ocorrência nº 10.	101
4.2.11	Ocorrência nº 11.	104
4.2.12	Ocorrência nº 12.	107
4.2.13	Ocorrência nº 13.	110
4.2.14	Ocorrência nº 14.	113
4.2.15	Ocorrência nº 15.	116
4.2.16	Ocorrência nº 16.	119
4.2.17	Ocorrência nº 17.	124
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	127
	REFERÊNCIAS.....	130
	GLOSSÁRIO	142

Lista de Figuras

Figura 1: Representação esquemática das três zonas que compõe o sistema fluvial.....	3
Figura 2: Impacto das gotas de chuva no solo – etapas da desagregação do solo pela gota d'água.	7
Figura 3: Terreno submetido a processo de erosão laminar.	8
Figura 4: Processo erosivo em sulco, decorrente de concentração de drenagem.	8
Figura 5: Desenvolvimento da feição erosiva.....	9
Figura 6: Voçoroca em área rural do município de Descalvado.....	10
Figura 7: Processo erosivo em área urbana.....	10
Figura 8: Formas de encosta.	12
Figura 9: Gabarito para determinação de classes de declividade.	21
Figura 10: Análise de vizinhança em contexto de 3x3 pixels.....	22
Figura 11: Principais usos do solo e possíveis interferências nos recursos hídricos.	27
Figura 12: Localização da área de estudo.	29
Figura 13: Localização do Município de Descalvado em relação às cidades vizinhas.	30
Figura 14: Situação geográfica da área de estudo e Balanço disponibilidade x demanda de água superficial no Estado de São Paulo.	32
Figura 15: Perfil de Areia Quartzosa profunda (NEOSSOLOS) na quadrícula de Descalvado-SP	34
Figura 16: Carta pedológica semi-detalhada do Estado de São Paulo: Quadrícula de Descalvado (OLIVEIRA et al., 1982; BRASIL-EMBRAPA, 1999).....	36
Figura 17: Mapa de formações geológicas de superfície da área de estudo.	38
Figura 18: Mapa de uso das terras	48
Figura 19: Carta de risco potencial à erosão.....	50

Figura 20: Carta de potencial de escoamento superficial	51
Figura 21: Programa IDRISI32 (ver I32.11) – Sistema de Informações Geográficas	54
Figura 22: Programa CartaLinx (ver.1.04) - Processo de digitalização da base cartográfica.....	55
Figura 23: Mesa digitalizadora acoplada ao computador operando o programa CartaLinx.	56
Figura 24: Programa MicroStation 95 – Academic Edition (ver. 05.05.03.31), com módulo Microstation Descartes (ver. 05.05.00.06). Georreferenciamento e geração do mosaico das fotografias aéreas e cartas topográficas.	57
Figura 25: Georreferenciamento de foto aérea (Banda azul da foto 41/faixa 52 – BASE, 2000). Pontos de controle identificados na foto e no mapa topográfico.	58
Figura 26: Recorte da foto aérea (Banda azul da foto 41/faixa 52 – BASE, 2000).....	58
Figura 27: Fluxograma para geração do Foto-Mosaico Georreferenciado	60
Figura 28: Mosaico georreferenciado, produzido a partir das fotografias de Base (2000) – Ampliações no programa Idrisi.	61
Figura 29: Mapa de hipsometria da bacia do Rio Bonito	63
Figura 30: Carta declividades da bacia do Rio Bonito	64
Figura 31: Equipamento GPS associado a computador Notebook para auxílio à localização das informações em campo. Navegação em tempo real.	65
Figura 32: Janela principal do programa TrackMaker Pro - 3.3.5.....	66
Figura 33: Janela de navegação em tempo real do programa TrackMaker Pro - 3.3.5.....	66
Figura 34: Gráfico das frequências de ocorrência das unidades de material inconsolidado.	69
Figura 35: Mapa de materiais inconsolidados	70

Figura 36: Mapa de documentação com a localização das feições erosivas encontradas na bacia do Rio Bonito e amostras utilizadas como referência no trabalho	72
Figura 37: Fotografia aérea da região de ocorrência nº 1, evidenciando os processos erosivos e os instrumentos de controle da perda de solos..	74
Figura 38: Cicatrizes dos processos erosivos ao longo da estrada, em trecho de maior declividade - Ocorrência nº 1.....	75
Figura 39: Ocorrência 01 – Recorte dos foto-mosaicos e cartas temáticas.	76
Figura 40: Perda de solo laminar e ravinas na ocorrência nº 2.....	77
Figura 41: Vista geral da área de ocorrência nº 2.....	78
Figura 42: Ocorrência 02 – Recorte dos foto-mosaicos e cartas temáticas.	79
Figura 43: Imagem aérea da ocorrência nº 3.....	80
Figura 44: Ocorrência 03 – Recorte dos foto-mosaicos e cartas temáticas.	82
Figura 45: Vista aérea da região de ocorrência nº4	83
Figura 46: Exemplo de ravinas verificadas na ocorrência nº 4.....	84
Figura 47: Ocorrência 04 – Recorte dos foto-mosaicos e cartas temáticas.	85
Figura 48: Vista aérea da região de ocorrência nº 5	86
Figura 49: Ocorrência nº 5 - lançamento de lixo urbano na vala de erosão.	87
Figura 50: Ocorrência nº 5 - vista para juzante, mostrando a voçoroca com o afloramento do lençol e a região de depósito de sedimentos, ao fundo.....	87
Figura 51: Ocorrência 05 – Recorte dos foto-mosaicos e cartas temáticas.	88
Figura 52: Vista aérea da ocorrência nº 6.	89
Figura 53: Ocorrência 6 - ravinas formadas na parcela inferior da encosta.	90
Figura 54: Ocorrência 06 – Recorte dos foto-mosaicos e cartas temáticas.	91
Figura 55: Vista aérea da ocorrência nº 7.	92
Figura 56: Ocorrência nº 7 - Pisoteio do solo pelo gado reduz eficácia das práticas adotadas para contenção da erosão.	93
Figura 57: Ocorrência 07 – Recorte dos foto-mosaicos e cartas temáticas.	94

Figura 58: Vista aérea da ocorrência nº 8	95
Figura 59: Ocorrência 08 – Recorte dos foto-mosaicos e cartas temáticas.	97
Figura 60: Ocorrência nº 9 - Perda de solo com formação de sulcos isolados e ravinas.	98
Figura 61: Ocorrência 9 - Canal provocado pela perda acentuada de solo.....	99
Figura 62: Ocorrência 09 – Recorte dos foto-mosaicos e cartas temáticas.	100
Figura 63: Ocorrência 10 - Sulco decorrente da concentração de água canalizada pelo sistema viário.	101
Figura 64: Ocorrência nº 10 – Vista aérea da região de ocorrência nº 10 mostrando os sulcos decorrentes da concentração de drenagem	102
Figura 65: Ocorrência 10 – Recorte dos foto-mosaicos e cartas temáticas.	103
Figura 66: Ocorrência nº 11 - Ravinas e sulcos decorrentes do acumulo de drenagem decorrentes do processo de urbanização.	104
Figura 67: Ocorrência nº 11 - Ravinas provocadas pelo acúmulo de escoamento superficial em terreno de declividade alta.....	105
Figura 68: Ocorrência nº 11 - Perda laminar de solo e sulcos.	105
Figura 69: Ocorrência 11 – Recorte dos foto-mosaicos e cartas temáticas.	106
Figura 70: Ocorrência nº 12 - Pisoteio pelo gado cria canais de drenagem que favorecem o processo erosivo.	107
Figura 71: Ocorrência nº 12 - Perda acentuada de solo na porção inferior da encosta.....	108
Figura 72: Ocorrência nº 12 - Sulcos de erosão em solos rasos e depósitos de sedimentos na porção inferior do terreno.....	108
Figura 73: Ocorrência 12 – Recorte dos foto-mosaicos e cartas temáticas.	109
Figura 74: Ocorrência nº 13 - processos erosivos acontecendo na parcela superior da encosta.....	110
Figura 75: Ocorrência 13 – Recorte dos foto-mosaicos e cartas temáticas.	112
Figura 76: Ocorrência nº 14 - Voçoroca de dimensões moderadas.	113

Figura 77: Ocorrência nº 14 - utilização de bacias de contenção e terraceamento.....	113
Figura 78: Ocorrência 14 – Recorte dos foto-mosaicos e cartas temáticas.	115
Figura 79: Ocorrência nº 15 - Revigoração do processo erosivo cicatrizado.....	116
Figura 80: Ocorrência nº 15 - Vista frontal da feição erosiva.	117
Figura 81: Ocorrência 15 – Recorte dos foto-mosaicos e cartas temáticas.	118
Figura 82: Ocorrência nº 16 - Sulcos erosivos acontecem no contato entre pasto e culturas de milho e cana-de-açúcar.....	119
Figura 83: Ocorrência nº 16 - Transporte e deposição de material erodido.	120
Figura 84: Ocorrência nº 16 - vala de erosão ao longo de uma cerca e decorrente de caminho preferencial da água em vala aberta por gado.	120
Figura 85: Ocorrência nº 16 - valas aberta por pisoteio do gado.....	121
Figura 86 - Ocorrência nº 16 - cicatriz de erosão recuperada, em terreno pisoteado pelo gado.....	121
Figura 87: Ocorrência nº 16 - Material inconsolidado das encostas íngremes é facilmente erodível, com intensa formação de pequenos canais.	122
Figura 88: Ocorrência 16 – Recorte dos foto-mosaicos e cartas temáticas.	123
Figura 89: Ocorrência nº 17 - Vista aérea das feições erosivas.....	124
Figura 90: Ocorrência nº 17 - Detalhe da área de maior incidência de perda de solo.....	124
Figura 91: Ocorrência 17 – Recorte dos foto-mosaicos e cartas temáticas.	126

Lista de Quadros

Quadro 1: Índices de resistência à erosão de rochas e depósitos sedimentares antigos e recentes.	18
Quadro 2: Fatores intervenientes no escoamento superficial.	23
Quadro 3: Fatores intervenientes no potencial a erosão.	24
Quadro 4: Formações Geológicas de Superfície – Bacia do Rio Bonito, percentuais de ocorrência, características texturais e de escoamento superficial.....	40
Quadro 5: Distribuição do uso da terra na bacia do Rio Bonito.	47
Quadro 6: Unidades do Mapa de Materiais Inconsolidados.	68
Quadro 7: Frequências de ocorrência dos unidades de material inconsolidado na bacia do Rio Bonito.	69
Quadro 8: Feições erosivas encontradas na área de estudo	73

Lista de Tabelas

Tabela 1: Velocidade terminal das gotas de chuva.....	7
Tabela 2: Dados geológicos e geográficos dos pontos de amostragem.....	41
Tabela 3: Resultados dos ensaios de erodibilidade e permeabilidade	42
Tabela 4: Resultados dos ensaios de erodibilidade e permeabilidade (continuação).	43
Tabela 5: Resultados dos ensaios de granulometria e classificação MCT.....	44
Tabela 6: Resultados dos ensaios de granulometria e classificação MCT (continuação).....	45

Lista Siglas e Símbolos

3D	Representação em três dimensões
ANSI	American National Standards Institute
APA	Área de Proteção Ambiental
ARC/INFO	Software de SIG da ESRI (Environmental Systems Research Institute)
BDG	Banco de Dados Geográficos
CD	Compact Disk – mídia digital
CD-Rom	Memória digital em CD
CEMA	Comissão Especial do Meio Ambiente
CERH	Centro Estadual de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo
CGAO	Cartes géologiques assistée para ordinateur
CNUMAD	Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente e Desenvolvimento
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CPRM	Serviço Geológico do Brasil
DAEE	Departamento de Águas e Energia Elétrica
DNAEE	Departamento Nacional de Água e Energia Elétrica
DNPM	Departamento Nacional da Produção Mineral
ECO-92	Conferência Internacional das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento
ERS	European Remote Sensing Satellites
EUA	Estados Unidos da América
FAO	Organização das Nações Unidas para a Agricultura e a Alimentação
GIS	Geographic Information System, mesmo que SIG
GPS	Geographic Position System
IA	Instituto Agrônômico
IAA	Instituto do Açúcar e do Alcool
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDRISI	Software de SIG da Clark University
IEPA	Instituto Especial de Proteção Ambiental
IG	Instituto Geológico
IGC	Instituto Geográfico e Cartográfico

INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas
LANDSAT-TM	Satélite Americano-Thematic Mapper
MCT	Miniature Compacted Tropical
MCV	Moisture Condition Value
METEOSAT	Satélite meteorológico operado pela EUMETSAT (European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites)
MGE	Modular GIS Environment
MME	Ministério das Minas e Energia
MNT	Modelo Numérico de Terreno
MOT	Modelo Ortogonal de Terreno
NA	Nota do autor
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
PC	Ponto de Coleta
PETROBRÁS	Petróleo Brasileiro S.A.
Pop	População
SEMA	Secretaria Especial do Meio Ambiente
SEPLAN	Secretaria do Planejamento
SGBD	Sistemas Gerenciadores de Banco de Dados
SIG	Sistemas de Informações Geográficas
SMA	Secretaria do Meio Ambiente
SP	São Paulo
SPOT	Satélite do CNES (Centre National d'Etudes Spatiales), França
SPRING	Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas
SURFER	Surface Mapping System (Golden Software Inc.)
TIFF	Tagged Image File Format
UFAC	Universidade Federal do Acre
UFSCar	Universidade Federal de São Carlos
UGRHI	Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos
UNESCO	United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization
UNESP	Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”
UNICAMP	Universidade Estadual de Campinas
USP	Universidade de São Paulo
UTM	Universal Transverse Mercator

Análise de processos de erosão acelerada, com base em fotografias aéreas e geoprocessamento: Bacia do Rio Bonito (Descalvado, SP).

Resumo:

Este trabalho relata a metodologia adotada para organização das informações do meio abiótico, relativas à caracterização de processos erosivos visíveis em fotografias aéreas, com a finalidade de contribuir em ações de planejamento da bacia de drenagem do Rio Bonito, sub-bacia do Rio Mogi-guaçu, no município de Descalvado-SP, Brasil. A área de estudo encontra-se em região fortemente susceptível a fenômenos erosivos, em decorrência de condições propícias oferecidas pelos materiais inconsolidados de cobertura, facilmente erodíveis. A fragilidade ambiental dos terrenos, entretanto, contrasta com a grande fragmentação da paisagem e variedade do uso da terra. Foram organizados, em ambiente de Sistema de Informações Geográficas - SIG, sob um mesmo banco de dados georreferenciados, em escala 1:50.000, todas as informações cartográficas e amostrais disponíveis e comparadas com um foto-mosaico ajustado à base cartográfica da mesma área, em escala 1:10.000, onde foi possível proceder uma análise visual das feições, por foto-interpretação. Um mapa de materiais inconsolidados foi desenvolvido a partir das informações sobre formações geológicas de superfície correlacionadas com os padrões de declividade do terreno, permitindo automação do mapeamento em ambiente de SIG. As inspeções de campo, assistidas por um sistema de navegação em tempo real sobre as informações cartográficas disponíveis em meio digital, permitiram a complementação das informações necessárias ao diagnóstico dos eventos encontrados. A organização aplicada às informações coletadas permite ao planejador entender os processos individuais, suas causas e os motivos que contribuem para sua persistência, correlacionando-as com os padrões locais de fragilidade do ambiente e compondo uma imagem geral dos eventos que ocorrem na bacia hidrográfica como um todo.

Palavras-chaves: Erosão do Solo, Foto-mosaico, Sistema de Informação Geográfica, Planejamento de Bacia Hidrográfica, Planejamento da Paisagem.

Analysis of accelerated erosion processes using aerial photographs and GIS: Rio Bonito basin (Descalvado, SP)

Abstract

This study relates the methodology adopted to organize the information on the abiotic environment related to the characterization of erosive processes visible in aerial photographs in order to contribute towards actions of planning of the drainage basin of the Bonito river, a sub-basin of the Mogi-Guaçu river, in the municipality of Descalvado-SP, Brazil. The area of study is part of a region highly susceptible to erosive phenomena as a result of favorable conditions provided by the unconsolidated cover material, easily erodible. The environmental fragility of the terrains, however, contrasts with the great fragmentation of the landscape. Under a GIS single georeferenced database at a 1:50,000-compatible scale, all available cartographic and sampling information was organized and compared with a photo mosaic adjusted to a cartographic base of the same area at a 1:10,000 scale, and a visual analysis of the features was performed by photo interpreting. A preliminary map of the unconsolidated material was developed from the information regarding the geological surface formations correlated with the field slope patterns, allowing the automation of the mapping in GIS. The field inspection, aided by real time navigation system on the cartographic information, made possible to diagnose the events found there. The organization applied to the collected information allows the planner to understand each individual developed feature, their causes and the reasons that contribute to its persistence, correlating them with the local patterns of the environment fragility and compounding an overview of the events that occur in hydrographic basin as a whole.

Keywords: Soil Erosion, Photo Mosaic, Geographic Information System, Watershed Planning, Landscape Planning.

1 INTRODUÇÃO

Os processos de erosão acelerada são extremamente danosos e geralmente estão associados, no Brasil, à ação antrópica inadequada em áreas onde as características do terreno (solo, subsolo, água superficial e subterrânea) oferecem condições propícias de erodibilidade e erosividade.

Diagnosticar e caracterizar previamente os terrenos que podem vir a sofrer com processos erosivos pode ser de grande valia, tanto ao estabelecimento de práticas conservacionistas em si, quanto para a análise integrada dos ecossistemas regionais.

Assim, é conveniente o uso das bacias hidrográficas como unidade de análise desses processos e feições erosivas, fazendo com que os aspectos relacionados aos recursos hídricos sejam avaliados de modo amplo, integrados aos demais atributos que interferem ou determinam na capacidade de uso da terra e na sustentabilidade ambiental.

Tem sido crescentemente recomendada a utilização das bacias hidrográficas como unidade de análise ambiental (ASPINALL & PEARSON, 2000), estabelecendo-se como conceito de planejamento em ações governamentais brasileiras, a exemplo dos consórcios de municípios nas bacias dos rios Piracicaba e Mogí-guaçu.

De acordo com Pires & Santos (1995), tal recomendação se deve a utilização de uma abordagem integrada, envolvendo a bacia de drenagem e o conceito de ecossistema, de modo a solucionar conflitos e responsabilidades, quase sempre diretamente ligados ao uso e qualidade da água disponível.

Também tem sido crescente a evolução dos indicadores de valoração dos atributos da paisagem, tomados a partir de informações de sensoriamento remoto e manipulados em ambiente SIG (FROHN, 1998), com o objetivo monitoração, modelagem e avaliação dos ecossistemas.

O caso de estudo ora apresentado, correlaciona parâmetros para diagnóstico de feições de terreno potencialmente erosivas, com base em informações obtidas por

fotointerpretação e informações geológicas, pedológicas e cartográficas disponíveis, com tratamento em Sistemas de Informação Geográfica-SIG.

Tomando como unidade de análise a bacia do Ribeirão Bonito, em Descalvado-SP, foram tratados os atributos dos terrenos onde houve a manifestação do fenômeno de erosão acelerada, bem como as ações que propiciaram o desencadeamento de tal processo, as feições análogas onde não ocorreram as voçorocas e ravinas acentuadas, analisando as informações obtidas de modo a estabelecer parâmetros de comparação que indicassem para ações preventivas e de remediação a serem adotadas nos instrumentos de planejamento regional.

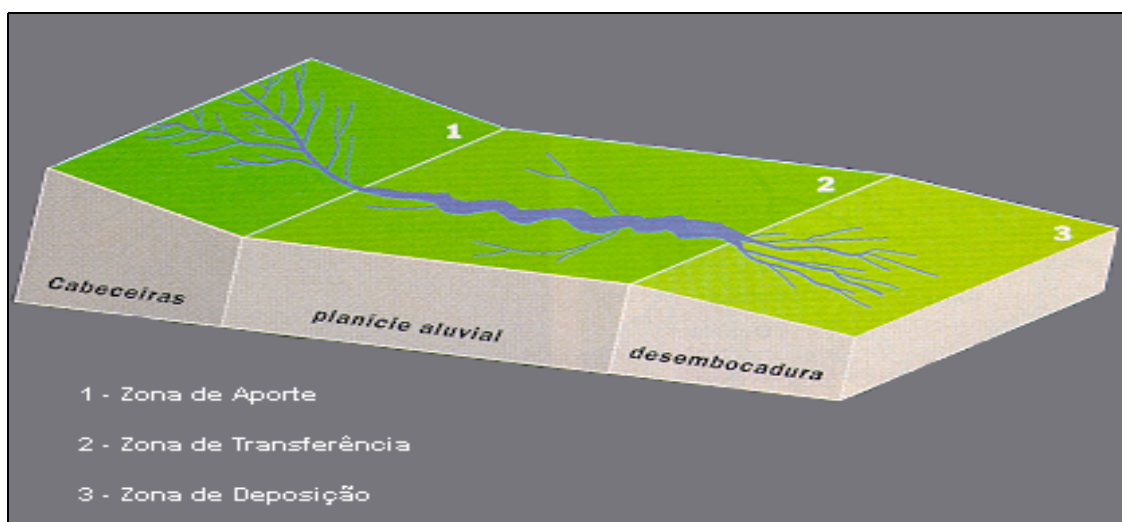
Em regiões como a bacia hidrográfica estudada, onde os processos erosivos do solo, por ação hídrica, são intensos, e o uso agrícola muito variado, a preocupação com práticas conservacionistas de manejo da terra interfere significativamente nos custos de produção e não pode ser desprezada nos programas de zoneamento e de planejamento da paisagem.

As políticas de manejo economicamente eficiente das bacias hidrográficas exigem o estabelecimento de metas de impacto ambiental, de tal forma que os custos de produção associados às ações de redução da poluição agrícola e erosão do solo estejam adequadamente considerados (ÖNAL et al., 1998).

O adequado conhecimento dos fatores de fragilidade da paisagem, em ambiente de alta fragmentação espacial como o da bacia de drenagem considerada neste trabalho, deve contribuir significativamente para o planejamento otimizado desses objetivos concorrentes (FORMAN, 1997).

1.1 O processo erosivo

Os fenômenos de erosão, transporte e sedimentação são processos ligados à dinâmica geológica e climática do planeta. Dentro dessa dinâmica podemos distinguir zonas geradoras ou de produção de sedimentos em que predomina a erosão; zonas de transferência, em que predominam os processos de transporte e depósito e, por último, zonas de sedimentação em que predominam os processos de acúmulo (Figura 1). Os processos de erosão-transporte-sedimentação se realizam, em maior ou menor intensidade, em todas essas zonas e resultam interdependentes entre si. Portanto, estudar separadamente um desses processos, sem compreender o funcionamento global deles, pode levar a importantes erros, interpretações pouco exatas ou excessivamente parciais, razão pela qual deve-se sempre estar atento a essa constatação.



Fonte: Latrubesse & Franzinelli, 1993

Figura 1: Representação esquemática das três zonas que compõe o sistema fluvial.

1.1.1 O fenômeno da erosão:

Toda classe de solo, usada para fins agrícolas ou não, possui um conjunto de características (físicas, químicas e mineralógicas) que determinam o limite da intensidade da exploração racional e econômica, sem que haja uma redução exagerada em sua capacidade produtiva. O conhecimento e a análise dessas características do solo, determinam a capacidade de uso para uma determinada finalidade. A freqüente e contínua ocupação dos solos fora de suas características de capacidade de uso é uma das principais causas de desgaste e empobrecimento dos solos agricultáveis, tendo como consequência a perda da capacidade produtiva.

Embora o Brasil seja um país privilegiado em terras agricultáveis, do ponto de vista qualitativo sua colocação não é das melhores, pois seu clima tropical e subtropical, aliado às condições de origem geológica ou a terrenos de topografia acidentada, faz com que grande parte dos solos brasileiros seja de fertilidade efêmera e de difícil cultivo. O mesmo não pensam os agricultores brasileiros, que se valendo da vastidão de novas áreas a explorar, caminham descuidadamente rumo ao oeste, deixando às suas costas um melancólico caminho percorrido de morros desnudos, de campos afetados pela erosão e de solos exauridos.

No Estado de São Paulo, segundo Bellinazzi Junior et al. (1981), devido ao crescimento e avançado estágio de desenvolvimento tecnológico, a agricultura é acionada por uma crescente demanda de alimentos e matérias primas, cuja produção agrícola atual atinge bilhões de reais.

De modo geral, essas explorações agropecuárias não obedecem ao critério de capacidade de uso das terras, o que dificulta sobremaneira o controle da erosão rural. As práticas conservacionistas, quando adotadas, especialmente as de controle da erosão, apresentam resultados aquém do desejado, devido o desajustamento das explorações à capacidade de uso das terras.

Calcula-se que hoje cerca de 80% da área cultivada do Estado de São Paulo esteja sofrendo processo erosivo além dos limites médios de tolerância (4,0 a 15,0 t/ha/ano), e que se agrava a cada ano que passa.

Além dos prejuízos causados à produção agropecuária, a erosão representa sérios riscos aos vultosos empreendimentos destinados à produção de energia elétrica, provocando a poluição das águas e o assoreamento das represas.

A erosão das terras paulistas constitui-se num dos principais fatores que tem conduzido a agropecuária à baixas produtividades e altos custos de produção, o que vem provocando o desaparecimento de pequenas e médias empresas agrícolas, provocando um esvaziamento populacional da zona rural e agravamento dos problemas sociais, inclusive pela ocorrência de erosão acelerada, principalmente nos centros urbanos de médio a grande portes (Bauru, Marília, Casa Branca etc).

Considerados os processos de erosão-transporte-sedimentação, podemos concluir que a erosão consiste em um conjunto de processos, naturais e/ou acelerados, pelos quais os materiais da crosta terrestre são desagregados, dissolvidos ou desgastados

e transportados de um ponto a outro por sistemas erosivos, tais como: glacial, periglacial, eólico, marinho e litorâneo, hídrico-fluvial, lacustre e cárstico.

O processo erosivo que ocorre na superfície terrestre sob condições naturais, definindo as formas do relevo, é chamado de erosão geológica ou natural. Quando condições perturbadoras do equilíbrio natural são provocadas, geralmente por ação antrópica, a quantidade de material erodido aumenta no tempo para uma determinada área (taxa de erosão), ao que se denomina de erosão acelerada.

1.1.2 Erosão hídrica

O objetivo deste trabalho consistiu em tratar somente das ocorrências de erosão hídrica que interferem e determinam as políticas de uso e ocupação das terras de uma bacia hidrográfica.

Segundo Ellison (1947), a dinâmica do processo erosivo pela chuva pode ser esquematizada segundo quatro sub-processos:

- a) destacamento de partículas pela gota de chuva;
- b) transporte do sedimento pela gota;
- c) destacamento pelo fluxo superficial;
- d) transporte pelo fluxo.

O impacto da gota de chuva contra a superfície do solo, pode também provocar a compactação e o selamento da superfície.

A ocorrência de processos erosivos do solo está associada a ocorrência de dois fatores associados: Erodibilidade dos solos (susceptibilidade do solo a erosão) e Erosividade dos agentes (fatores condicionantes da erosão).

A erodibilidade é determinada exclusivamente por características do solo e sua disposição no terreno:

- Estrutura do solo
- Estratificação
- Permeabilidade
- Teor de umidade
- Textura

- Composição
- Tipo e extensão da cobertura
- Declividade do terreno.

A erosividade, por sua vez, depende da intensidade da ação antrópica inadequada e da energia dos agentes erosivos.

Como exemplos de ação antrópica inadequada que acentua a erosividade podem ser citados:

- Retirada da cobertura vegetal
- Manuseio impróprio do solo (culturas esgotantes...)
- Pastos com alta densidade de animais
- Abertura de valetas ortogonais as curvas de nível
- Loteamentos sem cuidados com a conservação do solo.

Entre os agentes erosivos o de maior relevância para as condições urbanas é a chuva que destaca, desagrega e transporta o solo, provocando também o deslizamento de maciços e assoreamento de cursos d'água.

A erosão hídrica pode ser subterrânea, quando o material de sub-solo é desagregado e maciços são desmontados pelo escoamento subterrâneo, ou superficial quando a ação sobre o solo se dá pelas águas de superfície.

Com base em estudos desenvolvidos por diversos autores (Meyer & Monke, 1965; Young & Mutchler, 1969; Emmett, 1970; Cooke & Doornkamp, 1977), o escoamento superficial apresenta feições extremamente complexas. Em pequenas áreas, por exemplo, o fluxo superficial movimenta-se como uma película praticamente uniforme na direção do maior gradiente, que pode ser tanto para jusante, como para as laterais. Tal não acontece, quando pequenas variações de cotas e/ou inclinações provocam concentração no fluxo de água, causando primeiro minúsculos filetes e em seguida sulcos, com o aumento da vazão.

Segundo Bertoni & Lombardi Neto (1990) e CEOTMA (1982), as formas clássicas mais importantes de erosão hídrica são:

a) Erosão pelo impacto da chuva ou por embate: nessa forma de erosão, o impacto das gotas de chuva rompe os agregados do solo, desprende e transporta as partículas mais

finas, que são as de maior valor, causando também uma compactação na superfície do terreno, reduzindo a capacidade do solo absorver água e aumentando a enxurrada (runoff) na superfície;

A Figura 2 mostra o impacto da gota de chuva ao atingir o terreno, desagregando solo local e uma representação esquemática do tempo de ocorrência do impacto da gota no solo.



Fonte: adaptado de Schwab et al., 1993

Figura 2: Impacto das gotas de chuva no solo – etapas da desagregação do solo pela gota d'água.

A Tabela 1 apresenta uma correlação entre o diâmetro da gota de chuva e a velocidade com que atinge o solo, diretamente associada à energia transferida no processo de desagregação das partículas.

Tabela 1: Velocidade terminal das gotas de chuva.

Diâmetro da gota (mm)	Velocidade terminal (m/s)
0,5	2,06
1,0	4,03
1,5	5,41
2,0	6,49
3,0	8,06
4,0	8,83
5,0	9,09
5,5	9,15
5,8	9,17

Fonte: Linsley et al., 1982

b) Erosão laminar: perda laminar de material, causada pelas enxurradas que deslizam como um lençol, desgastando a superfície do solo, suave e uniformemente em toda sua extensão. Remove inicialmente a matéria orgânica e as partículas de argila.

Manifesta-se pela remoção de delgadas camadas de solo, geralmente de modo uniforme sobre toda a superfície, causada pela desagregação dos elementos terrosos através do impacto das gotas de chuva e pelo escoamento. Desse modo, o conjunto água-solo escorre ao longo dos declives como uma lâmina e o solo vai se degradando por retiradas sucessivas de suas camadas. Um exemplo é mostrado na Figura 3.



Fonte: do autor

Figura 3: Terreno submetido a processo de erosão laminar.

c) Erosão em sulcos ou córregos: Desenvolvimento de pequenos canais nos quais o fluxo superficial se concentra. Costuma ser considerada como estágio mais avançado da erosão laminar e pode ser corrigida facilmente. Manifesta-se pelo arraste de partículas do solo, em pequenas irregularidades do terreno, crescendo em volume e velocidade suficientes para formar sulcos mais ou menos profundos. A Figura 4 mostra um sulco decorrente da concentração de águas pluviais em terreno rural.



Fonte: do autor

Figura 4: Processo erosivo em sulco, decorrente de concentração de drenagem.

d) Erosão acelerada: Chamada de voçoroca ou boçoroca, é o estágio mais adiantado da erosão em córregos. Manifesta-se por profundas incisões no terreno, originadas quando existe grande concentração de escoamento em alguma zona determinada e se processa, de acordo com Fendrich (1984), em quatro estágios:

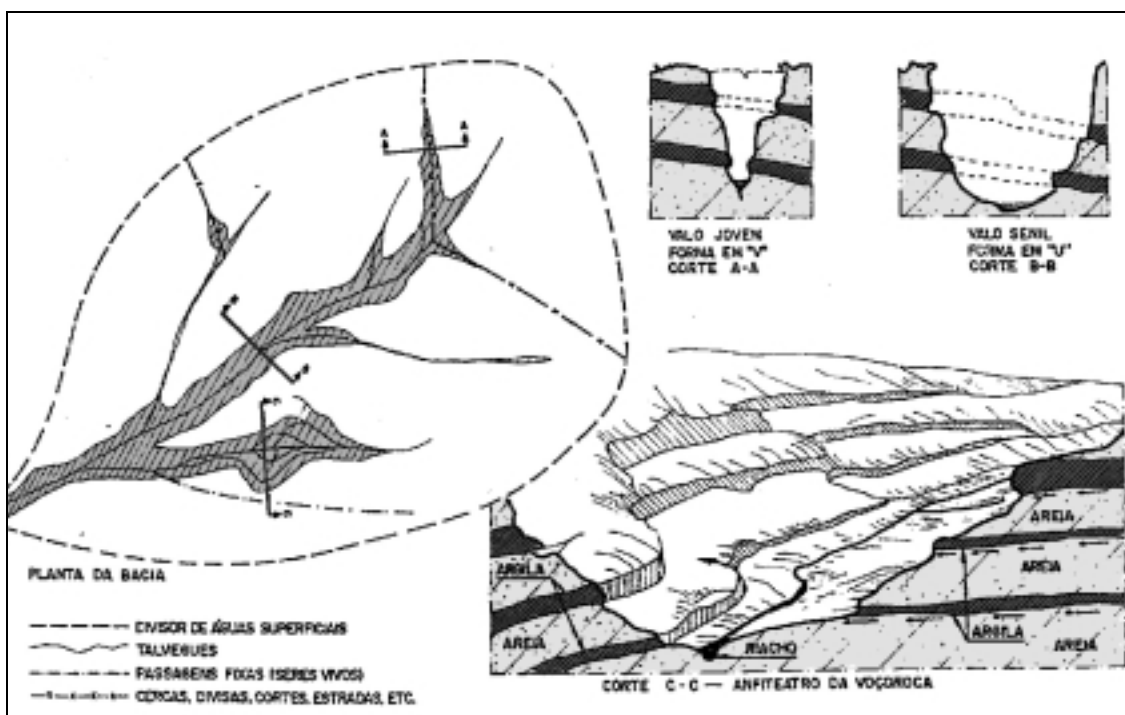
ESTÁGIO 1: Erosão do canal onde há o escoamento concentrado. Geralmente se dá de modo mais lento.

ESTÁGIO 2: Incremento rápido em profundidade e largura, carreando uma grande parte do material. Formação da cabeceira da voçoroca, a qual move-se para montante.

ESTÁGIO 3: Declínio no aumento da voçoroca, com o início de crescimento da vegetação natural.

ESTÁGIO 4: Estabilização da voçoroca, com o canal em seu interior locado num perfil de equilíbrio. Paredes estáveis e vegetação em equilíbrio seguram o solo.

A Figura 5 apresenta perfis de desenvolvimento de uma feição erosiva nas fases jovem e senil, mostrando a variação temporal da forma da voçoroca.



Fonte: Fendrich, 1984.

Figura 5: Desenvolvimento da feição erosiva.

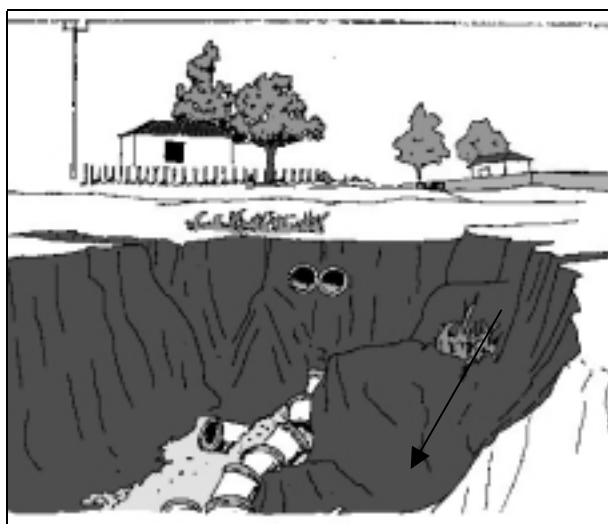
Um processo erosivo, bastante evoluído, em fase de contenção, localizado próximo à bacia do Rio Bonito, é mostrado na Figura 6. A fotografia aérea da esquerda dá um panorama geral da perda de solo ocorrida e um detalhe é apresentado na fotografia da direita.



Fonte: Base, 2000 (esquerda) e Autor (direita)

Figura 6: Voçoroca em área rural do município de Descalvado.

O desenho da Figura 7 mostra o início de uma voçoroca urbana, decorrente da concentração de drenagem em local vulnerável a processos erosivos.



Fonte: IPT, 1984

Figura 7: Processo erosivo em área urbana.

e) Outras formas: deslocamentos e escorregamentos de massas de solo; erosão em pedestal; erosão em pináculo; erosão em túnel e erosão da fertilidade do solo.

1.1.3 Fatores do meio físico condicionantes do processo erosivo acelerado

Para São Paulo-CERH (1990) e IPT (1986) *apud* Prandi (1996), apesar da causa principal para o surgimento do problema estar nas atividades humanas (desmatamentos, queimadas, mal uso do solo agrícola e urbano); o fenômeno é condicionado por fatores naturais que comandam os processos erosivos, sendo classificados em fatores extrínsecos e intrínsecos.

a) Fatores extrínsecos: geomorfológicos; climáticos; biótico-vegetativo;

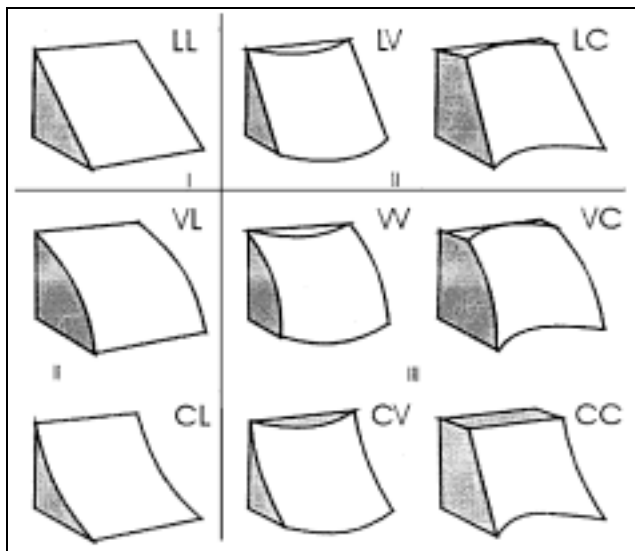
a.1) Geomorfológicos

Segundo São Paulo-CERH (1990), deve-se analisar a influência da topografia na erosão através da ponderação de dois fatores: declividade e comprimento de rampa. Assim, maiores velocidades de erosão podem ser esperadas em relevos acidentados, como morros, que em relevos suaves, como colinas amplas, pois declividades mais acentuadas favorecem a concentração e maiores velocidades de escoamento das águas, aumentando sua capacidade erosiva. A declividade passa a ter maior importância a medida que aumenta o trecho percorrido pela água que escoar, ou seja, quanto maior for o comprimento da encosta.

Ampliando a discussão sobre os fatores relacionados ao relevo, Vilar (1989), desenvolve uma equação para a erosão em que são retratadas as ações erosivas do impacto da gota de chuva e do escoamento superficial, ações estas representadas pela capacidade de transporte desses processos. Pela equação resultante permite-se verificar o efeito da forma da encosta sobre a erosão, além de possibilitar o estabelecimento de um perfil de encosta que tende a fornecer as menores perdas por erosão pela chuva, ou seja, o perfil de mínima erosão. Constatou-se que perfis com mesmos comprimentos e mesmas declividades médias mostram taxas diferenciadas de erosão ao longo da distância e na seção de saída. Assim, um perfil de forma convexa tende a perder mais solo em relação a um perfil retilíneo e este apresenta maiores perdas que um perfil côncavo.

Para Bertoni & Lombardi Neto (1985), quatro formas de relevo influenciam nos processos erosivos: côncavo, convexo, homogêneo e deformado. Segundo os autores, não estão bem avaliados os efeitos dos declives côncavo e convexo, fazendo com que a utilização de gradiente médio para um mesmo comprimento de rampa possa superestimar as perdas de solo para os primeiros e subestimar para os segundos.

A classificação de formas de encosta proposta por Ruhe (1975) foi utilizada por Xu (1996) entre os fatores do meio físico que influenciam a ocorrência de processos erosivos. A proposta utiliza uma análise tridimensional da encosta, considerando sua forma no comprimento e largura e classificando os aspectos laterais e longitudinais nos tipos linear (L), convexo (V) e côncavo (C). As nove combinações encontradas são mostradas na Figura 8.



Fonte: adaptado de Ruhe, 1975

Figura 8: Formas de encosta.

LEGENDA

- Grupo I: formas simples do tipo co-linear (LL)
- Grupo II: formas lineares em uma dimensão e curvas na outra dimensão, dos tipos convexo-linear (VL), linear-convexo (LV), côncavo-linear (CL) e linear-côncavo (LC).
- Grupo III: formas complexas, que apresentam curvatura dupla, dos tipos convexo-convexo (VV), convexo-côncavo (VC) e côncavo-côncavo (CC).

Peixoto et al. (1995), ao estudarem o comportamento morfodinâmico dos sistemas de drenagem, visando a definição de áreas mais suscetíveis aos processos erosivos em áreas com feições deposicionais quaternárias em diferentes compartimentos topográficos, concluíram que:

1) nos compartimentos topográficos de colinas dissecadas e de degraus reafeiçoados ocorrem grande número de feições erosivas aceleradas desconectadas e fundos de vale predominantemente esvaziados. As feições de voçorocas conectadas identificadas correspondem a resquícios do processo de desentulhamento dos eixos de drenagem, enquanto que as voçorocas desconectadas apresentam-se relacionadas, provavelmente, a condicionantes lito-estruturais, sendo intensificadas pelo uso inadequado dos solos;

2) nas áreas de menor dissecação topográfica, caracterizadas por uma morfologia de colinas suaves e vales largos, caracterizam-se como locais com pouca incidência de feições erosivas, tanto desconectadas como conectadas à rede de drenagem. Nestas

áreas os cursos fluviais encontram-se pouco encaixados, inexistindo feições de terraços fluviais, demonstrando um comportamento morfodinâmico que não acompanhou o processo de reencaixamento da drenagem regional;

3) nos compartimentos caracterizados pela ocorrência de colinas relativamente mais dissecadas são identificadas bacias de drenagem com comportamento morfodinâmicos distintos. Essa diversidade parece estar associada a controles lito-estruturais (DANTAS et al., 1995 *apud* PEIXOTO et al., 1995, op. cit.) e/ou morfométricos (LESSA, 1995 *apud* PEIXOTO et al., 1995, op. cit.), que condicionam a retenção e a evasão da sedimentação dos fundos de vale, bem como à erodibilidade das coberturas sedimentares/pedológicas quaternárias.

Concordando conceitualmente com Peixoto et al. (1995), Souza (1995), com base nos trabalhos de Castro et al. (1995), relata que a origem dos processos erosivos na porção média da Bacia do Rio Piracicaba (SP) está muito mais vinculada à dinâmica natural e à evolução do relevo durante o quaternário, do que à ocupação antrópica ou ao uso inadequado do solo. Nessa área as correlações entre os tipos de relevo, a litologia, as características estruturais, e os tipos de solo e o seu comportamento geotécnico, mostraram que a maior concentração dos processos erosivos se dá quando, sobre os relevos de colinas pequenas e colinas médias/pequenas, há conjugação de um ou mais dos seguintes fatores: litologias de lamitos e ritmitos do Subgrupo Itararé; densidade relativamente alta de fraturas e solos podzólicos.

Do ponto de vista agrícola, utiliza-se o comprimento do declive como parâmetro de cálculo de taxa de erosão. Com base nessa premissa, Foster et al. (1982) explica que o comprimento crítico de declive pode ser utilizado como uma referência para auxiliar na definição da distância entre terraços nos preparos conservacionistas de solo, cuja redução de eficácia, no controle da erosão hídrica, pode ser entendida, ainda, como o ponto no terreno a partir do qual a enxurrada sulca o solo por baixo do resíduo.

Analisando tal critério, Bertol (1995) afirma que este não leva em conta se a erosão daquele ponto em diante excede ou não determinada taxa, isto é, significa que a taxa de erosão a partir do comprimento crítico de declive no terreno pode ser inferior ou superior à tolerância de perda de solo para aquela classe de solo.

Com base nesses critérios Bertol et al. (1997), ao instalarem parcela experimental sobre um Podzólico Vermelho-Amarelo, textura argilo-franco-arenosa no

horizonte superficial, em Eldorado do Sul (RS), constataram que a eficácia dos sistemas de preparos conservacionistas de solo no controle da erosão hídrica depende, entre outros fatores, da quantidade de resíduos de culturas na superfície e do comprimento/inclinação do declive, existindo um ponto a partir do qual a erosão aumenta em função da perda de eficácia dos resíduos culturais para o controle da erosão.

a.2) Climáticos

Entre esses fatores consideram-se básicos a temperatura e a pluviometria, sendo que, na região em questão, o importante refere-se a intensidade e regime das precipitações, assim como sua distribuição na área de estudo.

São Paulo-CERH (1990) explica que a chuva provoca uma aceleração maior ou menor do processo erosivo, dependendo da forma como cai: sua distribuição mais ou menos regular, no tempo e no espaço, e sua intensidade. Assim, chuvas torrenciais ou pancadas de chuvas intensas, como trombas d'água, durante os períodos chuvosos, constituem a forma mais agressiva de impacto da água no solo. Durante estes eventos a aceleração da erosão é máxima, sendo nestas ocasiões que ravinas e voçorocas ativas avançam de maneira extremamente rápida, criando, muitas vezes, situações emergenciais nas periferias das cidades, atingindo edificações ou interrompendo estradas.

a.3) Biótico-vegetativo

De acordo com De Llano (1987), a vegetação tem dupla finalidade com relação aos fatores naturais que alteram o processo erosivo: a de defender o solo contra a ação do vento e do impacto da gota da chuva e de dificultar a circulação da água e dar tempo para uma maior proporção de água absorvida pelo terreno. Essa dupla finalidade, explica o autor (op. cit.), apresenta um processo autoalimentado, tratando-se ora de degradação, ora de melhora. Assim, deve-se considerar a palavra cultivo em seu mais amplo conceito, já que, para um clima e solos definidos, é possível que somente uma vegetação permanente seja suscetível de evitar a degradação.

Com base nos índices de proteção indicados pela FAO (*apud* CEOTMA, 1982), observa-se o grau em que se encontra protegida uma bacia hidrográfica segundo a classe e estado de sua cobertura vegetal.

A cobertura vegetal tem um forte papel nos processos erosivos através da sua capacidade de interceptar as águas da chuva (GUERRA et al., 1995) e também na formação de húmus, que afeta a estabilidade e o teor de agregados (EMMERSON, 1977; GUERRA, 1990).

b) Fatores intrínsecos: solos; substrato rochoso

b.1) Pedológicos

Os fatores extrínsecos, anteriormente descritos e que contribuem com a erosão hídrica, não produzem os mesmos efeitos em todos os solos. As condições físicas (textura, estrutura, umidade) e químicas (dispersantes e flocculantes naturais) dos terrenos, ao dar-lhes maior ou menor resistência a ação da água, tipificam e singularizam o comportamento de cada solo exposto à condições similares do declive, chuva e cobertura vegetal.

Assim, exemplifica Castro (1980), um solo com textura arenosa (<15% argila + silte), contendo grandes poros e durante uma chuva leve, absorve toda a água que recebe sem originar correntes superficiais e, portanto, sem sofrer erosão. Porém, como possui baixa proporção de partículas argilosas, que atuam ligando e mantendo unidas as partículas grossas, ao fluir qualquer corrente de água sobre sua superfície, arrasta grandes quantidades de solos. Essa mesma ausência de agentes cimentantes provoca uma redução nas condições de retenção de água, podendo provocar erosão eólica e/ou provocar deficiência hídrica, durante os períodos de seca.

Comportamento contrário ocorre em solos de textura argilosa (35-59% de argila) e/ou muito argilosa ($\geq 60\%$ de argila), onde a ocorrência de poros muito pequenos pode ser vantajosa ou não. Desse modo, durante uma chuva normal, grande parte das águas não penetra no terreno podendo, em função do declive, ocorrer erosão laminar. Por outro lado, microporos armazenam água durante mais tempo, facilitando sua absorção pelas plantas e, ao mesmo tempo, oferecem uma maior resistência a ação desintegradora das correntes superficiais e dos pingos de uma nova chuva.

Desse modo, os solos com textura média (<35% de argila e >15% de areia, excluídas as classes areia franca e areia), onde as partículas são de diferentes tamanhos e misturadas de modo heterogêneo, são os que apresentam menos problemas erosivos em comparação aos citados anteriormente.

Com relação a estrutura dos solos, Middleton *apud* Castro (1980), cita que, pelo fato desta estar relacionada com o arranjo das partículas individualizadas, seu estudo é primordial na determinação da erodibilidade dos solos. Concluindo sua abordagem, explica que, ao estudar a relação de algumas condições físicas com a facilidade de erosão dos terrenos, foi possível indicar três características que possibilitam distinguir os solos: relação de dispersão, relação de colóides a uma determinada umidade e a relação de erosão. Destas três, segundo o autor, a mais significativa é a relação de erosão, pois fornece uma indicação mais segura da erodibilidade dos solos sob condições similares.

A presença de argila e de matéria orgânica contribui comumente para formar grumos mais estáveis. Além destes, comentam Fernandes Junior (1989) e Vilar & Prandi (1993), outros fatores que contribuem para a agregação de partículas são a presença de cátions divalentes, quando comparados a cátions monovalentes (sódio, principalmente); a ligação provocada pelos sesquióxidos de ferro e alumínio e a ligação de partículas pela secreção de raízes e gels formados pela dissociação de matéria orgânica.

Além destes, a forma topográfica dos solos, pedoforma, é uma de suas características mais facilmente visíveis, constituindo-se num dos elementos normais de relação entre o homem e o solo.

As relações entre a pedoforma e as propriedades do solo pode ser explicada. Assim, por exemplo, o fator tempo está relacionado com a evolução do relevo, onde as grandes chapadas, altas e de pedoforma suave, possuem os solos mais velhos. Os solos mais jovens situam-se nas partes mais rejuvenescidas da paisagem, apresentando relevo mais acidentado, onde a erosão geológica, sendo mais acentuada, provoca a remoção do material inconsolidado, produzido por processos de meteorização e não atinge um envelhecimento acentuado.

Os afloramentos de rochas estão, portanto, associados às pedoformas mais acidentadas, mas, mesmo nesse caso, deve-se ter cuidado na interpretação. Assim, se a condição climática é pouco ativa (climas semi-árido ou temperado), os solos são jovens, mas pode ocorrer muito afloramento de rocha numa pedoforma mais suave.

Com relação à profundidade, esta é tanto maior quanto mais ativo for o clima e menos resistente for a rocha. No entanto, alerta Resende (1988), é bom observar que o

lençol freático elevado, atualmente ou no passado, associado a condições peculiares de reduzida permeabilidade, pode conduzir à permanência de solos jovens, pouco profundos, em condições que seriam, de outra forma, altamente favoráveis a uma intemperização extrema. Como exemplo, segundo o autor (op. cit.), rochas pelíticas, num relevo relativamente plano do Estado do Acre e sob condições bioclimáticas ativas, produzem solos pouco profundos com argila de alta atividade.

A profundidade do solo e também as condições físicas do subsolo contribuem para a capacidade de armazenamento da água nos terrenos. Um solo solto e poroso, colocado sobre um substrato também solto e de textura média, pode absorver e reter maiores quantidades de água em comparação ao mesmo solo repousado sobre estratos compactos ou pouco permeáveis.

A capacidade do solo em fornecer nutrientes depende de sua reserva nestes elementos, sendo que esta, por sua vez, é função de um balanço existente entre perdas e ganhos no sistema solo.

As perdas, segundo Resende (1988), se processam principalmente através da erosão e da lixiviação, enquanto que os ganhos ocorrem pelo intemperismo e adições, onde as contribuições aluviais são as mais significativas.

Para ilustrar essa relação de ganhos e perdas, Resende (op. cit.) classifica os pedoambientes quanto às perdas e ganhos de nutrientes, onde nota-se que as perdas por erosão são, em geral, muito mais pronunciadas do que aquelas por lixiviação, principalmente no que se refere ao fósforo.

Outros trabalhos relacionados com o tema podem ser relacionados: Renfro (1975), Wischmeir & Smith (1978), Denardin (1990), Oliveira (1992), Thomas (1994), Agena & Saad (1995) e Medeiros et al. (1995).

b.2) Geológicos

Com relação a erosão, principalmente nos domínios das rochas cristalinas, é sabidamente muito grande o contraste de comportamento entre os materiais de alteração de rocha (saprolitos) e os solos superficiais. Com raras exceções, diante da ação das águas pluviais, os materiais de alteração são flagrantemente mais erodíveis que os solos superficiais.

Com base nos índices litológicos divulgados pela FAO, CEOTMA (1982) elabora o Quadro 1, onde classifica rochas e depósitos recentes com relação às suas resistências à erosão hídrica.

Quadro 1: Índices de resistência à erosão de rochas e depósitos sedimentares antigos e recentes.

Tipos de rochas		Índice de resistência à erosão
Rochas duras	Rochas básicas	0,9 - 0,8
	Rochas ácidas	0,9 - 0,5
	Rochas metamórficas	0,8 - 0,6
	Arenitos consolidados	0,6 - 0,5
Rochas brandas	Calcários friáveis	0,7 - 0,6
	Dolomitos	0,7 - 0,5
	Xistos brandos muito friáveis	0,3 - 0,2
	Terrenos plásticos	0,4 - 0,3
	Margas e argilas	0,2 - 0,1
	Gipsitos	0,2 - 0,1
Depósitos antigos (depósitos fluviais, glaciares consolidados, etc):		0,6 - 0,2
Depósitos recentes (morenas, glaciares, colúvios não estabilizados):		0,3 - 0,1

Fonte: FAO *apud* CEOTMA, 1982.

Confirmando esses dados, Collares (1994), ao executar o mapeamento da Quadrícula de Bragança Paulista (SP), observa a ocorrência de grandes voçorocas na região, alguns ravinamentos e focos de erosão laminar dispersos por toda a área. Nota também que a quase totalidade dos casos de erosão está associada à ação antrópica, seja por ocupação desordenada, desmatamento ou inexistência de canais de escoamento da água das chuvas nas estradas vicinais. Em todos os casos, o solo saprolítico ou o saprolito estão bem próximos à superfície, originários de rocha micácea, e ricos em argilo-minerais expansivos.

1.1.4 Sistemas de avaliação da erosão hídrica

Os sistemas de avaliação da erosão têm como objetivo a obtenção de dados que quantifiquem ou qualifiquem a magnitude e importância do processo ou a suscetibilidade deste, em uma determinada área.

Segundo Marqués, *apud* Val Melus (1987), os sistemas de avaliação desse fenômeno refletem as taxas de erosão, o estado atual da erosão e o risco de erosão e podem ser agrupados em dois tipos:

- Avaliações diretas

Nesse tipo de avaliação, analisa-se o rebaixamento da superfície topográfica, permitindo-se conhecer a velocidade e magnitude da erosão. Geralmente se utilizam pequenas áreas para o experimento. São próprias para pesquisas na área agrícola e não são utilizadas para planejamento regional:

- a) estacas situadas verticalmente ao solo;
- b) sucessivos levantamentos microtopográficos em rampas;
- c) comparações entre perfis edáficos, em áreas onde a avaliação e características sejam similares, entre solos não erosionados e erosionados;
- d) avaliação do volume de incisões (sulcos e voçorocas) sob pequena ou média escala;
- e) análise da carga sólida e em dissolução arrastada pela água em rampa ou bacia hidrográfica fluvial.

- Avaliações indiretas

Os sistemas que fazem parte deste tipo de avaliação têm como base o estudo de um ou mais fatores de controle da erosão ou o estudo das formas de erosão.

O primeiro grupo trabalha com valorações empíricas que proporcionem dados numéricos da taxa de erosão, como a Equação Universal de Perdas de Solo. Essa equação foi estabelecida com base em dados obtidos em uma série de parcelas experimentais nos EUA e apresenta limitações de utilização, servindo somente para prever a erosão produzida por erosão laminar e em sulcos, não sendo válida para o cálculo da perda de solo para uma determinada chuva, mas sim como valor médio anual, e aplicável para pequenas áreas, necessitando de dados muito difíceis de serem obtidos.

Outros sistemas, pertencentes ao segundo grupo, são utilizados para a avaliação dos riscos ou suscetibilidades à erosão e baseiam-se na utilização e representação cartográfica de um só fator de controle de erosão (erosividade da chuva) ou através da combinação de vários fatores (geomorfológicos, climáticos, bióticos, pedológico, geológico).

1.1.5 Interferência da declividade nos processos erosivos:

A declividade elevada não é condição obrigatória para que ocorram processos erosivos, mas contribui como atributo de grande peso no escoamento superficial para a evolução de tal fenômeno.

Um instrumento importante para a análise do meio físico nas atividades ligadas ao planejamento ambiental é a Carta Clinométrica ou de Declividades Naturais, cujo processo de elaboração se dá de modo bastante simples, tanto com o auxílio de programas computacionais de geoprocessamento como manualmente, com a utilização de gabaritos que relacionam as classes de declividade pretendidas com as distâncias que separam as curvas de nível no mapa topográfico.

O procedimento manual consiste na utilização de gabaritos que correlacionam as classes de declividade pretendidas com o distanciamento das curvas de nível do mapa topográfico.

Sendo a declividade a relação entre o desnível entre dois pontos e sua distância, são representadas no gabarito, desenvolvido para as classes de declividades pretendidas e para a escala do mapa topográfico utilizado, as distâncias entre duas curvas de nível consecutivas para que sejam satisfeitas as condições limites de declividade de cada classe.

Assim, sendo:

i – limite de uma classe de declividades (m/m)

h – distância vertical entre duas curvas de nível consecutivas (m);

d – distância entre duas curvas consecutivas (m).

tem-se:
$$i = \frac{h}{d}$$

Sendo D a distância, em cm, entre duas curvas de nível, para que uma condição de declividade seja satisfeita e E a escala do mapa topográfico,

tem-se então:
$$D = \frac{100 \times h}{E \times i}$$

Uma condição importante na utilização dos gabaritos para determinação dos limites das classes de declividades graficamente é considerar sempre a menor distância entre as curvas de nível.

Na Figura 9, abaixo, (IPT, 1984), é mostrada a forma de utilização de gabarito preparado para as classes de declividade de 15, 25, 35 e 50%.



Fonte: IPT, 1984

Figura 9: Gabarito para determinação de classes de declividade.

Vários programas computacionais permitem a realização de cartas de declividade a partir de modelos numéricos do terreno. Os diversos algoritmos utilizados analisam o entorno de uma localização topográfica onde é conhecida a altitude, buscando localizações vizinhas para as quais seja possível calcular a distância e o desnível. Com isso, é gerada uma carta genérica de declividades, tendo, para cada localização, um valor absoluto.

A partir da carta genérica gerada, é possível o estabelecimento de recortes por classes de declividade, de acordo com o interesse de cada trabalho.

Nos programas computacionais que trabalham com a informação topográfica na forma de pixels georreferenciados, a exemplo do IDRISI (EASTMAN, 1999), a análise topológica é realizada num contexto de 3x3 pixels, podendo determinar a posição de maior declividade e o direcionamento da vertente.

A Figura 10 mostra a análise de vizinhança para determinação da declividade e direção da vertente em um contexto de 3x3 pixels.

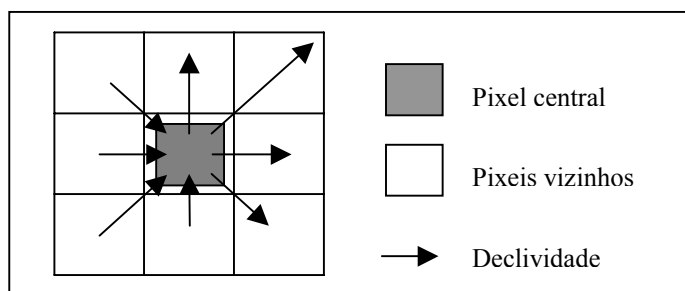


Figura 10: Análise de vizinhança em contexto de 3x3 pixels.

Os procedimentos analógicos ou manuais de obtenção das cartas de declividades ainda têm-se demonstrado mais eficientes que os computacionais automatizados, na medida que permitem ao operador distinguir, durante sua produção, as situações em que processos de generalização cartográfica podem ser utilizados e quando unidades de pequena área tenham representatividade.

Permitem também, melhor que nos procedimentos computacionais, determinar o direcionamento e o comprimento das vertentes.

1.1.6 O Mapeamento Geotécnico para controle da erosão:

Os instrumentos da pedologia e da geotecnia podem ser largamente empregados para a produção de cartas que auxiliem na quantificação da perda de solo e na prevenção de riscos por processos erosivos.

Dessa forma, tendo à mão tais informações mapeadas para uma dada região, tornam-se possíveis ações de planejamento urbano e regional que minimizem os efeitos desastrosos da erosão do solo e assoreamento dos cursos e reservatórios de água.

Pejon (1992) divide o processo de identificação das zonas com suscetibilidade a processos erosivos de modo a encontrar primeiramente o Potencial de Escoamento Superficial para as diversas porções da área de interesse e, em seguida, definir as classes de potencial erosivo.

A metodologia de Dupla Hierarquização adotada, como se pode verificar no Quadro 2, atribui à declividade o maior peso relativo no cálculo do escoamento superficial, a qual contribui com a terça parte da pontuação total.

Quadro 2: Fatores intervenientes no escoamento superficial.

Potencial de escoamento aumenta ←-----										
Classes de escoamento	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
Total de Pontos das Classes	272 a 250	249 a 230	229 a 210	209 a 190	189 a 170	169 a 150	149 a 130	129 a 110	109 a 90	89 a 70
Atributos										
Classes de Declividade	C4 90	C3 75	C2 66	C1 60	B2 45	B1 36	A2 24	A1 15		
Litologia	Argilitos Siltitos Folhelhos Fm Irati e Corumbataí 40	Argilitos Siltitos Fm Itararé Magmatitos básicos Fm Serra Geral 30	Arenitos Siltitos arenosos Diamectitos Fm Itararé Fm Tatuí 20	Arenitos Fm Itaquerí Fm Itararé 16	Arenitos Fm Pirambóia Fm Botucatu 10					
Textura	Silto-argiloso	Argilo- siltoso	Argiloso poroso	Arenoso (<30% finos)	Arenoso (<20% finos)					
Gênese	Residual 40	Residual 30	Retrabalhado 20	Res e Retrab 14	Res e Retrab 10					
Espessura (m)	> 0,5 30	0,50 a 3,0 20	3,0 a 5,0 16	> 5,0 10						
Permeabilidade (m/s)	< 10 ⁻⁷ 12	10 ⁻⁷ 8	10 ⁻⁶ 7	10 ⁻⁶ 6	> 10 ⁻⁴ 5					
Densidade de Drenagem (canais/km)	> 5 30	5 a 2 20	< 2 10							
Feições favoráveis ao armazenamento superficial	não Apresenta 30	Lagoas Pequenas depressões (pequena quantidade) 20	Lagoas Pequenas depressões (grande Quantidade) 10							
<p>A1- > 85% da área é < 5% A2- entre 70 e 85% da área é < 5% B1- > 85% da área na faixa 5 a 10% B2- entre 70 e 85% da área na faixa 5 a 10% C1- pode apresentar até 25% da área > 20% C2- pode apresentar até 50% da área > 20% C3- pode apresentar até 75% da área > 20% C4- > 75% da área > 20%</p> <p>Fm – formação geológica Res - Residual Retrab - Retrabalhado</p>										

Fonte: Pejon, 1992

Concluída esta etapa preliminar, são definidas as classes de Potencial à Erosão, como mostra o Quadro 3, elaborado para as características geológicas e de solo da região de Piracicaba-SP.

Quadro 3: Fatores intervenientes no potencial a erosão.

Potencial de erosão aumenta ←-----										
Classes de risco potencial a erosão	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
Total de Pontos das Classes	120 a 111	110 a 101	100 a 91	90 a 81	80 a 71	70 a 61	60 a 51	50 a 41	40 a 31	30 a 20
Atributos										
Potencial de escoamento superficial	10 40	9 35	8 30	7 25	6 20	5 15	4 13	3 10	2 8	1 5
Índice de erodibilidade	Erodível					não erodível				
	20					5				
Textura	Arenosa (< 20% finos)		Arenosa (< 30% finos)		Silto-argilosa			Argilo-siltosa		
	30		20		10			5		
Profundidade	> 5		5 a 3		3 a 0,5			< 0,5		
	30		20		10			5		

Fonte: Pejon, 1992

Em trabalho realizado com solos da região de Mogi-Guaçu, Caetano & Zimback (1998) mostram, numa análise multivariada dos atributos físicos, que as variáveis de maior importância para consideração dos processos erosivos foram a densidade e a porosidade dos materiais inconsolidados e que a declividade do terreno, na posição das trincheiras de coleta, foi a variável de menor importância.

Como exemplos para a cartografia associada ao fenômeno da erosão, temos as cartas elaboradas pelo IPT/DAEE (IPT, 1992) que possibilitam quantificar perda de solo para a bacia do Peixe-Parapanema e a Carta de Riscos Potenciais de Erosão apresentada por Zuquette et al. (1994), que permite a prevenção de problemas e a priorização de obras de recuperação e contenção.

1.2 Uso das fotografias aéreas em sistema de informações geográficas

A interpretação de fotografias aéreas oferece um importante instrumento para identificação e mensuração de processos erosivos acelerados e para o estabelecimento da verdade de campo na classificação supervisionada do uso da terra a partir de imagens multi-espectrais do tipo Landsat-TM.

De acordo com Peccol et al. (1996), a metodologia adequada para interpretação de fotografias aéreas pode ser considerada em três passos: 1. Definição de um esquema de classificação para os diversos padrões a serem alocados às unidades; 2. Foto-interpretação propriamente dita e 3. Investigação de campo para estabelecimento do grau de acuidade da interpretação.

Em trabalho realizado com a utilização da fotointerpretação para o município de Taquaritinga-SP, Pissarra et al. (2001) classificam os processos erosivos em cinco estados, conforme critérios descritos por Foster (1961), Marques (1971) e Politano & Pissarra (1999):

0. Erosão não evidente na imagem fotográfica (mata, várzea, capoeira);
1. Erosão não evidente na fotografia aérea (culturas);
2. Erosão laminar ligeira e moderada;
3. Sulcos superficiais e rasos;
4. Sulcos, inclusive profundos/muito profundos, com frequências até comum;
5. Erosão muito intensa até voçorocas (áreas muito degradadas).

A utilização de foto-interpretação e fotogrametria em estudos do meio físico e biótico é antiga, tendo sido crescente sua incorporação em metodologias que empregam os recursos dos Sistemas de Informação Geográfica – SIG.

Wayne et al. (2000) mostram o potencial de utilização de foto-mosaicos georreferenciados, associados aos SIG, para interpretação de feições ambientalmente significativas do terreno, em análises históricas do processo de ocupação para investigações forenses de cunho ambiental.

Da mesma forma, trabalhos recentes utilizando fotografia aérea ortogonal não-métrica têm levado a expressivos resultados na identificação e mensuração de atributos do meio físico, permitindo aplicações de baixo custo em atividades de planejamento da paisagem associadas ao uso de SIG (HENKE-OLIVEIRA et al., 1998; OLIVEIRA, 2001).

1.3 Bacia hidrográfica como unidade de análise ambiental

Christofolletti (1974) define a bacia hidrográfica ou bacia de drenagem como sendo a área drenada por um determinado rio ou sistema fluvial.

Para satisfazer as atividades do planejamento territorial, ECOPLAN (1996) propõe que a bacia hidrográfica seja a área delimitada por divisores de água, dentro da qual são drenados os recursos hídricos, através de um curso d'água, como um rio e seus afluentes. Indica que tal delimitação constitui-se importante unidade de planejamento e de execução de atividades sócio-econômicas, ambientais, culturais e educativas.

As bacias hidrográficas têm sido tomadas mais recentemente como unidades de planejamento em ações governamentais (ex.: consórcio de municípios nas bacias dos rios Mogi-guaçu e Piracicaba) e tem sido recomendada, de acordo com Pires & Santos (1995), a utilização de uma abordagem integrada envolvendo a bacia de drenagem e o conceito de ecossistema, de modo a solucionar conflitos e responsabilidades, quase sempre diretamente ligados ao uso e qualidade da água disponível.

De acordo com Menezes (2001), a compartimentação de áreas com utilização de bacias hidrográficas como unidades de estudo e subsídio ao planejamento ambiental vem sendo adotada em razão de se tratar de unidade física de fácil identificação e que concentra grande parte dos problemas ambientais que estão correlacionados aos fluxos superficial e sub-superficial de água.

A Figura 11 mostra as possíveis interferências das principais formas de uso do solo sobre os recursos hídricos, indicando a interdependência dos fatores ambientais decorrentes do uso da água, em processos de planejamento e gestão territorial.



Fonte: PIRES & SANTOS, 1995

Figura 11: Principais usos do solo e possíveis interferências nos recursos hídricos.

Corato & Botelho (2001) relatam a evolução da utilização das microbacias hidrográficas como unidade fundamental de análise em ciências ambientais, enfatizando trabalhos relacionados ao controle de processos erosivos e concluem que há um gradativo crescimento na quantidade de publicações acadêmicas sobre o tema, principalmente em estudos ligados ao planejamento e manejo do solo.

Consideram ainda, op. cit., que os diversos autores pesquisados utilizaram, para definição dos objetos de estudo, os termos micro-bacia, sub-bacia e bacia hidrográfica, sendo que as micro-bacias variaram, em área, entre 20 e 52Km², as sub-bacias entre 18,2 e 32,7Km² e as bacias entre 0,5 e 496.000Km².

Entretanto a utilização da compartimentação dos estudos e atividades de planejamento ambiental em bacias hidrográficas implica em limitações decorrentes das divisões territoriais políticas, principalmente as divisas entre propriedades rurais,

municípios e estados, que na maior parte das vezes, não coincidem com os divisores de água.

Disso decorre que uma bacia hidrográfica pode conter diversas unidades administrativas, assim como uma unidade administrativa pode ter partes contidas em mais que uma bacia hidrográfica.

Menezes (2001), conclui que se o intuito dos estudos é levar em consideração a bacia hidrográfica como unidade de análise e não como de delimitação de área de estudo, mostram-se mais eficientes as avaliações feitas por sub-bacia, em escala de semi-detalle, que consideram a dinâmica dos processos juntamente com a das águas superficial e subterrânea.

2 CASO DE ESTUDO

2.1 Localização da área

Os terrenos analisados neste trabalho localizam-se na bacia de drenagem do Rio Bonito, afluente do Rio Mogi-Guaçu, no município de Descalvado-SP, Brasil (Figura 12) e foram mapeados por IBGE (1971), em quatro folhas, na escala 1:50.000.

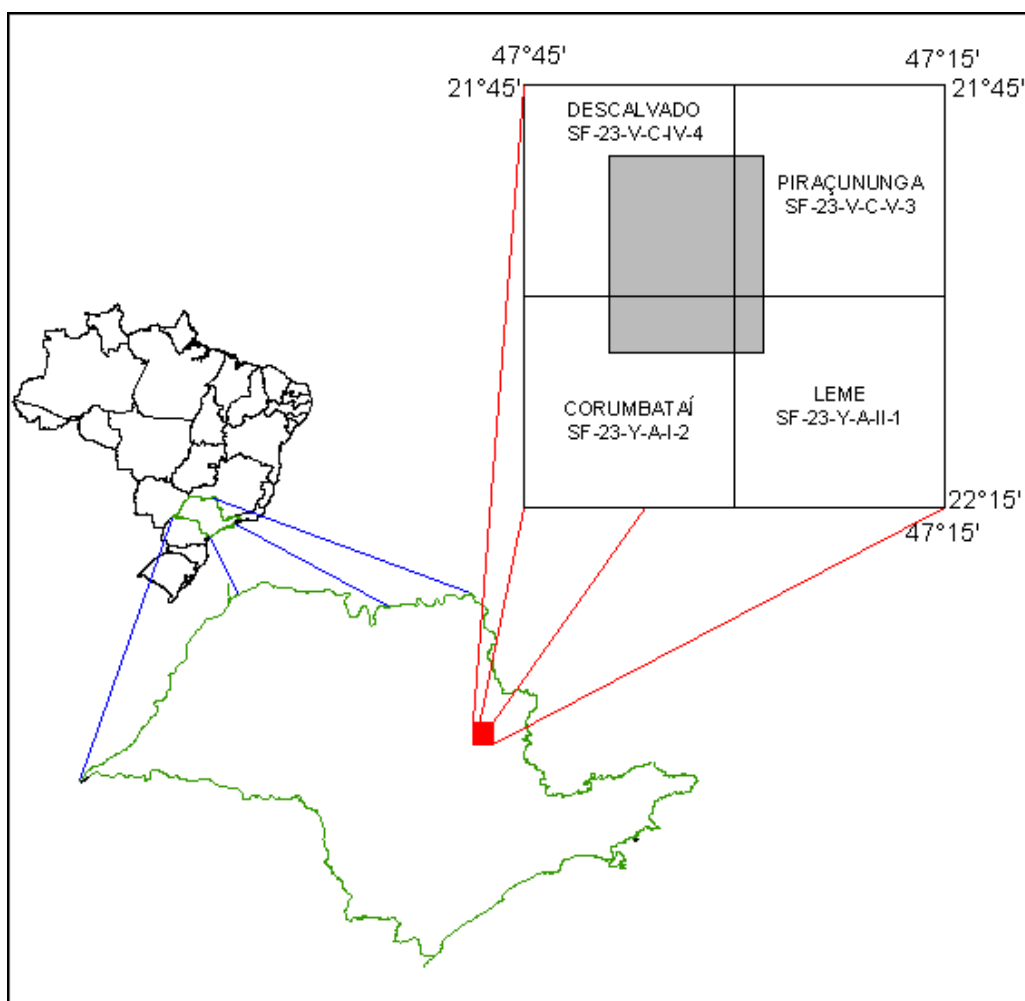


Figura 12: Localização da área de estudo.

O município de Descalvado limita-se ao norte com os municípios de Luiz Antonio e Santa Rita do Passa-Quatro, ao sul com Analândia, a leste com Porto Ferreira e Pirassununga e a oeste com São Carlos, sendo que a bacia de drenagem do Rio Bonito divide-se entre Descalvado, e Porto Ferreira somente.



Fonte: adaptado de IBGE, 1999

Figura 13: Localização do Município de Descalvado em relação às cidades vizinhas.

A Figura 13 mostra a divisão municipal (IBGE, 1999) no entorno do município de Descalvado, indicando as cidades limítrofes e os respectivos limites territoriais.

O detalhamento da base cartográfica, em escala 1:10.000, foi elaborado por IGC (1979) e IGC (1989). Foram utilizadas neste trabalho as seguintes folhas topográficas:

1. SF-23-V-C-IV-4-NE-D – Córrego Barra Grande ou da Água Vermelha (IGC, 1989);
2. SF-23-V-C-IV-4-NE-E – Córrego do Cateto (IGC, 1989);
3. SF-23-V-C-IV-4-NE-F – Córrego da Capetinga (IGC, 1989);
4. SF-23-V-C-IV-4-NO-F – Córrego São Domingos (IGC, 1989);
5. SF-23-V-C-IV-4-SE-A – Descalvado II (IGC, 1989);
6. SF-23-V-C-IV-4-SE-B – Córrego do Sapé (IGC, 1989);
7. SF-23-V-C-IV-4-SE-C – Descalvado III (IGC, 1989);
8. SF-23-V-C-IV-4-SE-D – Ribeirão da Areia Branca (IGC, 1989);

9. SF-23-V-C-IV-4-SE-E – Córrego da Serrinha (IGC, 1989);
10. SF-23-V-C-IV-4-SE-F – Córrego do Jatobá (IGC, 1989);
11. SF-23-V-C-IV-4-SO-B – Descalvado I (IGC, 1989);
12. SF-23-V-C-IV-4-SO-D – Fazenda São João do Morro Alto (IGC, 1989);
13. SF-23-V-C-IV-4-SO-F – Córrego do Gregório (IGC, 1989);
14. SF-23-Y-A-I-2-NE-A – Furnas (IGC, 1979);
15. SF-23-Y-A-I-2-NE-B – Ribeirão do Descaroador (IGC, 1979);
16. SF-23-Y-A-I-2-NE-C – Fazenda Orlândia (IGC, 1979);
17. SF-23-Y-A-I-2-NE-D – Morro Barroco (IGC, 1979);
18. SF-23-Y-A-I-2-NO-A – PirassunungaII (IGC, 1979);
19. SF-23-Y-A-I-2-NO-B – Fazenda Ibicatu (IGC, 1979);
20. SF-23-Y-A-I-2-NO-D – Morro do Quadrão (IGC, 1979);
21. SF-23-Y-A-II-1-NO-C – Córrego São Joaquim (IGC, 1979).

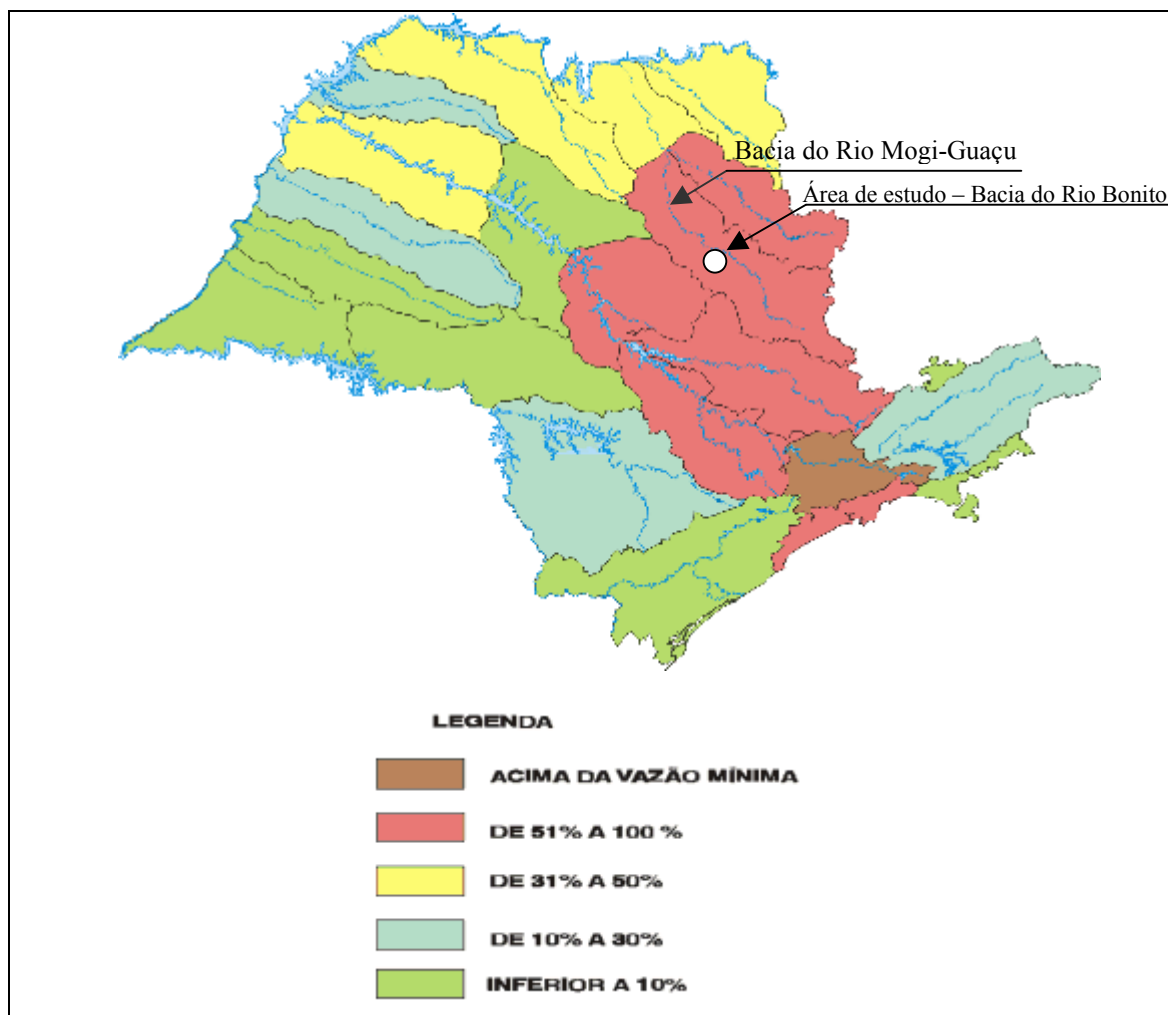
O relevo da bacia de drenagem assim como os canais de drenagem foram digitalizados, a partir dessas cartas topográficas, exportando as informações para ambiente de sistema de informação geográfica.

A área da bacia do Rio Bonito, cobre uma extensão de aproximadamente 270Km² e localiza-se nas quadrículas (folhas topográficas) SF-23-V-C-IV-4-Descalvado, SF-23-V-C-V-3-Pirassununga, SF-23-Y-A-I-2-Coumbatai e SF-23-Y-A-II-1-Leme (IBGE, 1971), na escala 1:50.000. Cada quadrícula do mapa topográfico possui uma área de 721,50 Km².

O recorte do terreno estudado neste trabalho, que envolve a bacia de drenagem do Rio Bonito, está delimitado pelos meridianos de longitudes 47°29'45"W - 47°39'17"W e pelas latitudes 21°50'02"S-22°03'17"S, compreendendo áreas nos municípios de Descalvado (80% da área), Porto Ferreira e Pirassununga, sendo que a área mapeada totaliza 387,2Km², está servida pelas rodovias SP-215 e SP-300 (Via Anhanguera) e localizada na região centro-leste do Estado de São Paulo.

A altitude média da área é de 780m, variando entre a mínima de 535m, na foz do Rio Bonito no Mogi-Guaçu e a máxima de 1030m.

A Figura 14 mostra a localização da área de estudo na bacia hidrográfica do Rio Mogi-guaçu, considerada por São Paulo-CERH (1990) como inserida em região onde a qualidade das águas é considerada “aceitável”. São Paulo-CERH (2000) considera que a região de estudo tem uma relação entre disponibilidade e demanda de água superior a 80%.



Fonte: São Paulo CERH (2000)

Figura 14: Situação geográfica da área de estudo e Balanço disponibilidade x demanda de água superficial no Estado de São Paulo.

Na Figura 36: Mapa de documentação com a localização das feições erosivas encontradas na bacia do Rio Bonito e amostras utilizadas como referência no trabalho, na página 72, encontramos uma visão geral da bacia, como se apresenta no mapa topográfico de IBGE (1971), folha SF-23-V-C-IV-4 – Descalvado, produzida na escala 1:50.000, onde podemos observar o Rio Bonito e seus contribuintes, áreas urbanizadas, sistema viário, entre outras informações.

2.2 Descrição da área de estudo

2.2.1 Clima e vegetação natural

O clima da região estudada é classificado, de acordo com o sistema de Köppen, como sendo do tipo Cwa, isto é, mesotérmico úmido subtropical de inverno seco, em que a temperatura média do mês mais frio é inferior a 18° C e a do mês mais quente ultrapassa 22° C.

Do ponto de vista de balanço hídrico, há uma nítida distinção entre a estação seca (maio a setembro), com conseqüente deficiência hídrica e, a chuvosa (outubro a abril), fazendo com que a ação intempérica deste tipo climático seja bastante intensa no desenvolvimento de formas de relevo.

A presença das cuestras na região, segundo Moraes (1985), tem sensível influência no clima local, determinando fortemente no regime pluviométrico e na variação de temperaturas. A quantidade de dias de chuva e o total da precipitação é superior em direção à frente de cuesta, aparecendo manchas de maior pluviosidade, menor temperatura e maior freqüência de ocorrência de geadas nas porções mais altas da cuesta.

A cobertura vegetal natural das terras da região pertenceu, ao que tudo indica, ao subtipo floresta latifoliada tropical, que com o decorrer do tempo foi quase totalmente erradicada, restando poucas áreas preservadas.

2.2.2 Pedologia

O mapa pedológico da Quadrícula de Descalvado foi elaborado por OLIVEIRA et al., 1982 e possui as seguintes classes de solos, cartografadas ou como unidades de mapeamento simples ou como associação, descritas por ordem de importância quanto às suas distribuições espaciais:

— NEOSSOLOS¹

- Areias Quartzosas (AQ álicas, A moderado, excessivamente drenada, textura arenosa) Figura 15. Apresenta problemas de fertilidade natural, decorrentes de baixos teores de bases trocáveis, alta acidez pela saturação com alumínio e pequena

¹ Classes de solos em primeiro nível categórico, de acordo com Brasil-Embrapa (1999).

capacidade de retenção de água. Também são solos profundos com alta erodibilidade.

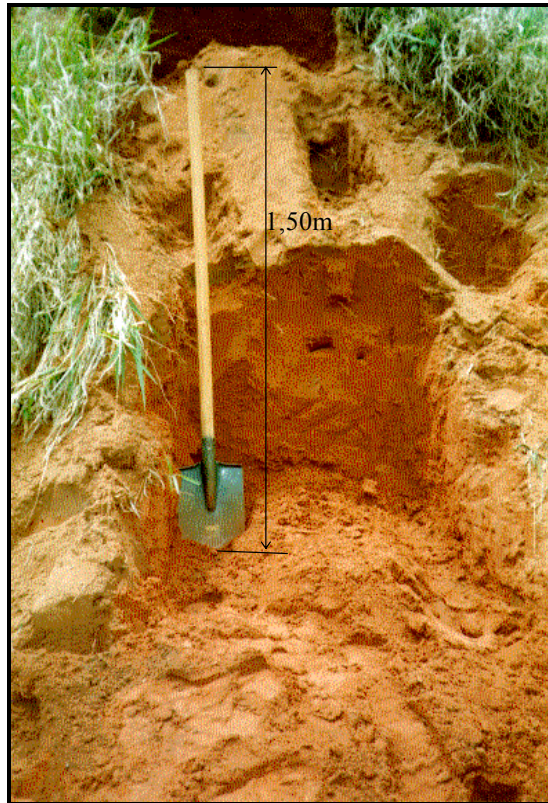


Figura 15: Perfil de Areia Quartzosa profunda (NEOSSOLOS) na quadrícula de Descalvado-SP

- Solos Litólicos (Rd, eutróficos ou distróficos, textura indiscriminada quando oriundos de substrato de rochas sedimentares e textura argilosa ou muito argilosa quando originados de substrato diabásio ou basalto): Apresentam limitações ao uso agrícola decorrentes da pequena espessura e pedregosidade que dificultam a mecanização e a instalação dos sistemas radiculares das plantas. Jovens e pouco evoluídos, são bastante susceptíveis aos processo de erosão laminar.

— LATOSSOLOS

- Latossolo Vermelho-Amarelo (LV álico, A moderado, textura média): Na região de Descalvado predominam os solos distróficos, com alta saturação em alumínio, que dificulta sua correção para uso agrícola e diminui a capacidade de retenção de água;
- Latossolo Roxo (LR eutrófico ou distrófico, A moderado, textura argilosa ou muito argilosa): quando ocorrem na forma eutrófica, são considerados de excelente

qualidade para a agricultura, com maior saturação por bases trocáveis. Já os de caráter distrófico são predominantes na região e conferem limitações à fertilidade, que necessita de correções para uso agrícola;

- Latossolo Vermelho-Escuro (LE álico, A moderado, textura média a argilosa): da mesma forma que os latossolos Vermelho-Amarelos, esta classe também ocorre predominantemente na forma distrófica, com saturação em alumínio e baixa capacidade de retenção hídrica;

— NITOSSOLOS

- Terra Roxa Estruturada (TE, textura argilosa); é considerada a classe que mais se aproxima dos solos ideais (LEPSCH et al., 1983), eutróficos com perfis profundos, de textura argilosa, bem drenados e com alta fertilidade natural, favorecendo o uso agrícola. Encontram-se freqüentemente em terrenos com declividade acentuada, podendo apresentar problemas erosivos e requerem cuidados na utilização agrícola, decorrentes da facilidade de compactação a que estão sujeitos.

— ARGISSOLOS

- Podzólico Vermelho-Amarelo (PV, textura arenosa/média a média/argilosa): São solos, em geral, fortemente ácidos e de baixa fertilidade natural, e apresentam perfis bem diferenciados com a profundidade. Têm baixa ocorrência na área de estudo.

— GLEISSOLOS

- Solos hidromórficos (Hi, textura indiscriminada): São solos associados às calhas de drenagem e topografia muito plana, apresentando excesso de água. O lençol freático elevado provoca deficiência de oxigênio no sistema poroso do solo, dificultando a respiração das plantas e seu desenvolvimento, assim como a utilização de agricultura mecanizada.

A Figura 16 mostra a Carta Pedológica desenvolvida por OLIVEIRA et al. (1982), para parte da área de estudo, com as modificações taxonômicas introduzidas por Brasil-EMBRAPA (1999), onde pode ser verificada a variabilidade espacial das classes de solo encontradas.

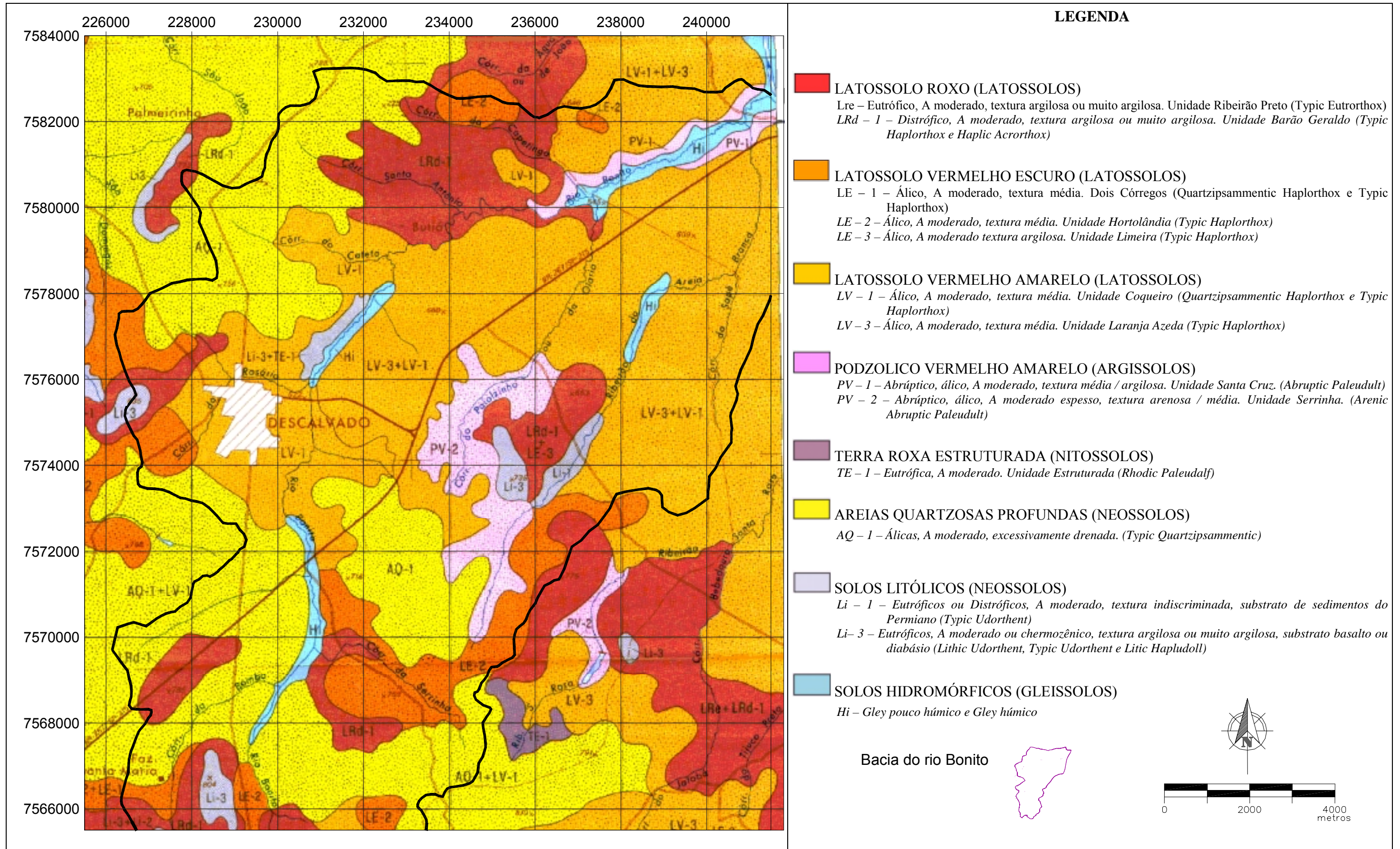
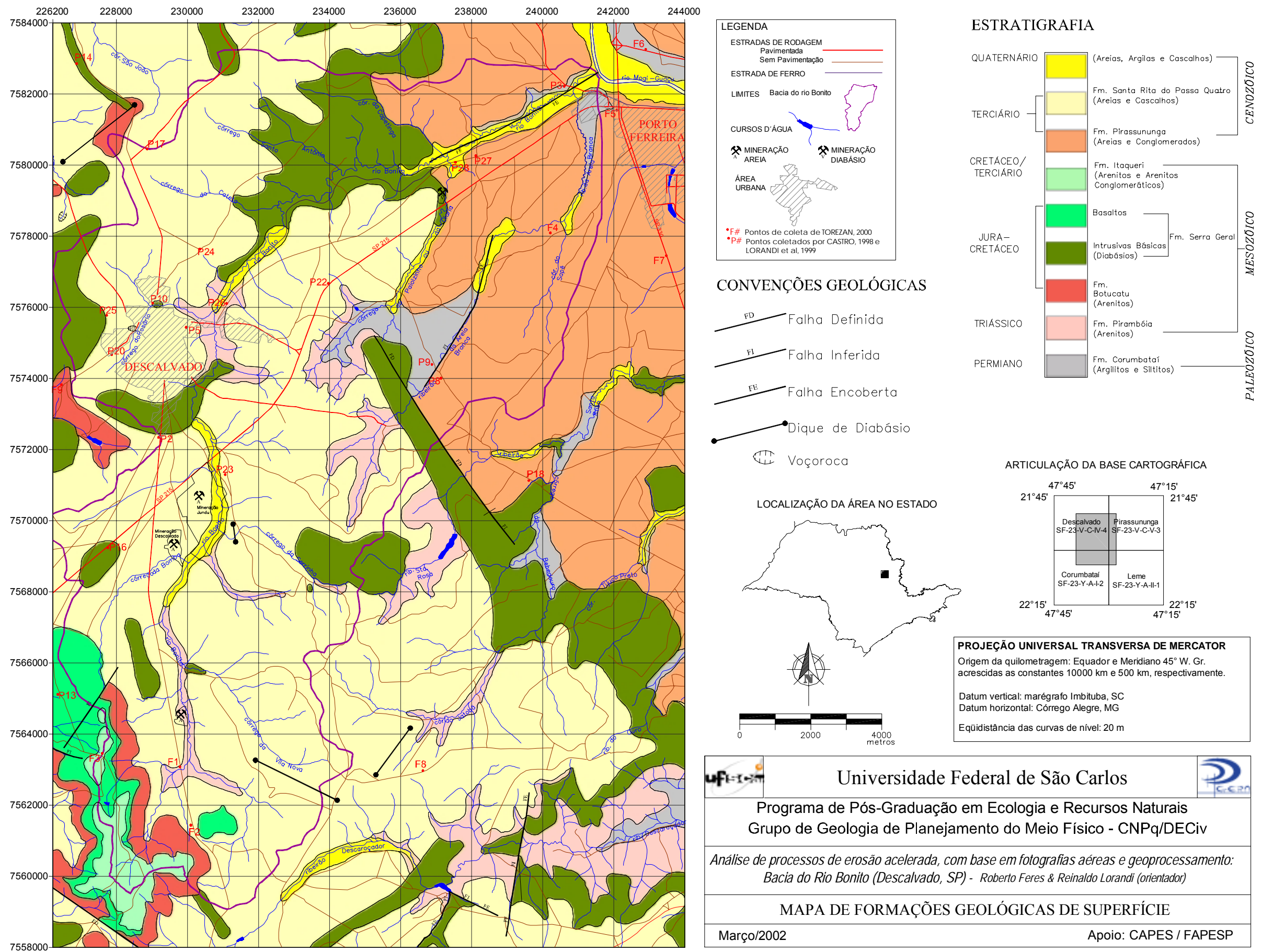


Figura 16: Carta pedológica semi-detalhada do Estado de São Paulo: Quadrícula de Descalvado (OLIVEIRA et al., 1982; BRASIL-EMBRAPA, 1999).

2.2.3 Geologia

Segundo DNPM (1979) e IG (1984), a área estudada situa-se na Bacia Sedimentar do Paraná (Figura 17) e apresenta as seguintes formações geológicas:

- Formação Corumbataí (Permiano): essa formação é constituída, na sua seção inferior, de um pacote de argilitos, folhelhos e siltitos, com fraturas concoidais e concreções calcíferas e ainda um conjunto de argilitos e folhelhos cinza escuros, de aspecto rítmico, com ocasionais leitos de calcário silicificado, oolítico, além de níveis coquinóides. Na seção superior da formação, ocorre uma seqüência de argilitos e arenitos finos, argilosos, regular a bem classificados, esverdeados, arroxeados e avermelhados. Apresenta uma espessura de cerca de 180m nas proximidades da cidade de Charqueada e distribui-se espacialmente numa direção aproximadamente norte-nordeste, que se prolonga desde o sudeste de Lavras até nordeste de Santa Rosa do Viterbo.
- Formação Pirambóia (Triássico): constitui-se de arenitos esbranquiçados, amarelados, avermelhados e róseos, médios a muito finos, ocasionalmente grosseiros, regularmente classificados, siltico-argilosos, quartzosos, com grãos subarredondados e intercalações de siltitos e argilitos. Mais raramente observam-se ainda arenitos conglomeráticos, com seixos de quartzo e também de argila, com matriz areno-argilosa. Na seção inferior os arenitos tornam-se finos, predominando uma fácies bastante argilosa. Apresentam acamamento plano-paralelo e estratificação cruzada do tipo planar, menos comumente acanalada, de pequeno e médio porte. Segundo Andrade & Soares (1971), *apud* DNPM (1979), essa formação atinge uma espessura máxima de 260m, próximo a cidade de São Pedro, tendendo a diminuir em direção ao norte e, apresenta amplo domínio distributivo na área pesquisada.
- Formação Botucatu (Jura-Cretáceo): é constituída por arenitos róseos, avermelhados e esbranquiçados, finos a médios; e também muito finos, regularmente a bem classificados, friáveis a bem silicificados, com grãos arredondados e foscas, apresentando, na base, corpos de arenitos conglomeráticos e conglomerados. De acordo com Soares (1975), *apud* DNPM (1979), essa formação apresenta espessura bastante variável, mas raramente ultrapassa os 150m, sendo o valor médio da ordem de 50 a 70m.



Fonte: IG, 1984

Figura 17: Mapa de formações geológicas de superfície da área de estudo.

- Formação Serra Geral (Jura-Cretáceo): essa formação compreende o conjunto de derrames de lavas basálticas, toleíticas, de textura afanítica e de cor cinza escura a preta e intrusivas associadas (diques e soleiras) bastante comuns na área, contendo intercalações de lentes e camadas arenosas, de textura fina a média, com estratificação cruzada, que capeiam as formações gonduânicas da bacia do Paraná. A espessura máxima dos derrames inferiores é de aproximadamente 100m, medida a oeste de Descalvado, mas com um valor médio de 40m. e um máximo de 400m na serra de Botucatu.
- Formação Itaqueri (Cretáceo/Terciário): essa formação, definida por Almeida & Barbosa (1953) *apud* IPT (1981), ocorre em mancha irregular no reverso da cuesta basáltica, isolada de outras coberturas pós-trapianas, representando em suas partes mais elevadas os testemunhos da antiga extensão do Planalto Ocidental. Sua espessura máxima observada é de 125 metros e é litologicamente constituída por membros alternados de arenitos com cimento argiloso, folhelhos e conglomerados ferríferos ou não. Ocorre predominância dos arenitos, sendo os demais depósitos de extensão limitada, geralmente na forma lenticular alongada.
- Formação Santa Rita do Passa-Quatro (Terciário): É representada por capeamentos terciários (?) pouco espessos (da ordem de alguns metros) mas com ampla distribuição horizontal. Constitui-se de areias sem qualquer tipo de estrutura sedimentar que apresentam, na base, uma linha de seixos ou cascalheira, comosta por seixos predominantemente de quartzo e fragmentos de limonita. Segundo os parâmetros de Folk & Ward, os sedimentos dessa formação apresentam correspondente à fração areia muito fina (diâmetro médio 0,1mm). Esses grãos, essencialmente de quartzo, são pobremente selecionados (grau de seleção 1,88). Sua distribuição granulométrica constitui-se de 74% a 94% de areia, com uma matriz argilosa variando entre 6 a 19%. Ocorre como depósito de espigão, ocupando altitudes que vão de 700 a 940m.
- Formação Pirassununga (Terciário): É constituída por sedimentos arenosos inconsolidados, não estratificados e sem estrutura, verticalmente homogêneos, sobrepostos indiferentemente às formações mais antigas, em cuja base têm sido encontradas, por vezes, linhas de seixos subangulares e arredondados, de formas

variadas, ou cascalheiras de espessura centimétrica, ambas compostas por seixos de quartzo, quartzito e limonitas (concreções). Sua espessura não ultrapassa vinte metros e dispõe-se de modo descontínuo na folha de Leme, (...). A coloração predominante desses sedimentos é marrom-avermelhada, com baixo grau de seleção, contendo minerais argilosos, grãos de quartzo com vários índices de arredondamento, às vezes com película de óxido de ferro secundário e minerais máficos. O seu ambiente de sedimentação seria de origem continental, flúvio-lacustre.

- Depósitos recentes (Quaternário): compostos de planícies aluvionares bem desenvolvidas e que ocorrem ao longo dos rios Moji-Guaçu, Bonito e Claro e em parte dos cursos d'água de menor expressão da Quadrícula de Descalvado (SP). Esses depósitos, de várzeas e terraços, são constituídos de areias, argilas e cascalhos.

Um resumo das características texturais e de drenabilidade dos materiais inconsolidados desenvolvidos a partir de cada uma das formações geológicas encontradas, assim como a participação percentual desses solos na área estudada é mostrado no Quadro 4.

Quadro 4: Formações Geológicas de Superfície – Bacia do Rio Bonito, percentuais de ocorrência, características texturais e de escoamento superficial.

Formação Geológica	%	Características texturais e escoamento superficial
Santa Rita do Passa-Quatro	55	Areias e cascalhos Baixo escoamento superficial
Pirassununga	17	Areias e cascalhos Baixo escoamento superficial
Serra Geral	13	Basaltos Alto escoamento Superficial
Pirambóia	5	Arenitos Baixo escoamento superficial
Depósitos do Quaternário	4	Areias, argilas e cascalhos Baixo escoamento superficial
Corumbataí	3	Argilitos e siltitos Alto escoamento Superficial
Botucatu	2	Arenitos e arenitos conglomeráticos Baixo escoamento superficial
Itaqueri	1	Arenitos Baixo escoamento superficial

Os solos da região estudada foram amostrados e caracterizados por Castro (1998), Lorandi et al. (1999) e Torezan (2000), que determinaram os valores de

Granulometria, Massa Específica dos Sólidos, Classificação MCT (NOGAMI & VILLIBOR, 1979), Porosidade e Erodibilidade (Pejon, 1992).

Os resultados desses ensaios estão mostrados nas tabelas abaixo e também foram utilizados neste trabalho, em ambiente SIG, com a inserção das informações de localização e caracterização das amostras em meio digital. A localização espacial dessas amostras, cujas coordenadas UTM são fornecidas nas tabelas, podem ser vistas na Figura 36: Mapa de documentação com a localização das feições erosivas encontradas na bacia do Rio Bonito e amostras utilizadas como referência no trabalho, à página 72.

Tabela 2: Dados geológicos e geográficos dos pontos de amostragem.

Ponto	Espes-sura(m)	Rocha	Formação Geológica	UTM X (m)	UTM Y (m)	Altitude (m)
P ₂	4,20	Diabásio	Fm. Sta. Rita do Passa-Quatro (Tsr)	229186	7572337	695.00
P ₃	3,50	Argilitos e Siltitos	Fm. Corumbataí (Pc)	240607	7582213	520.00
P ₅	5,40	Arenitos	Fm. Pirambóia (TRp)	229960	7575435	629.00
P ₈	1,40	Areias e conglomerados	Fm. Pirassununga (Tp)	237139	7574004	592.00
P ₉	5,30	Argilitos e Siltitos	Fm. Corumbataí (Pc)	236881	7574389	573.00
P ₁₀	3,30	Diabásio	Fm. Sta. Rita do Passa-Quatro (Tsr)	229015	7576115	623.00
P ₁₃	2,30	Areias e Cascalhos	Fm. Sta. Rita do Passa-Quatro (Tsr)	229346	7565111	641.00
P ₁₄	3,70	Diabásio	Fm. Sta. Rita do Passa-Quatro (Tsr)	226876	7582851	650.00
P ₁₆	4,50	Diabásio	Fm. Serra Geral (V)	227754	7569238	699.00
P ₁₇	4,50	Areias e Cascalhos	Fm. Sta. Rita do Passa-Quatro (Tsr)	228859	7580451	698.00
P ₁₈	1,50	Areias e conglomerados	Fm. Pirassununga (Tp)	239607	7571127	578.00
P ₂₀	1,70	Areias e Cascalhos	Fm. Sta. Rita do Passa-Quatro (Tsr)	227858	7574662	672.00
P ₂₂	2,70	Areias e Cascalhos	Fm. Sta. Rita do Passa-Quatro (Tsr)	233956	7576670	601.00
P ₂₃	2,20	Areias e Cascalhos	Fm. Sta. Rita do Passa-Quatro (Tsr)	231057	7571295	628.00
P ₂₄	1,50	Areias e Cascalhos	Fm. Sta. Rita do Passa-Quatro (Tsr)	230347	7577634	694.00
P ₂₅	1,20	Areias e Cascalhos	Fm. Santa Rita do Passa-Quatro (Tsr)	227721	7575771	688.00
P ₂₆	2,60	Arenitos	Fm. Pirambóia (TRp)	231101	7576104	590.00
P ₂₇	2,00	Areias e conglomerados	Fm. Pirassununga (Tp)	238116	7580259	524.00
P ₂₈	0,60	Areias, Argilas	Quaternário (Q)	237544	7580075	512.00
F ₁	8,20	Arenitos	Fm. Pirambóia (TRp)	229789	7563019	670.00
F ₂	7	Areias e Cascalhos	Fm. Sta. Rita do Passa-Quatro (Tsr)	230105	7561432	750.00
F ₃	1,60	Arenitos, arenitos conglomeráticos	Fm. Itaqueri (Kti)	227600	7563453	939.00
F ₄	4,70	Areias e conglomerados	Fm. Pirassununga (Tp)	240247	757860	568.00
F ₅	5,50	Areias e conglomerados	Fm. Pirassununga (Tp)	242099	7581520	563.00
F ₆	7,40	Argilitos e Siltitos	Fm. Corumbataí (Pc)	242840	7583213	552.00
F ₇	4,20	Areias e conglomerados	Fm. Pirassununga (Tp)	243450	7577406	593.00
F ₈	2,50	Areias e Cascalhos	Fm. Sta. Rita do Passa-Quatro (Tsr)	236604	7562882	746.00
F ₉	2,40	Arenitos	Fm. Botucatu (JKb)	226450	7573819	688.00

FONTE: CASTRO, 1998; LORANDI et al., 1999; e TOREZAN, 2000

Tabela 3: Resultados dos ensaios de erodibilidade e permeabilidade

Amostra	Profundidade (m)	Ensaio de Erodibilidade (%)			Ensaio de Permeabilidade			
		S	P	E	ρ_{dc} (g/cm ³)	ρ_d (g/cm ³)	K_{20} [cm/Seg ⁻¹]	
Formação Serra Geral	P ₁₆ A	0,5-2,0	1,01	2,61	20,26	1,3098	1,3098	$9,70 \times 10^{-3}$
	P ₁₆ B	2,5-3,0	2,66	13,83	10,00	1,4557	1,4556	$9,08 \times 10^{-3}$
	P ₁₆ C	3,2-3,7	1,73	3,45	26,10	1,3263	1,3263	$1,03 \times 10^{-2}$
	P ₁₆ D	4,0-4,5	0,96	27,11	1,84	1,5473	1,5472	$2,16 \times 10^{-3}$
Formação Corumbatal	P ₃ A	1,5-1,7	0,70	1,02	35,6	1,4359	1,4360	$1,59 \times 10^{-3}$
	P ₃ B	3,0-3,5	0,42	43,70	0,50	1,7800	1,7799	$1,90 \times 10^{-3}$
	P ₉ A	0,5-0,8	0,69	0,23	153,0	1,5368	1,5370	$1,18 \times 10^{-3}$
	P ₉ B	2,0-2,3	0,82	4,47	9,58	1,6092	1,6092	$5,01 \times 10^{-4}$
	P ₉ C	5,0-5,3	0,23	71,40	0,17	1,6431	1,6431	$7,35 \times 10^{-7}$
	F ₆ A	0,2-0,4	0,26	0,45	29,85	1,43	1,30	$6,54 \times 10^{-3}$
	F ₆ B	4,0-4,2	1,15	33,03	1,82	1,62	1,08	$9,29 \times 10^{-4}$
F ₆ C	7,2-7,4	0,10	2,12	2,47	1,79	1,44	$1,98 \times 10^{-7}$	
Formação Pirambóia	P ₅ A	0,4-0,6				1,3970	1,5220	$1,85 \times 10^{-3}$
	P ₅ B	3,4-3,6	0,59	34,55	0,68	1,7320	1,8480	$2,08 \times 10^{-4}$
	P ₂₆ A	0,5-0,7	0,60	0,36	66,67	1,357	1,357	$3,40 \times 10^{-3}$
	P ₂₆ B	1,8-2,0	0,95	0,87	43,68	1,442	1,442	$2,63 \times 10^{-3}$
	P ₂₆ C	2,4-2,6	1,76	5,38	13,09	1,422	1,422	$1,10 \times 10^{-3}$
	F ₁ A	0,2-0,4	0,09	0,11	40,96	1,64	1,53	$2,31 \times 10^{-3}$
	F ₁ B	3,5-3,7	0,11	0,30	19,10	1,96	1,86	$1,03 \times 10^{-5}$
Formação Pirassununga	P ₈ A	0,2-0,4	0,42	6,60	3,30	1,7747	1,7746	$2,23 \times 10^{-4}$
	P ₈ B	1,2-1,4	1,06	46,99	1,18	1,5324	1,5324	$2,32 \times 10^{-3}$
	P ₁₈ A	0,2-0,5						$1,24 \times 10^{-4}$
	P ₁₈ B	0,8-1,0	0,46	27,08	0,88	1,6838	1,6837	$1,52 \times 10^{-4}$
	P ₁₈ C	1,2-1,5	0,18	11,50	0,82	1,6936	1,6935	$2,57 \times 10^{-3}$
	P ₂₇ A	0,4-0,6	0,36	0,20	94,62	1,57	1,57	$2,95 \times 10^{-3}$
	P ₂₇ B	1,6-1,8	1,41	4,60	15,95	1,35	1,35	$7,79 \times 10^{-3}$
	F ₄ A	0,4-0,6	0,14	0,14	52,39	1,52	1,48	$2,57 \times 10^{-3}$
	F ₄ B	4,5-4,7	0,37	79,62	0,24	1,41	1,36	$1,76 \times 10^{-3}$
	F ₅ A	0,4-0,6	0,22	0,76	15,15	1,41	1,37	$2,30 \times 10^{-2}$
	F ₅ B	3,4-3,6	0,28	17,68	0,34	1,56	1,43	$1,93 \times 10^{-2}$
	F ₅ C	5,3-5,5	0,28	32,67	0,44	1,58	1,47	$1,69 \times 10^{-2}$
	F ₇ A	0,2-0,4	0,50	3,75	6,90	1,44	1,33	$1,10 \times 10^{-2}$
F ₇ B	4,0-4,2	0,53	2,98	9,20	1,44	1,31	$4,10 \times 10^{-3}$	

S: índice de absorção de água

P: perda de peso por imersão

E: índice de erodibilidade

ρ_{dc} : massa específica seca de campo

ρ_d : massa específica seca máxima

K: coeficiente de permeabilidade

Fonte: Castro, 1998; Lorandi et al., 1999; e Torezan, 2000

Tabela 4: Resultados dos ensaios de erodibilidade e permeabilidade (continuação).

Amostra	Profundidade (m)	Ensaio de Erodibilidade (%)			Ensaio de Permeabilidade			
		S	P	E	ρ_{dc} (g/cm ³)	ρ_d (g/cm ³)	K [cm/Seg ⁻¹]	
Formação Santa Rita do Passa-Quatro	P ₂ A	1,5-1,7	0,74	7,35	4,00	1,414	1,521	1,71 x 10 ⁻³
	P ₂ B	4,0-4,2	0,49	89,19	0,22	1,488	1,641	6,73 x 10 ⁻³
	P ₁₀ A	0,2-0,5	0,22	0,07	125,7	1,5240	1,5910	1,72 x 10 ⁻³
	P ₁₀ B	1,4-1,7	1,43	65,03	0,88	1,3020	1,4010	2,10 x 10 ⁻³
	P ₁₀ C	3,0-3,3	0,22	16,14	0,55	1,6650	1,8660	1,59 x 10 ⁻⁴
	P ₁₄ A	0,2-0,5	0,03	14,15	0,12	1,4712	1,4711	3,24 x 10 ⁻³
	P ₁₄ B	2,5-2,7	0,38	48,62	0,41	1,9109	1,9110	1,36 x 10 ⁻³
	P ₁₄ C	3,5-3,7						2,30 x 10 ⁻³
	P ₁₃ A	0,4-0,6	1,96	28,34	3,60	1,7604	1,7603	1,17 x 10 ⁻³
	P ₁₃ B	1,4-1,7	1,53	18,05	4,41	1,3767	1,3766	1,36 x 10 ⁻²
	P ₁₃ C	2-2,3	1,66	73,04	1,18	1,5132	1,5131	1,58 x 10 ⁻²
	P ₁₇ A	1-1,2	0,47	4,65	5,31	1,6576	1,6575	2,38 x 10 ⁻³
	P ₁₇ B	3-4,5	1,49	81,40	0,95	1,5445	1,5445	1,47 x 10 ⁻³
	P ₂₀ A	0,8-1,5	0,37	2,12	6,98	1,4240	1,4238	3,00 x 10 ⁻³
	P ₂₀ B	2,2-3,8				1,3380	1,3378	1,75 x 10 ⁻³
	P ₂₂ A	0,1-0,3	0,02	43,70	0,02	1,5372	1,4637	5,06 x 10 ⁻⁴
	P ₂₂ B	1,6-1,8	0,13	0,10	65,4	1,3401	1,2670	2,39 x 10 ⁻⁴
	P ₂₂ C	2,5-2,7	0,20	0,14	75,8	1,6749	1,5258	1,26 x 10 ⁻⁶
	P ₂₃ A	0,8-1,0	1,60	1,10	58,18	1,433	1,433	1,14 x 10 ⁻³
	P ₂₃ B	2-2,2	1,04	1,67	24,91	1,440	1,440	9,70 x 10 ⁻³
	P ₂₄ A	0,6-0,8	1,25	80,00	0,63	1,534	1,534	9,30 x 10 ⁻³
	P ₂₄ B	1,3-1,5	0,07	81,89	0,03	1,169	1,169	9,20 x 10 ⁻³
	P ₂₅ A	0,2-0,4	1,44	1,98	29,09	1,452	1,452	5,50 x 10 ⁻³
	P ₂₅ B	1,0-1,2	0,94	1,85	20,32	1,679	1,679	6,50 x 10 ⁻⁴
	F ₂ A	0,2-0,4	0,22	0,58	20,08	1,57	1,47	2,29 x 10 ⁻³
	F ₂ B	3,5-3,7	0,34	95,55	0,19	1,59	1,51	6,08 x 10 ⁻³
	F ₂ C	6,8-7	0,33	94,97	0,18	1,73	1,62	3,74 x 10 ⁻³
	F ₈ A	0,5-0,7	0,39	2,09	9,67	1,52	1,44	1,34 x 10 ⁻²
	F ₈ B	2,3-2,5	0,95	80,04	0,62	1,49	1,43	1,13 x 10 ⁻²
	Quaternário	P ₂₈ A	0,4-0,6	0,46	0,65	37,24	1,61	1,61
Fm. Itaqueri	F ₃ A	0,4-0,6	0,43	1,33	16,73	1,56	1,56	1,73 x 10 ⁻⁶
	F ₃ B	1,4-1,6	1,38	5,35	13,42	1,38	1,38	1,10 x 10 ⁻⁶
Fm. Botucatu	F ₉ A	0,2-0,4	0,32	2,00	8,14	1,43	1,40	3,10 x 10 ⁻³
	F ₉ B	2,2-2,4	0,64	32,90	1,00	1,53	1,47	9,79 x 10 ⁻³

Fonte: Castro, 1998; Lorandi et al., 1999; e Torezan, 2000

Tabela 5: Resultados dos ensaios de granulometria e classificação MCT.

	Amostra	Ar (%)	Si (%)	Ag (%)	ρ_s g/cm ³	Classificação MCT				η (%)
						c'	e'	Pi %	Sb	
Formação Serra Geral	P ₁₆ A	46	19	35	2,928	1,60	0,77	91,0	LG'	55,265
	P ₁₆ B	45	18	37	2,927	1,03	1,75	88,0	LG'	50,266
	P ₁₆ C	34	26	40	2,971	1,70	0,80	37,2	LG'	55,358
	P ₁₆ D	35	29	36	2,987	1,57	1,04	75,8	LG'	48,200
Formação Corumbataí	P ₃ A	50	15	35	2,714	1,45	1,08	82,0	LG'	47,094
	P ₃ B	41	13	46	2,756	1,71	1,34	189,5	NG'	35,415
	P ₉ A	75	07	18	2,511	0,28	1,44	293,3	NA	38,796
	P ₉ B	73	07	22	2,425	0,58	1,12	123,6	LA	33,639
	P ₉ C	28	20	52	2,824	1,89	1,20	116,43	NG'	41,815
	F6A	60	5	35	2,651	1,68	1,54	111,85	NG'	51,03
	F6B	52	16	32	2,700	1,69	0,98	30,55	LG'	29,90
	F6C	10	26	54	2,695	1,81	1,41	190,45	NG'	46,51
Formação Pirambóia	P ₅ A	75	09	16	2,578	0,61	1,41	238	NA	40,953
	P ₅ B	75	07	18	2,721	0,58	1,18	114	LA	32,087
	P ₂₆ A	82	10	08	2,642	0,66	1,44	218	NA'	49,000
	P ₂₆ B	83	10	07	2,654	0,60	1,43	221	NA'	46,000
	P ₂₆ C	79	09	11	2,628	1,00	1,20	144	NA'	46,000
	F1A	95	7	8	2,663	0,29	1,48	259,7	NA	42,37
	F1B	79	10	11	2,628	0,57	1,41	139,93	LA	29,38
Formação Pirassununga	P ₈ A	64	12	24	2,712	0,60	1,39	211,97	LA	34,562
	P ₈ B	74	10	16	2,731	0,46	1,08	117,60	LA	43,888
	P ₁₈ A				2,539	1,33	1,10	101,9	LA'	
	P ₁₈ B	21	24	55	2,774	2,07	1,13	76,76	LG'	39,301
	P ₁₈ C	11	47	42	2,766	2,25	1,86	106,5	NG'	38,771
	P ₂₇ A	78	09	13	2,636	0,50	1,63	142,3	NA'	40,440
	P ₂₇ B	70	17	13	2,654	0,70	1,09	105,8	LA	49,070
	F4A	87	3	10	2,664	0,40	1,47	288,30	NA	44,24
	F4B	81	5	14	2,671	0,37	1,33	193,57	LA	49,24
	F5A	86	4	10	2,662	0,54	1,53	259,75	NA	48,53
	F5B	83	5	12	2,675	0,30	1,60	226,65	NA	46,55
	F5C	84	4	12	2,671	0,47	1,37	217,50	LA	45,05
	F7A	62	10	28	2,720	1,61	1,24	82,75	NG'	51,24
	F7B	58	10	32	2,712	1,47	1,48	124,15	NS'	51,66

Ag: argila (partículas com $\theta < 0,002\text{mm}$) Si: silte ($0,002 < \theta < 0,02\text{mm}$)
Ar: areia ($0,02 < \theta < 2,0\text{mm}$) ρ_s : massa específica dos sólidos
 η : porosidade c', e': coeficientes utilizados na classificação MCT
Pi: perda de peso por imersão do material compactado Sb: Símbolo da Classificação MCT
LA: areias lateríticas; LA': solos areno-argilosos lateríticos;
LG': argilas lateríticas; NA: areias não lateríticas;
NA': solos arenosos não lateríticos; NS': solos siltosos não lateríticos;
NG': solos argilosos não lateríticos.

Fonte: Castro, 1998; Lorandi et al., 1999; e Torezan, 2000

Tabela 6: Resultados dos ensaios de granulometria e classificação MCT (continuação).

	Amostra	Ar (%)	Si (%)	Ag (%)	ρ_s g/cm ³	Classificação MCT				η (%)
						c'	e'	Pi %	Sb	
Formação Santa Rita do Passa-Quatro	P ₂ A	79	04	17	2,731	0,67	1,19	166	LA	44,299
	P ₂ B	74	06	20	2,744	1,00	1,24	168	NA'	40,195
	P ₁₀ A	73	10	17	2,732	0,49	1,30	182	LA	41,769
	P ₁₀ B	70	09	21	2,820	0,86	1,20	124	NA'	50,313
	P ₁₀ C	72	06	22	2,742	1,31	1,20	101	NA'	31,962
	P ₁₄ A	76	08	16	2,728	0,28	1,16	110,6	LA'	46,072
	P ₁₄ B	74	09	17	2,707	0,92	1,15	104,5	LA'	29,408
	P ₁₄ C	27	55	18	2,893	1,90	1,51	254,5	NG'	
	P ₁₃ A	51	29	20	2,904	1,49	1,02	98,5	LA'	39,382
	P ₁₃ B	70	07	23	2,760	1,37	1,17	109,0	LA'	50,121
	P ₁₃ C	73	13	14	2,682	1,11	0,93	104,70	LA'	43,580
	P ₁₇ A	83	06	11	2,664	0,63	1,37	188,2	NA'	37,778
	P ₁₇ B	75	11	14	2,654	0,36	1,15	109,9	LA	41,804
	P ₂₀ A	59	08	33	2,768	1,09	1,41	150	NA'	41,256
	P ₂₀ B	60	07	33	2,778	1,66	1,06	106	LG'	45,228
	P ₂₂ A	70	19	11	2,679	1,26	1,23	113,9	NA'	45,301
	P ₂₂ B	72	15	13	2,681	0,48	1,27	154,5	LA	52,653
	P ₂₂ C	56	28	16	2,688	1,36	1,31	138,1	NS'	43,301
	P ₂₃ A	80	03	17	2,652	0,44	1,56	298	NA	46,000
	P ₂₃ B	90	04	06	2,672	0,30	1,34	305	LA	46,000
	P ₂₄ A	93	02	05	2,693	0,40	1,55	294	NA	43,000
	P ₂₄ B	91	04	05	2,686	0,32	1,56	314	NA	56,000
	P ₂₅ A	82	05	13	2,708	0,87	1,14	120	LA'	47,000
	P ₂₅ B	80	07	13	2,666	0,96	1,11	117	LA'	37,000
	F2A	80	5	15	2,689	0,26	1,57	257,70	NA	45,27
	F2B	80	4	16	2,698	0,28	1,37	187,93	LA	43,99
	F2C	82	5	13	2,705	0,36	1,37	137,43	LA	40,13
	F8A	86	4	10	2,663	0,34	2,00	303,27	NA	45,98
F8B	84	4	12	2,693	0,39	1,68	276,17	NA	46,91	
Quaternário	P28A	60	29	11	2,662	0,50	1,35	276,5	LA	39,440
Fm. Itaqueri	F3A	41	16	43	2,661	1,51	0,92	56,75	LG	14,05
	F3B	32	14	54	2,734	1,88	1,48	88	NG'	19,65
Fm. Botucatu	F9A	81	5	14	2,679	0,29	1,30	168,00	LA	47,71
	F9B	79	3	18	2,675	0,52	1,44	163,07	NA	44,89

Fonte: Castro, 1998; Lorandi et al., 1999; e Torezan, 2000

2.2.4 Geomorfologia

Segundo a divisão geomorfológica do Estado de São Paulo (ROSS & MOROZ, 1997), a área estudada localiza-se na Unidade Morfoestrutural da Bacia Sedimentar do Paraná, abrangendo parcialmente duas Unidades Morfoesculturais, que apresentam as seguintes características:

1) Planalto Ocidental Paulista: essa unidade ocupa praticamente 50% da área total do Estado de São Paulo, sendo que o relevo desta morfoescultura é, no geral, levemente ondulado com predomínio de colinas amplas e baixas com topos aplanados.

Neste planalto, que abrange a parte superior e média do Rio Bonito, identificam-se variações fisionômicas regionais, que possibilitaram delimitar unidades geomorfológicas distintas, dentre as quais localmente destaca-se a do Planalto Residual de São Carlos, caracterizada por corresponder ao reverso da Cuesta no interflúvio Tietê/Moji-Guaçu. Nesta unidade, segundo o autor, predominam formas de relevo denudacionais cujo modelado na área do projeto constitui-se basicamente por colinas de topos tabulares (Dt), com vales com entalhamento inferior a 20m e dimensão interfluvial acima de 3.750m.

2) Depressão Periférica Paulista: esculpida quase que totalmente nos sedimentos Paleo-mesozóicos da bacia, essa morfoescultura é representada na área pela unidade morfológica denominada Depressão de Moji-Guaçu. Nesta unidade predominam formas de relevo denudacionais, cujo modelado constitui-se basicamente por colinas de topos tabulares amplos, onde os vales são entalhados até 20m e a dimensão interfluvial oscila entre 1.750m a 3.750m. As altimetrias predominantes estão entre 500 e 650m, e as declividades predominam entre 5 e 10%.

2.2.5 Uso e ocupação da terra na área

A quadrícula de Descalvado - SP, cuja ocupação apresenta estreita relação com o solo, faz parte de importante bacia leiteira, daí as pastagens ocuparem expressiva área, preferencialmente de solos nutricionalmente pobres e de textura arenosa a média.

A exploração agrícola da cana-de-açúcar e do milho desenvolve-se em solos de melhores propriedades físicas e químicas, além da facilidade para mecanização, enquanto que o florestamento (eucalipto) e a citricultura, são cultivados também nessa quadrícula, especialmente em solos de textura arenosa a areno-barrenta.

Torezan (2000) produziu uma Carta de Uso e Ocupação do Solo para a Bacia do Rio Bonito identificando a distribuição de usos constantes do Quadro 5.

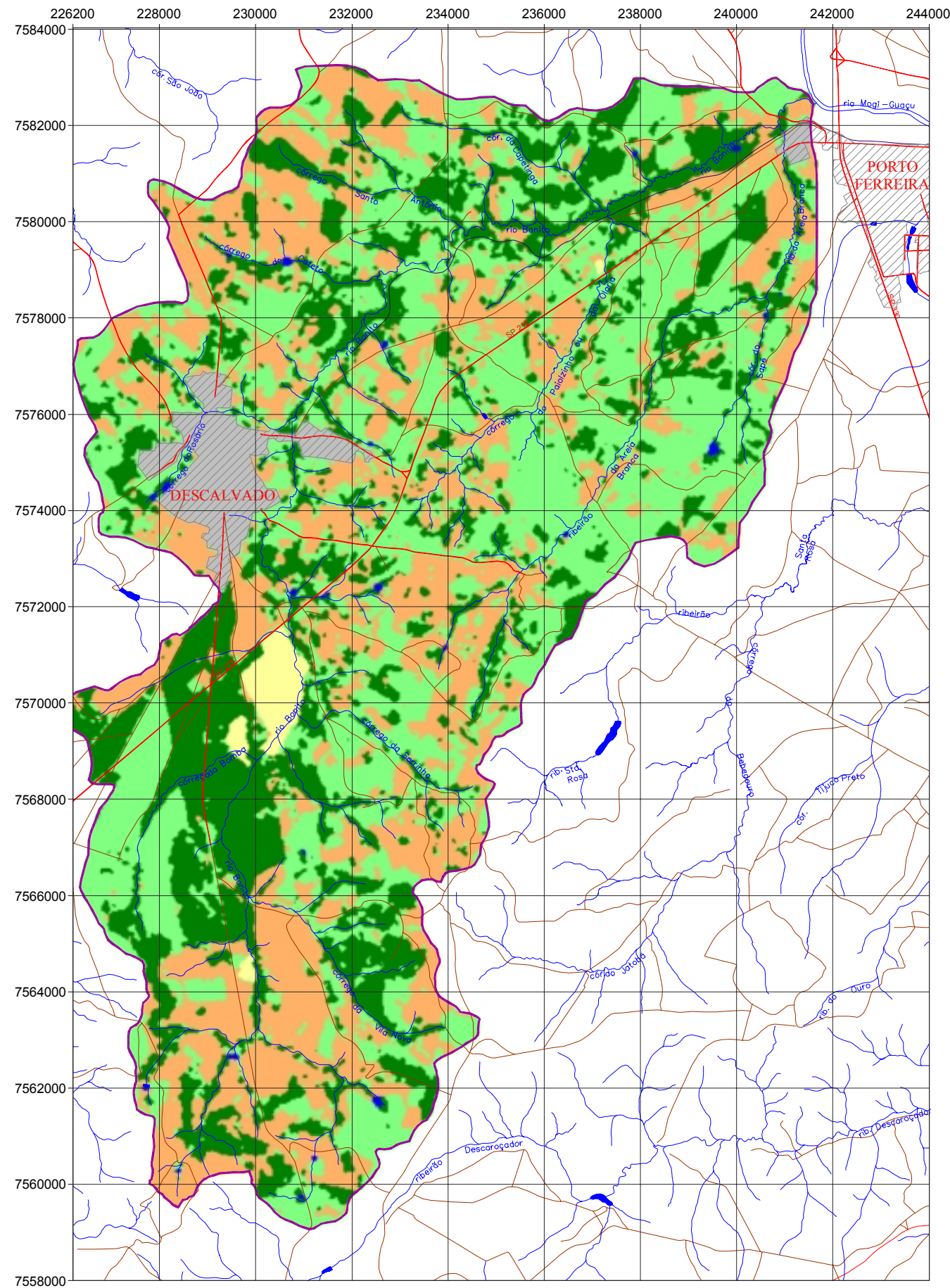
Quadro 5: Distribuição do uso da terra na bacia do Rio Bonito.

Uso da terra agrupado	Uso da terra (TOREZAN, 2000)	% da área	% da área
Pastagens	Pastagens	28	28
Culturas e solos expostos	Cana	16	42
	Laranja	8	
	Outras culturas	4	
	Solo exposto	14	
Vegetação arbórea e arbustiva	Cerrado	6	26
	Cerradão	5	
	Mata	11	
	Reflorestamento	4	
Área urbana	Área urbana	3	3
Mineração	Mineração	1	1
Corpos d'água	Corpos d'água	<1	<1

Fonte: Adaptado de Torezan, 2000

Desta forma, verifica-se que as culturas que expõem o solo sistematicamente perfazem aproximadamente 30% da área da bacia, contra 28% de pastos e 34% de usos rurais que mantêm o solo protegido (matas, cerrados, florestas cultivadas e culturas perenes).

O Mapa de Uso das Terras, produzido em Sistema de Informação Geográfica, com o programa IDRISI, em processo de classificação semi-controlada sobre composição RGB das bandas 5, 4 e 3 da Imagem LANDSAT-TM de 1999, é apresentado na Figura 18, reclassificado com a associação das áreas de cultura com as de solos expostos, e a associação das áreas de vegetação arbórea e arbustiva. A sobreposição do sistema viário regional e vicinal permitiu verificar que esses representam aproximadamente 1% dos terrenos da bacia.



LEGENDA

ESTRADAS DE RODAGEM
 Pavimentada ———
 Sem Pavimentação ———

ESTRADA DE FERRO ———

LIMITES
 Bacia do rio Bonito [Outline]

CURSOS D'ÁGUA [Blue lines]

ÁREA URBANA [Hatched area]

Classes de usos da terra

- [Light Green] Culturas e solos expostos
- [Orange] Pastagens
- [Dark Green] Vegetação arbórea-arbustiva
- [Blue] Cursos d'água
- [Grey] Áreas urbanas
- [Yellow] Áreas de mineração

LOCALIZAÇÃO DA ÁREA NO ESTADO

ARTICULAÇÃO DA BASE CARTOGRÁFICA

47°45'	47°15'
21°45'	21°45'
Descalvado SF-23-V-C-IV-4	Pirassununga SF-23-V-C-V-3
Corumbataí SF-23-Y-A-I-2	Leme SF-23-Y-A-II-1
22°15'	22°15'
47°45'	47°15'

PROJEÇÃO UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR
 Origem da quilometragem: Equador e Meridiano 45° W. Gr. acrescidas as constantes 10000 km e 500 km, respectivamente.

Datum vertical: marégrafo Imituba, SC
 Datum horizontal: Córrego Alegre, MG

Eqüidistância das curvas de nível: 20 m

Carta produzida através da digitalização das Folhas Topográficas Descalvado, Corumbataí, Pirassununga e Leme (BRASIL-IBGE, 1971), com informações atualizadas através de levantamento em campo e da interpretação de imagem LANDSAT de 18/09/1999.

Universidade Federal de São Carlos
Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais Grupo de Geologia de Planejamento do Meio Físico - CNPq/DECiv
<i>Análise de processos de erosão acelerada, com base em fotografias aéreas e geoprocessamento: Bacia do Rio Bonito (Descalvado, SP) - Roberto Feres & Reinaldo Lorandi (orientador)</i>
MAPA DE USO DAS TERRAS
Março/2002 Apoio: CAPES / FAPESP

Fonte: Adaptado de Torezan, 2000.

Figura 18: Mapa de uso das terras

2.2.6 Outras informações cartográficas disponíveis

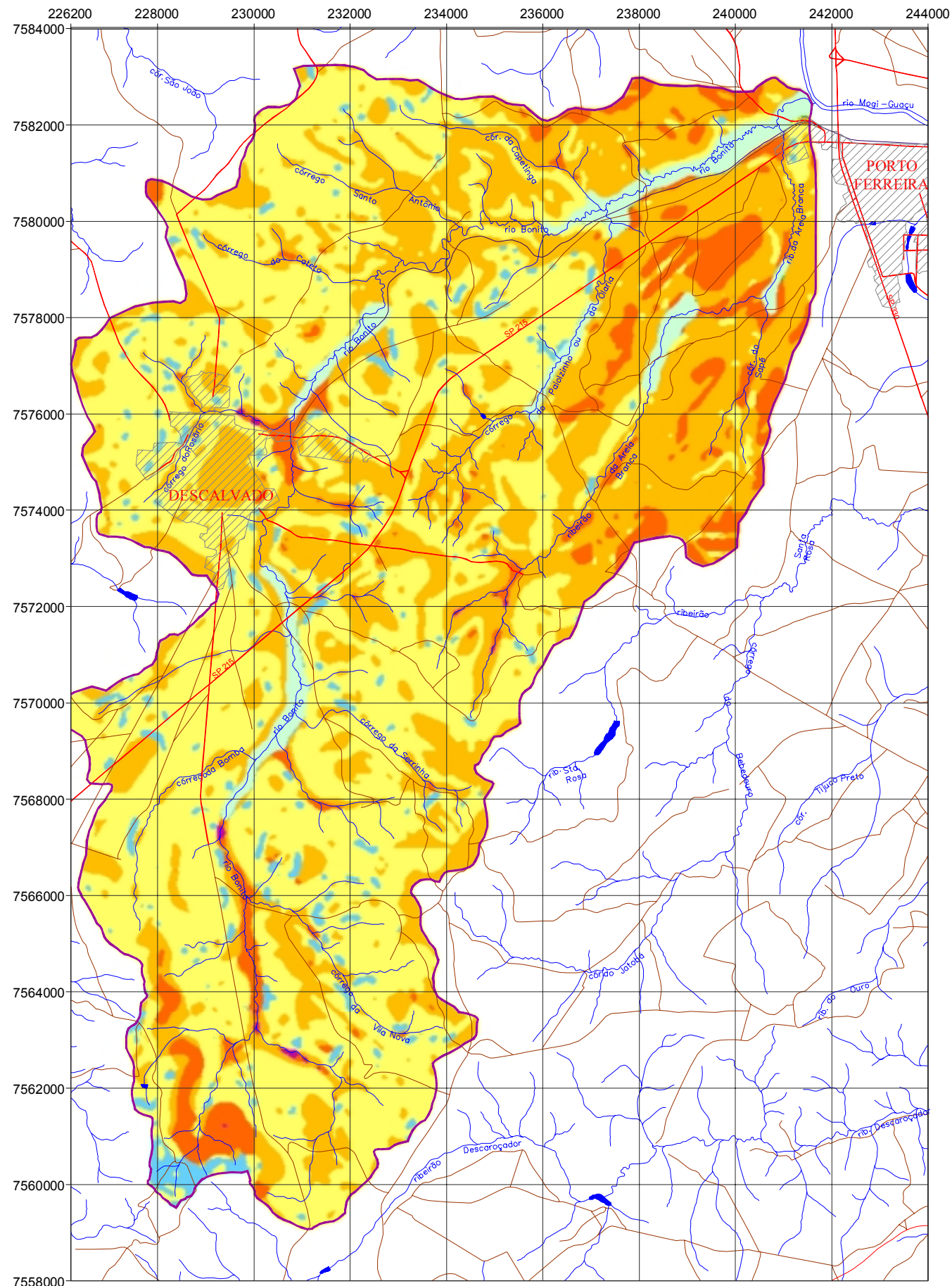
No estudo do potencial natural de erosão (PNE) e riscos de degradação na bacia hidrográfica do Rio Mogi-Guaçu, Weill et al. (2001), utilizando modelagem em ambiente de sistema de informação geográfica, sobre a base topográfica do IBGE em escala 1:50.000, o Mapa Pedológico de Oliveira et al. (1999) em escala 1:500.000, o uso das terras mapeado a partir de imagem do sensor Thematic Mapper (TM) do satélite LANDSAT 5 e a equação universal de perda de solo, mostram que o município de Descalvado encontra-se, em sua porção sul, em terrenos com baixo e muito baixo PNE e nas porções central e norte, em terrenos com PNE alto e muito alto. Tal porção, que também predomina nos municípios vizinhos de Luiz Antonio, Santa Rita do Passa-Quatro e Porto Ferreira, caracteriza-se por um relevo acidentado, solos frágeis à erosão e alta erosividade da precipitação e enxurrada.

Em escala intermediária, 1:50.000, foi realizada por Torresan & Lorandi (2001) uma Carta de Risco Potencial à Erosão da Bacia do Rio Bonito, cujos resultados subsidiaram mais diretamente as análises feitas neste trabalho.

Em uma escala de 10 classes (PEJON, 1992), concluem os autores que há predominância de áreas correspondentes à classe 5 (49% da bacia), seguida da classe 6 (37%) e 7 (7%). Os terrenos correspondentes às classes 6 e 7 correspondem àqueles sobre as formações Pirassununga e Pirambóia e em áreas de declividades acentuadas.

A Figura 19 (à página 50) mostra a Carta de Risco Potencial à erosão, com indicação dos cursos d'água e contorno da bacia de drenagem do Rio Bonito. A região de maior potencial erosivo do terreno corresponde à porção nordeste da carta, onde os materiais inconsolidados são predominantemente originados da Formação Pirassununga, profundos e de textura arenosa.

Ainda na escala 1:50.000, Torresan et al. (2002) produziram uma Carta de Potencial ao Escoamento Superficial e Infiltração da Bacia do Rio Bonito (Figura 20, à página 51), com informações relevantes para a discussão dos aspectos associados ao parâmetro erosividade. Utilizando uma escala de 5 classes, tem-se para a classe 1 o menor grau de escoamento superficial e o maior grau de infiltração e o inverso para a classe 5.



LEGENDA

ESTRADAS DE RODAGEM
 Pavimentada (Red line)
 Sem Pavimentação (Orange line)

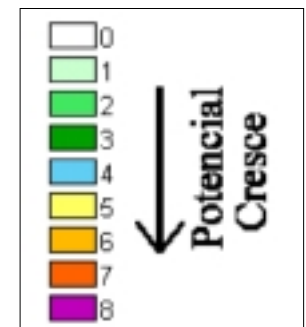
ESTRADA DE FERRO (Blue line)

LIMITES
 Bacia do rio Bonito (Pink outline)

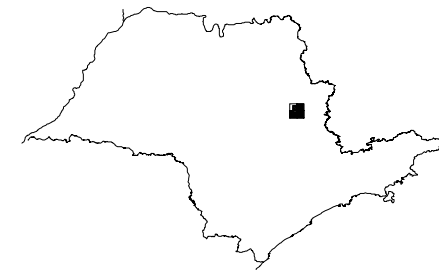
CURSOS D'ÁGUA (Blue lines)

ÁREA URBANA (Hatched area)

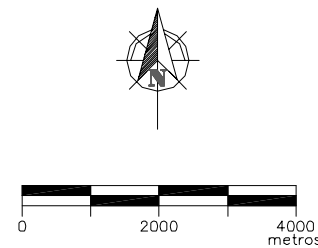
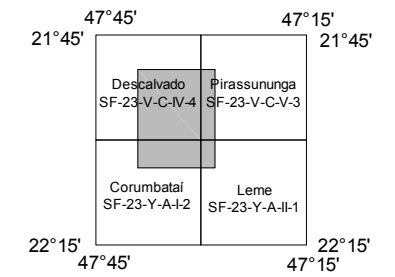
Classes de potencial de erosão



LOCALIZAÇÃO DA ÁREA NO ESTADO



ARTICULAÇÃO DA BASE CARTOGRÁFICA



PROJEÇÃO UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR
 Origem da quilometragem: Equador e Meridiano 45° W. Gr. acrescidas as constantes 10000 km e 500 km, respectivamente.
 Datum vertical: marégrafo Imbituba, SC
 Datum horizontal: Córrego Alegre, MG
 Eqüidistância das curvas de nível: 20 m
 Carta produzida através da digitalização das Folhas Topográficas Descalvado, Corumbataí, Pirassununga e Leme (BRASIL-IBGE, 1971), com informações atualizadas através de levantamento em campo e da interpretação de imagem LANDSAT de 18/09/1999.

Universidade Federal de São Carlos

Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais
 Grupo de Geologia de Planejamento do Meio Físico - CNPq/DECiv

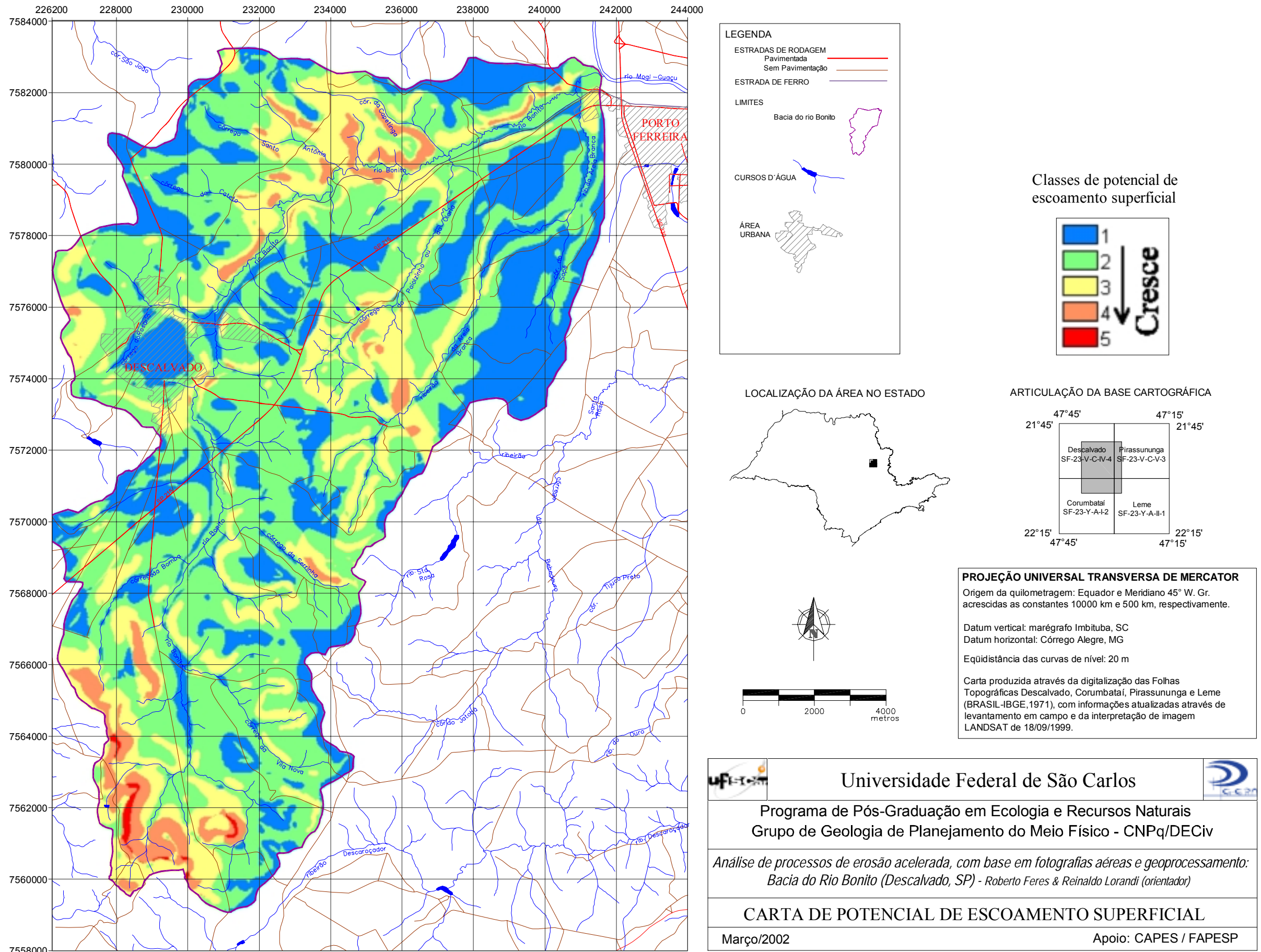
*Análise de processos de erosão acelerada, com base em fotografias aéreas e geoprocessamento:
 Bacia do Rio Bonito (Descalvado, SP) - Roberto Feres & Reinaldo Lorandi (orientador)*

CARTA DE RISCO POTENCIAL À EROSÃO

Março/2002 Apoio: CAPES / FAPESP

Fonte: Adaptado de Torresan & Lorandi, 2002

Figura 19: Carta de risco potencial à erosão.



Fonte: Torresan et al., 2001

Figura 20: Carta de potencial de escoamento superficial

Verificaram os autores que a classe 5 ocupa menos que 1% da bacia do Rio Bonito, tendo pequena representatividade. Predominam os terrenos da classe 3, ocupando 48% da área total da bacia, seguidos pelos da classe 4 (27% dos terrenos), em áreas das formações Santa Rita do Passa-Quatro e Pirassununga (textura arenosa e média permeabilidade) e de terrenos de baixa declividade. Por fim os terrenos das classes 2 e 1 ocorrem em áreas de declividade mais acentuada, influenciadas pela presença das formações Serra Geral e Itaqueri, que originam materiais inconsolidados de textura argilosa.

Castro (1998), trabalhando com a área urbana e de expansão urbana do município de Descalvado, produziu também, na escala 1:10.000, uma Carta do Potencial de Escoamento Superficial e uma Carta do Risco Potencial à Erosão Acelerada. Seu trabalho mostra que os solos residuais oriundos da formação Santa Rita do Passa-Quatro, com espessura superior a 5m, apresentam alto potencial erosivo, ainda que em terrenos com declividades inferiores a 5% e baixo escoamento superficial/alta infiltração. O fator erodibilidade nesse caso é em muito predominante sobre os aspectos associados à erosividade.

Oliveira (1995) propõe a criação e caracterização da APA de Descalvado, em um trabalho de pesquisa que estuda a bacia hidrográfica do Córrego do Pântano e cabeceiras do Rio Bonito. Constam do trabalho o seguinte conjunto de mapas na escala 1:100.000, para a área da APA.:

- Mapa geológico, modificado do levantamento de formações geológicas de superfície (IG, 1984)
- Mapa pedológico, modificado do levantamento pedológico semi-detalhado do estado de São Paulo (OLIVEIRA et al., 1982)
- Mapa hipsométrico, gerado a partir de operação digital sobre o modelo numérico do terreno em SIG (IBGE, 1971)
- Mapa de declividade, gerado a partir de operação digital sobre o modelo numérico do terreno em SIG (IBGE, 1971)
- Mapa de uso das terras, gerado a partir de interpretação analógica de imagem LANDSAT/TM-1993, sobre base altimétrica de IBGE (1971).

- Mapa morfopedológico, gerado a partir de interpretação analógica de imagem LANDSAT/TM-1993.

Conclui a autora que os problemas decorrentes da utilização inadequada dos recursos naturais na área de estudo afetam não somente o equilíbrio dos ecossistemas e a manutenção da biodiversidade local, mas também o das atividades agro-econômicas, destacando a importância da heterogeneidade da paisagem, a ocorrência de remanescentes de vegetação que suportam fauna com espécies raras na região e a fragilidade e importância dos recursos hídricos e dos solos, essenciais para a produtividade agrícola.

3 MÉTODOS

Com os recursos disponíveis de georreferenciamento e tratamento de informações cartográficas em ambiente SIG, foram incorporados, pelos métodos a seguir descritos, os seguintes dados em uma base suportada pelo programa IDRISI32:

- Carta de Potencial ao Escoamento Superficial e Infiltração da Bacia do Rio Bonito. Escala 1:50.000 (TORRESAN et al., 2002);
- Carta de Risco Potencial à Erosão da Bacia do Rio Bonito. Escala 1:50.000 (TORRESAN & LORANDI, 2001);
- Formações Geológicas de Superfície. Escala 1:50000. (IG, 1984)
- Carta de Uso e Ocupação do Solo para a Bacia do Rio Bonito. Escala 1:50.000 (TOREZAN, 2000);
- Modelo numérico do terreno. Escala 1:10.000 (IGC, 1978 e IGC, 1989);
- Carta de declividades do terreno. Escala 1:10.000;
- Mosaico georreferenciado das fotografias aéreas de Base (2000), com pixel de 1m x 1m. Escala 1:10.000;

- Mapa de materiais inconsolidados. Escala 1:50.000;
- Georreferenciamento parcial de fotografias aéreas de IBC-GERCA (1971). Escala 1:25.000.
- Localização dos pontos de coleta de amostras de solo (CASTRO, 1998; LORANDI et al., 1999; e TOREZAN, 2000).

O programa IDRISI32 (Figura 21) permite uma série de operações entre imagens cujos pixels têm o valor do atributo mapeado. As funções do programa realizam operações de contexto em uma imagem, como filtragens e interpolações, assim como cálculos programados para operações entre imagens, como adição, produto e análises diversas. Também permite a geração de perfis gráficos do comportamento de um atributo ao longo de um caminhamento vetorial superposto e de histogramas das imagens. Faz ainda a transformação do plano geográfico da imagem entre os diversos sistemas de projeção disponíveis.

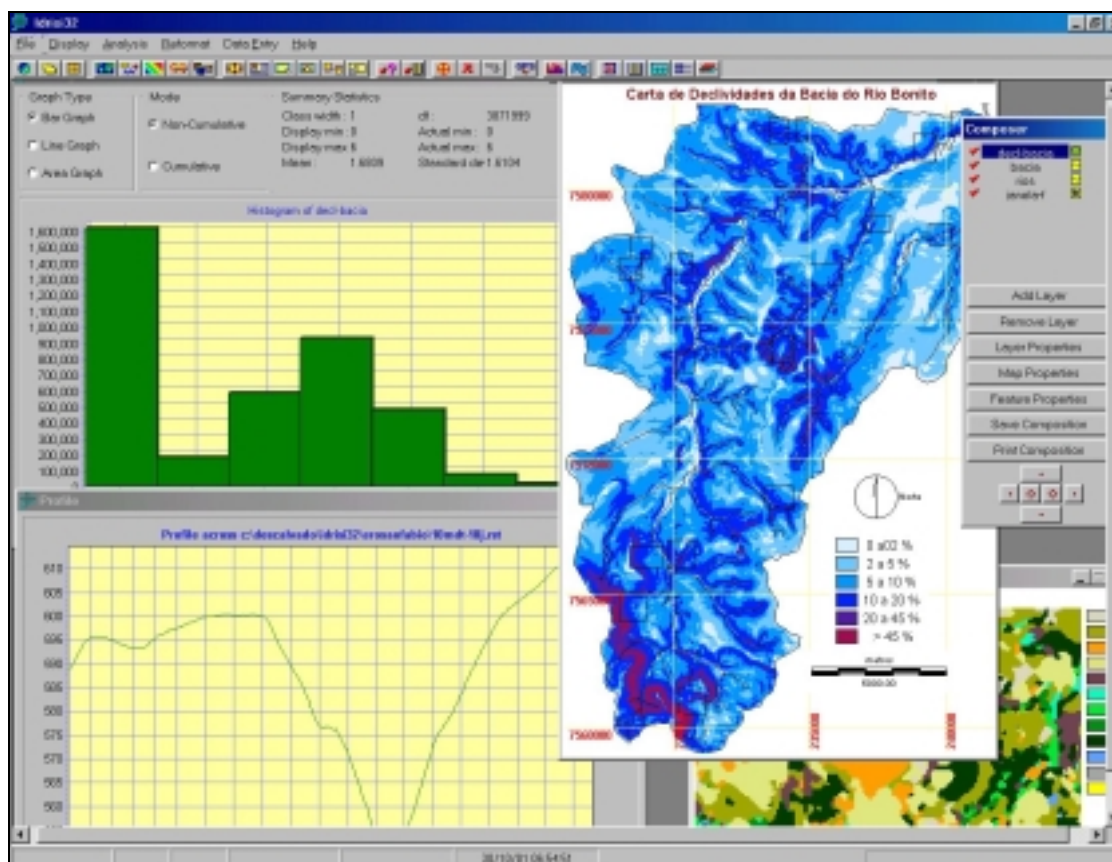


Figura 21: Programa IDRISI32 (ver I32.11) – Sistema de Informações Geográficas

3.1 Digitalização da base cartográfica

A base cartográfica utilizada no trabalho foi tomada de IGC (1978) e IGC (1989), tendo sido digitalizados o relevo (curvas de nível e pontos cotados), a hidrografia e os limites da bacia hidrográfica do Rio Bonito.

Para transformação das informações analógicas (Mapas topográficos) para vetores em meio digital aceitáveis pelo programa de SIG, foi utilizado o procedimento de vetorização em tela, auxiliado pelo programa CartaLinx.

Preliminarmente os mapas topográficos foram convertidos em arquivos raster, com o auxílio de um equipamento *scanner*, monocromático, formato ANSI-A0. Em seguida foram recortadas as legendas e incorporados como imagem de fundo (backdrop) e georreferenciados a partir da própria malha de ordenadas e abscissas no programa CartaLinx.

Pelo recobrimento das linhas e pontos da imagem de fundo, foram desenhados os vetores de linha e ponto correspondentes às feições de interesse e atribuídos os valores altimétricos às curvas de nível e pontos cotados.

A Figura 22 mostra a tela principal do programa CartaLinx durante o processo de digitalização, onde é visível a imagem de fundo (em linhas pretas) sendo sobreposta com os vetores em verde e vermelho. As tabelas, na janela direita da tela, indicam os vetores desenhados e suas respectivas características de caminhamento e valores atribuídos pelo usuário.

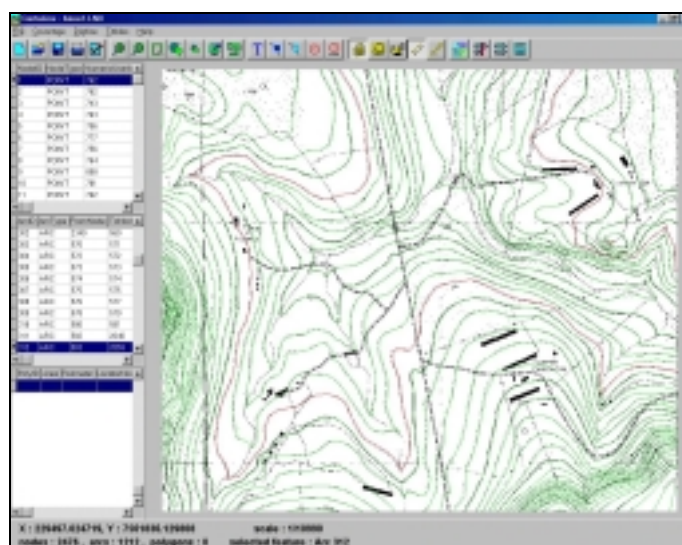


Figura 22: Programa CartaLinx (ver.1.04) - Processo de digitalização da base cartográfica.

A utilização de uma mesa digitalizadora de médio formato (12"x18") com cursor do tipo caneta (Figura 23) facilitou o processo de geração dos vetores de recobrimento das curvas de nível, permitindo uma qualidade melhor dos contornos e significativa redução no tempo de digitalização.



Figura 23: Mesa digitalizadora acoplada ao computador operando o programa CartaLinx.

O resultado da digitalização foi exportado para o programa IDRISI32, na forma vetorial, em arquivos individualizados para as curvas de nível, pontos cotados da altimetria e cursos d'água.

3.2 Georreferenciamento dos arquivos de imagem

Utilizando os recursos de SIG, foram georreferenciadas 41 fotografias aéreas ortogonais coloridas, tomadas em um vôo datado do ano 2000, escala 1:30.000, adquiridas em arquivos digitais no formato TIFF (BASE, 2000), 42 fotografias aéreas ortogonais monocromáticas, tomadas em um vôo datado de 1971, escala 1:25.000, adquiridas em papel e digitalizadas no formato TIFF em scanner A4 (IBC-GERCA, 1971) e uma imagem Landsat-TM, bandas 3, 4 e 5, de 1999, com resolução espacial de 30m.

O processo de georreferenciamento da imagem Landsat TM foi feito por correlação com coordenadas de campo de pontos de controle visíveis na imagem, utilizando o recursos do programa IDRISI32.

Para as fotografias aéreas foi necessário uma grande quantidade de pontos de controle, correlacionados com o mapa topográfico, de forma a permitir a formação dos mosaicos obtidos. Foi utilizado o módulo Descartes, do programa Microstation 95, para o georreferenciamento e mosaicagem das fotografias aéreas. O procedimento permitiu a escolha gráfica dos pontos de controle, tendo sido utilizados aproximadamente um ponto para cada quilometro quadrado de terreno fotografado.

A Figura 24 mostra a tela de georreferenciamento de imagens do módulo Descartes, com a janela esquerda tendo o objeto a ser georreferenciado e a da direita o mapa georreferenciado a partir dos elementos de quadrícula.

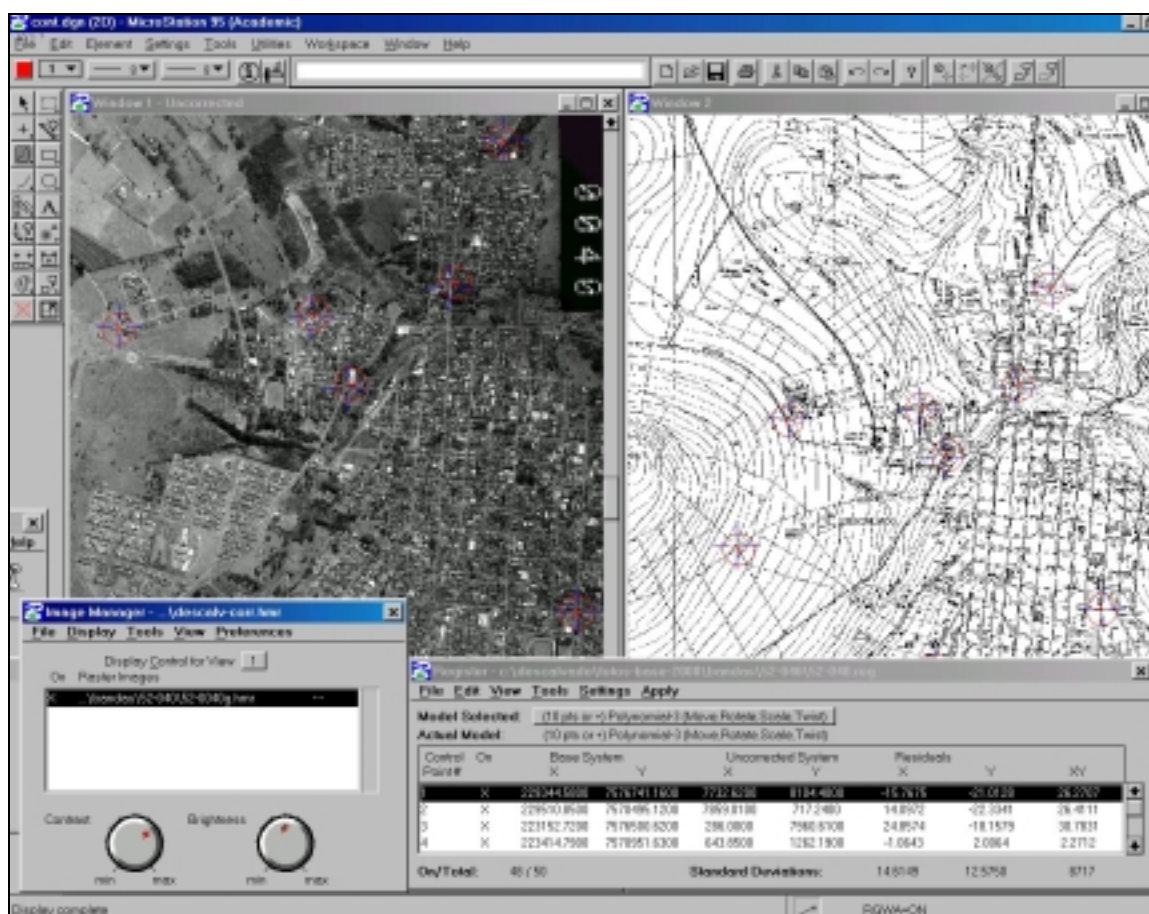


Figura 24: Programa MicroStation 95 – Academic Edition (ver. 05.05.03.31), com módulo Microstation Descartes (ver. 05.05.00.06). Georreferenciamento e geração do mosaico das fotografias aéreas e cartas topográficas.

Durante o processo de georreferenciamento das fotografias aéreas no módulo Descartes, é possível verificar a justaposição dos pontos de controle tomados nas janelas

da imagem e da referência, além de conhecer sua distribuição espacial ao longo do trecho a ser transformado (Figura 25).

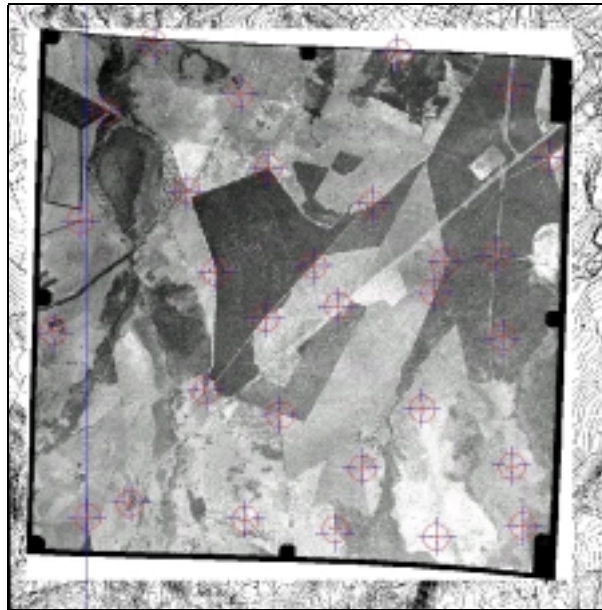


Figura 25: Georreferenciamento de foto aérea (Banda azul da foto 41/faixa 52 – BASE, 2000). Pontos de controle identificados na foto e no mapa topográfico.

Após o registro da imagem à base cartográfica desejada é possível, ainda no módulo Descartes, gerar um recorte que possibilita a justaposição com as demais fotografias (Figura 26).

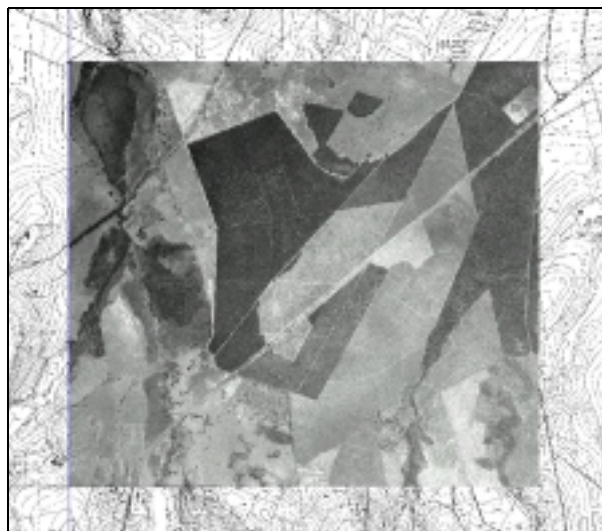


Figura 26: Recorte da foto aérea (Banda azul da foto 41/faixa 52 – BASE, 2000).

3.3 Foto-mosaico georreferenciado

Para a produção do foto-mosaico da área estudada foram desenvolvidas as seguintes etapas:

- a) Georreferenciamento individual das fotografias disponíveis. Este processo permitiu a transformação das imagens em ortofotos, a partir da utilização de um modelo polinomial disponível no programa MicroStation Descartes, versão 5, tendo sido selecionados um mínimo de um ponto de controle por quilômetro quadrado de terreno representado.
- b) As imagens produzidas foram sobrepostas por uma matriz vetorial de retângulos justapostos, de tal maneira que a cada fotografia correspondesse um retângulo totalmente inserido.
- c) Foram então aparadas as fotografias considerando os limites dos retângulos e fundidas em uma única imagem, exportada para o padrão gráfico do programa Idrisi 32.

Todas as transformações, tanto de registro quanto de fusão e exportação das imagens, consideraram um pixel de 1m x 1m, permitindo uma perda mínima de resolução em relação aos padrões originais das fotografias.

Tendo em vista a grande sobreposição longitudinal das fotografias aéreas em cada faixa de vôo (60%), o processo de produção do mosaico permitiu a intercalação de imagens, reduzindo das 41 disponíveis, na área da bacia, para 24 a quantidade de fotos necessárias. Entretanto os programas disponíveis não permitiam o tratamento de imagens com quantidade de tons maior que 256, impondo o desmembramento das fotografias em três bandas (Vermelho-R, Verde-G e Azul-B) e o tratamento individual de cada uma.

Após a montagem do mosaico para cada banda de cor, foi feita a fusão, já no programa IDRISI32, resgatando o padrão RGB original.

O processo de exportação dos arquivos de imagem utilizados pelo programa Microstation 95, no formato [.hmr], para o programa IDRISI32, no formato [.rst], exigiu uma transformação adicional para formato aceito por ambos os programas. Foi adotado para isso o padrão TIFF, sem compactação, que mostrou maior eficiência.

O fluxograma da Figura 27 mostra, passo a passo, os procedimentos adotados desde a recepção das fotografias aéreas individuais, seu tratamento no módulo Descartes, até o foto-mosaico concluído, no programa IDRISI32.

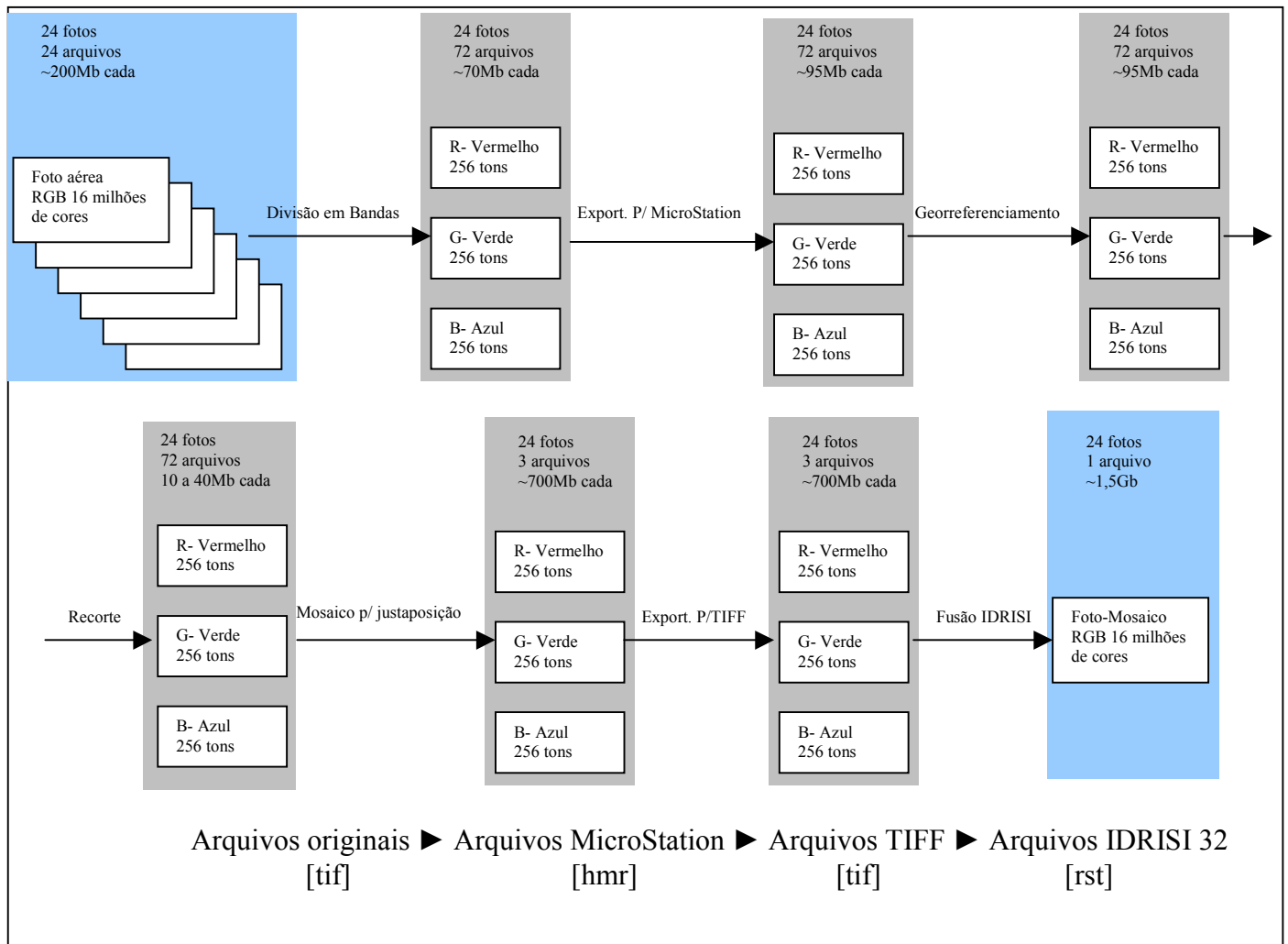


Figura 27: Fluxograma para geração do Foto-Mosaico Georreferenciado

O arquivo de mosaico total para a área da bacia hidrográfica do Rio Bonito, com pixel de 1x1m, embora assumindo um tamanho bastante grande, foi facilmente aceito e manipulado pelo programa IDRISI32 em um computador padrão IBM-PC, com processador Pentium III, com clock de 800MHz e 512Mb de memória RAM.

Tendo o mosaico como arquivo de base, foi possível sobrepor a ele, no IDRISI32, as diversas informações vetoriais necessárias à análise visual das ocorrências erosivas.

A Figura 28 mostra o mosaico sobreposto por informações de localização das amostras, regiões de ocorrência de processos erosivos, cursos d'água e malha topográfica. No detalhe é possível verificar a justaposição das fotografias, decorrente de problemas na tonalidade das imagens originais.

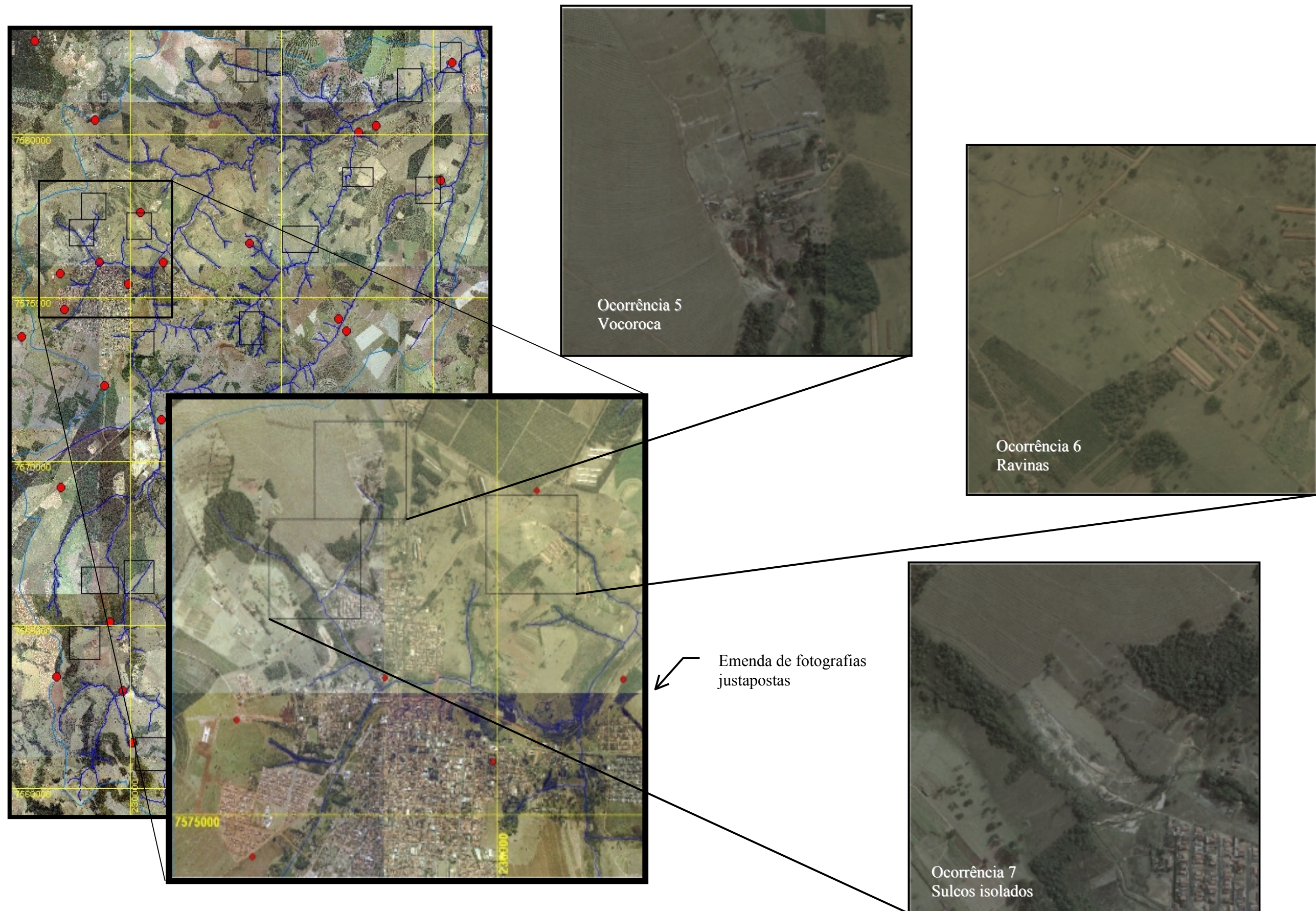


Figura 28: Mosaico georreferenciado, produzido a partir das fotografias de Base (2000) – Ampliações no programa Idrisi.

3.4 Análise do relevo

Para a avaliação do relevo da área de estudo, foram digitalizados os mapas topográficos disponíveis, em escala 1:10.000, transformando as informações altimétricas do formato analógico para o vetorial (HAGAN et al., 1988).

Foi adotado o sistema de referência UTM – Universal Transverso de Mercator – com o Datum SAD-1969, para a folha 23-Sul. Também foram digitalizados os cursos d'água existentes na área de estudo.

A partir das informações vetoriais georreferenciadas, foram executados o Modelo Digital do Terreno, uma Carta Hipsométrica, com intervalos de 100m, e uma Carta de Declividades para os intervalos de 0 a 2%, 2 a 5%, 5 a 10%, 10 a 20%, 20 a 45% e acima de 45%. Foram utilizados os algoritmos do programa Idrisi 32, em ambiente Raster, com pixel de 10m x 10m:

- A Carta Hipsométrica, mostrada na Figura 29 (página 63), utilizou o operador RECLASS, sobre o arquivo de modelo digital do terreno.
- A produção do modelo digital do terreno, em arquivo raster, foi realizada com a utilização do módulo INTERCOM, do programa IDRISI32, com a homogeneização do histograma de valores dos pixels feita através de dez filtragens sucessivas, com o algoritmo de média, em contexto de 3x3 pixels
- A carta genérica de declividades foi realizada com o módulo SLOPE, que calcula o valor do coeficiente de inclinação do terreno em cada posição (pixel) do arquivo de imagem, tendo sido utilizada a opção de apresentação dos valores em percentual e,
- A Carta de Declividades, mostrada na Figura 30 (página 64), produzida com o módulo RECLASS, para as faixas de valores de interesse e homogeneizada com uma passagem do filtro, com o algoritmo da moda, em contexto de 3x3 pixels.

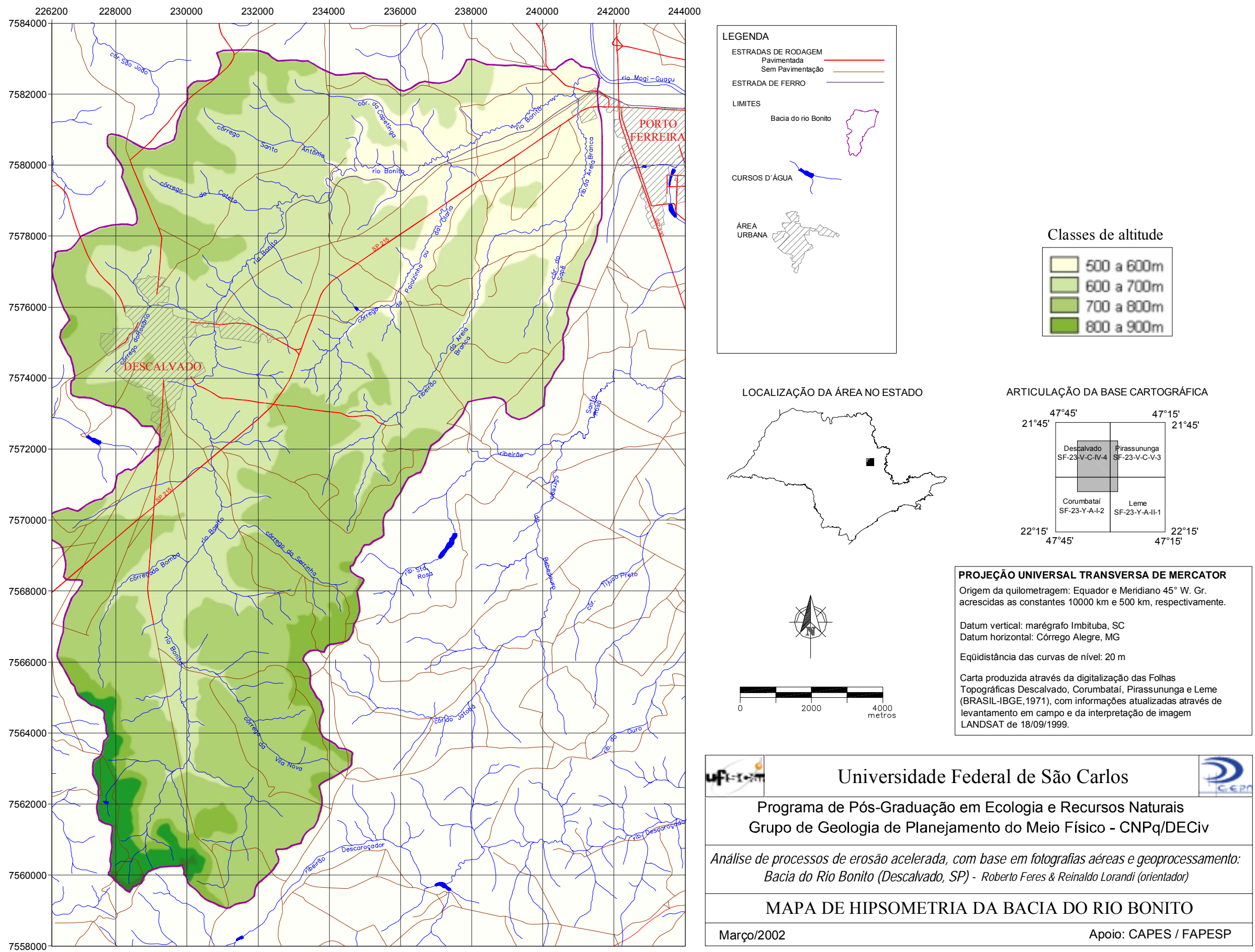


Figura 29: Mapa de hipsometria da bacia do Rio Bonito

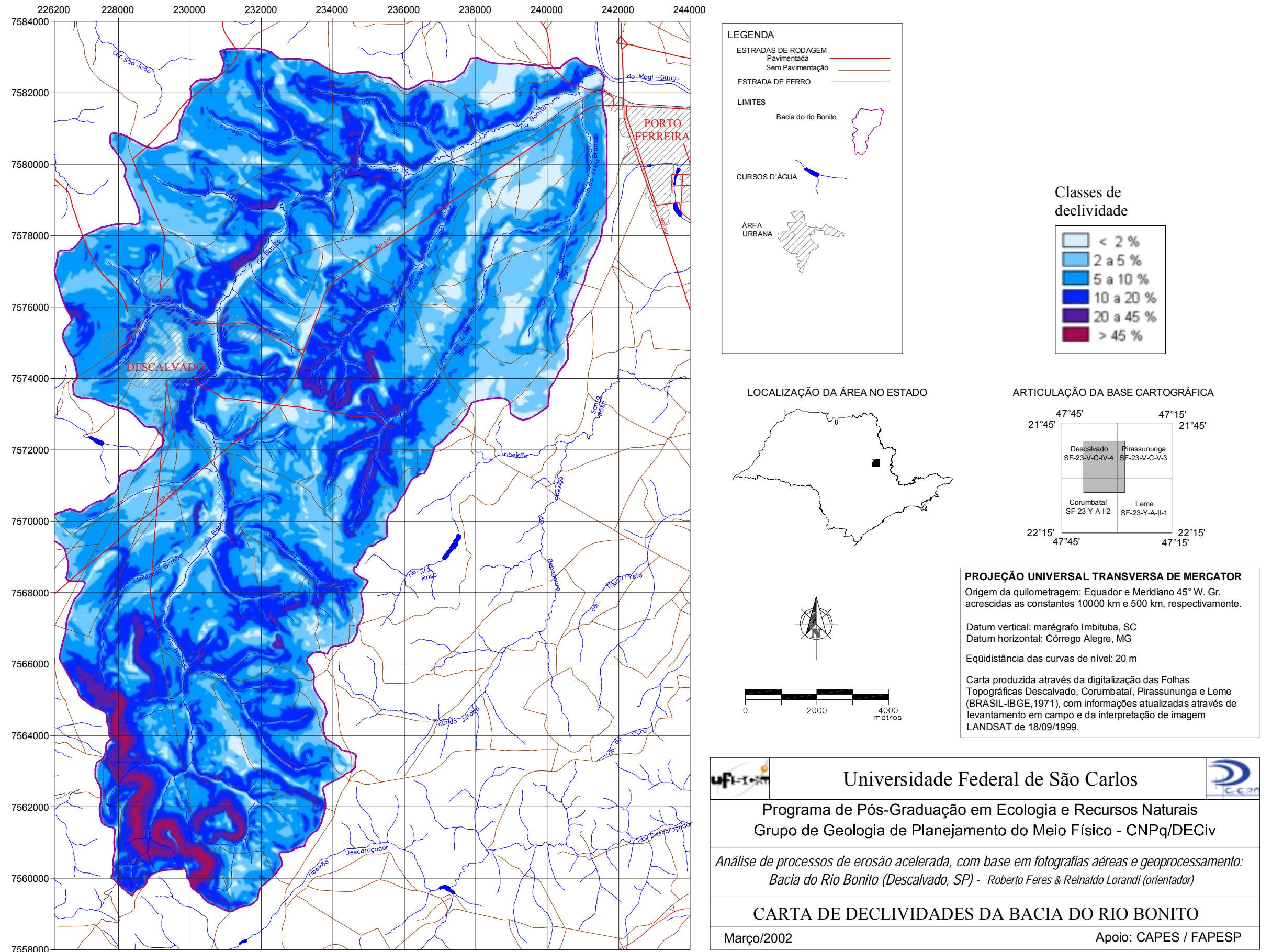


Figura 30: Carta declividades da bacia do Rio Bonito

3.5 Mapa de materiais inconsolidados

Para a definição preliminar das unidades de materiais inconsolidados da área de estudo foram feitas correlações entre o comportamento do relevo, com destaque ao atributo declividade, e as categorias de material encontradas em campo.

O Mapa de Formações Geológicas de Superfície (IG, 1984) foi adotado como referência para o substrato geológico formador de cada uma das classes, e, com o auxílio de um modelo digital de terreno e uma carta de declividades, em ambiente SIG, foram estabelecidos os contornos das unidades mapeadas.

O método permitiu a automação dos procedimentos e uma primeira aproximação de resultados, adequados para as análises dos processos erosivos da região.

Inspeções de campo, para verificação dos resultados obtidos puderam ser realizadas com o auxílio de um procedimento de navegação em tempo real sobre o material cartográfico produzido, utilizando o programa computacional TrackMaker Pro - 3.3.5 (FERREIRA JR., 2000) em um micro-computador padrão IBM-PC, associado a um equipamento GPS. A autonomia do equipamento foi garantida por um inversor de corrente ligado ao sistema elétrico do veículo, conforme mostra a Figura 31.

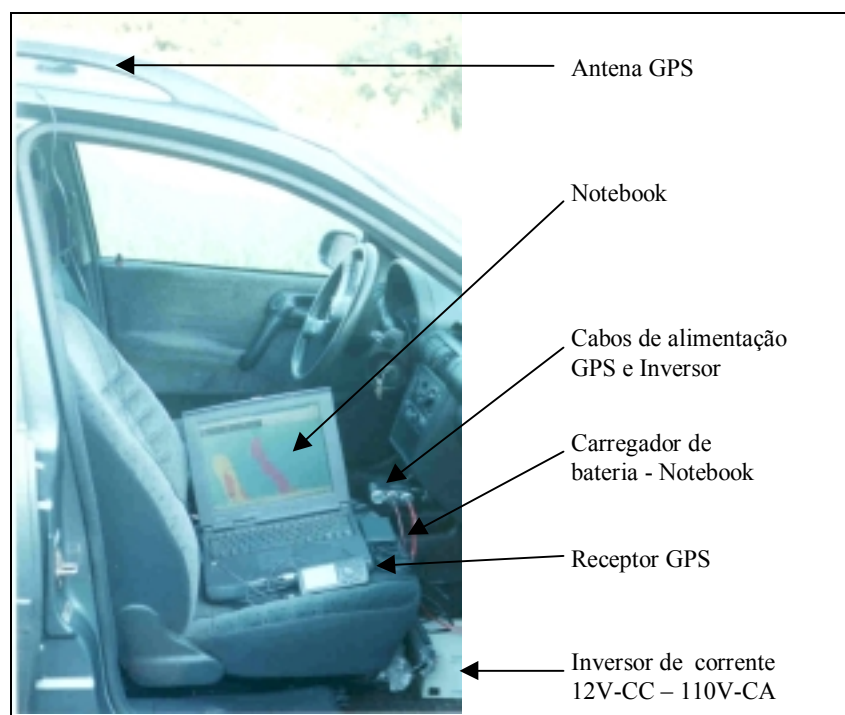


Figura 31: Equipamento GPS associado a computador Notebook para auxílio à localização das informações em campo. Navegação em tempo real.

O programa Trackmaker permite o georreferenciamento de informações cartográficas tanto advindas de arquivos de imagem, como os produzidos pelo programa IDRISI32, quanto de arquivos vetoriais dos programas CAD, CartaLinx, entre outros.

A tela principal do programa apresenta uma gama de funções de gerenciamento das imagens e vetores, inserção de dados em formato vetorial e troca de informações com equipamentos GPS (Figura 32).

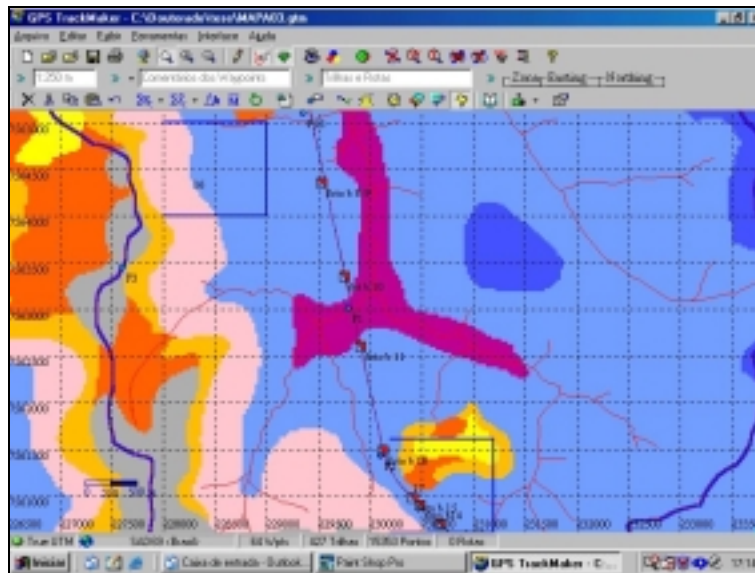


Figura 32: Janela principal do programa TrackMaker Pro - 3.3.5

O programa também permite alternar entre imagens de fundo e registra a posição do operador sobre o mapa, como mostra a janela apresentada na Figura 33.

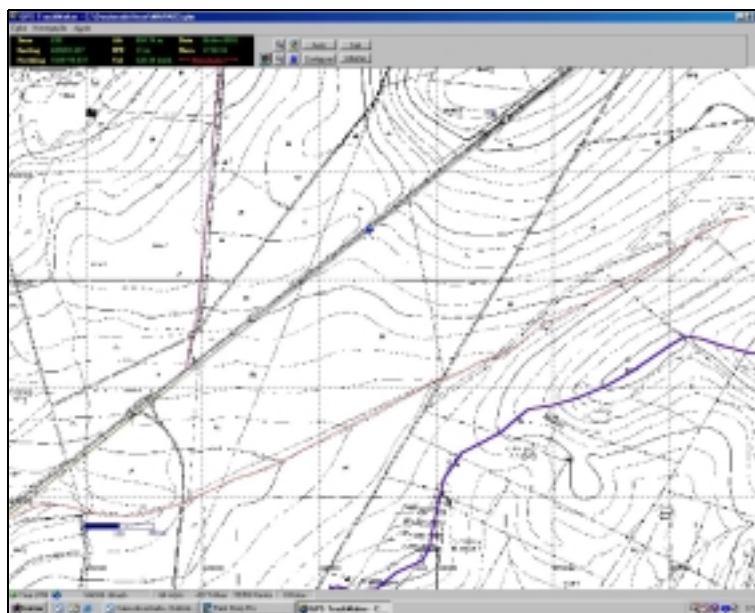


Figura 33: Janela de navegação em tempo real do programa TrackMaker Pro - 3.3.5

3.6 Caracterização dos processos erosivos

A partir do foto-mosaico georreferenciado, foi feita a identificação visual dos processos erosivos encontrados na forma de ravinas, sulcos e voçorocas, e a sobreposição das informações às cartas temáticas e amostras de campo disponíveis, em ambiente SIG.

Todas as ocorrências visíveis no foto-mosaico foram identificadas e visitadas em campo, com o auxílio do sistema de navegação em tempo real anteriormente descrito.

Também puderam ser auferidas das fotografias aéreas, de forma preliminar às inspeções de campo, informações sobre a forma do relevo e evidências dos mecanismos de manejo do solo que desencadearam cada um dos processos erosivos identificados.

Com a sobreposição dos dados cartográficos disponíveis, relativos aos diferentes atributos do terreno, foram representados graficamente os elementos de caracterização para cada uma das áreas identificadas com ocorrência de erosão acelerada, colecionados em uma única prancha de desenho.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Mapa de materiais inconsolidados

As unidades de materiais inconsolidados mapeadas constam do Quadro 6, onde são mostradas as principais características de relevo e atributos de ocorrência esperadas para cada uma e que tem significado no estudo dos processos erosivos.

Quadro 6: Unidades do Mapa de Materiais Inconsolidados.

Origem geológica		Classes	Relevo	Características	
CENOZOICO	Quaternário	Quaternário	Indiscriminada	Terrenos planos de fundo de vale	Materiais de textura indiscriminada, decorrentes de depósitos recentes. Nível d'água aflorante e baixa permeabilidade (10^{-5} cm/s).
	Terciário	Formação Santa Rita do Passa-Quatro	Residuais	Topos planos Declividade <5%	Permeabilidade média, varia entre 10^{-3} e 10^{-4} cm/s. Textura arenosa. Erodibilidade alta; Espessura \cong 8m.
			Retrabalhados	Vales e encostas com decl. > 5%	Permeabilidade média, varia entre 10^{-3} e 10^{-4} cm/s. Textura arenosa. Erodibilidade alta; Espessura de 5 a 8m.
		Formação Pirassununga	Residuais	Topos planos Declividade <5%	Permeabilidade alta, varia entre 10^{-2} e 10^{-3} cm/s. Textura arenosa. Erodibilidade alta; Espessura \cong 8m.
			Retrabalhados	Vales e encostas com decl. > 5%	Permeabilidade média a alta, varia entre 10^{-2} e 10^{-3} cm/s. Textura arenosa. Erodibilidade alta; Espessura de 5 a 8m.
	Cretáceo Terciário	Formação Itaqueri	Residuais (indiscr.)	Topos com declividade < 20%	Permeabilidade baixa, varia entre 10^{-5} e 10^{-7} cm/s. Textura argilo-siltosa; Erodibilidade baixa; Espessura < 1,5m.
MESOZOICO	Jura-Cretáceo	Formação Serra Geral	Residuais Espessos	Topos planos Declividade <5%	Permeabilidade média, varia entre 10^{-3} e 10^{-4} cm/s. Textura arenosa. Erodibilidade alta; Espessura > 1m
			Residuais Rasos	Encostas íngremes Declividade >15%	Permeabilidade média, varia entre 10^{-3} e 10^{-4} cm/s. Textura argilo-siltosa; Erodibilidade baixa; Espessura < 1m.
			Retrabalhados	Encostas Decl: 5 a 15%	Permeabilidade média, varia entre 10^{-3} e 10^{-4} cm/s. Textura argilo-arenosa; Erodibilidade baixa; Espessura > 4m.
	Formação Botucatu	Residuais Espessos	Topos com declividade < 15%	Permeabilidade média a alta, varia entre 10^{-2} e 10^{-3} cm/s. Textura argilo-siltosa; Erodibilidade baixa; Espessura > 1m, com média > 4m.	
		Residuais Rasos	Encostas com declividade > 15%	Permeabilidade média, varia entre 10^{-3} e 10^{-4} cm/s. Textura arenosa. Erodibilidade alta; Espessura < 1m	
	Triássico	Formação Piramboia	Residuais	Encostas com declividade > 20%	Permeabilidade média, varia entre 10^{-3} e 10^{-4} cm/s. Textura arenosa; Erodibilidade alta; Espessura < 1m e ocorrência muito baixa na região.
Retrabalhados			Vales e encostas com decl. < 20%	Permeabilidade média, varia entre 10^{-3} e 10^{-4} cm/s. Textura arenosa. Erodibilidade alta; Espessura \cong 2m.	
PALEOZOICO	Permiano	Formação Corumbataí	Residuais	Topos com declividade < 10%	Permeabilidade média, varia entre 10^{-3} e 10^{-4} cm/s. Textura argilo-siltosa; Erodibilidade baixa; Espessura < 1m.
			Retrabalhados	Vales e encostas com decl. >10%	Permeabilidade média a baixa, varia entre 10^{-3} e 10^{-5} cm/s. Textura argilo-siltosa; Erodibilidade média; Espessura entre 1 e 4m.

O mapa da Figura 35, produzido na escala 1:50.000, mostra as unidades de Materiais Inconsolidados para cada uma das classes encontradas, assim como o contorno da bacia do Rio Bonito e os cursos d'água.

Os quinze tipos encontrados para as unidades de material inconsolidado mapeadas na bacia do Rio Bonito distribuíram-se em área de acordo com o que mostra o Quadro 7.

Quadro 7: Frequências de ocorrência dos unidades de material inconsolidado na bacia do Rio Bonito.

Origem geológica	Classes	Frequência
Quaternário	Indiscriminada	3.2%
Formação Serra Geral	Residuais Espessos	3.3%
	Residuais Rasos	1.1%
	Retrabalhados	9.5%
Formação Corumbataí	Residuais	0.8%
	Retrabalhados	2.1%
Formação Piramboia	Residuais	0.0%
	Retrabalhados	4.6%
Formação Pirassununga	Residuais	8.9%
	Retrabalhados	7.7%
Formação Santa Rita do Passa-Quatro	Residuais	47.3%
	Retrabalhados	8.5%
Formação Itaqueri	Residuais (indiscr.)	1.1%
Formação Botucatu	Residuais Espessos	1.8%
	Residuais Rasos	0.1%

A Figura 34 mostra que quase metade da área (47,3%) corresponde a materiais retrabalhados originados da Formação Santa Rita do Passa-Quatro, seguidos em importância pelos materiais residuais e retrabalhados, originados da Formação Pirassununga, que somam 16,6% e pelos materiais originados da Formação Serra Geral, que somam 13,9% da área da bacia.

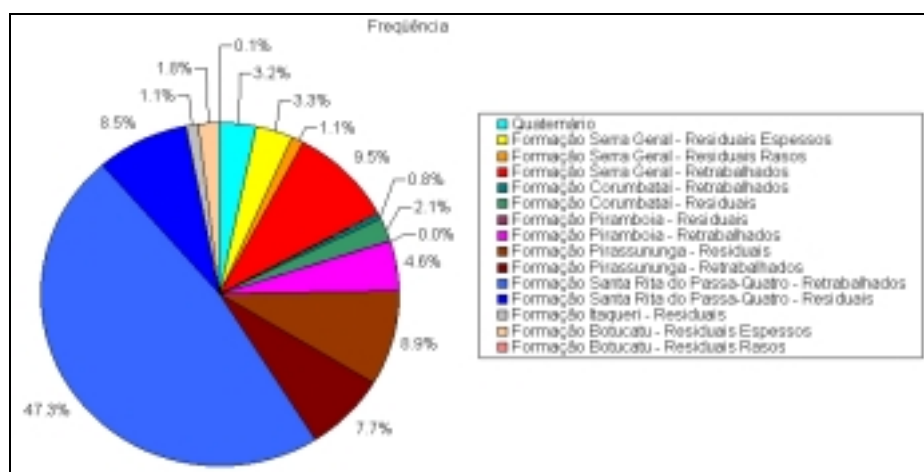


Figura 34: Gráfico das frequências de ocorrência das unidades de material inconsolidado.

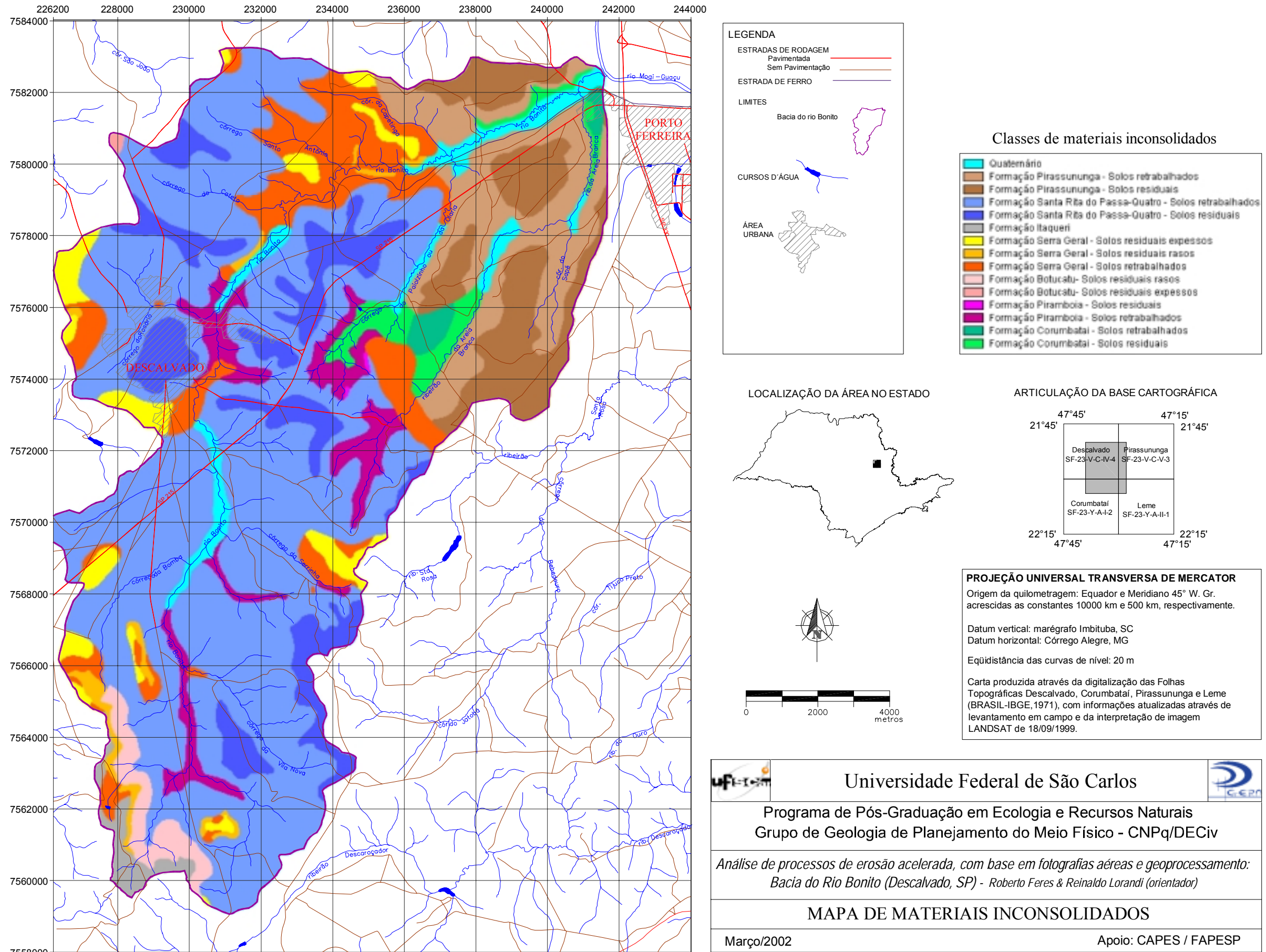


Figura 35: Mapa de materiais inconsolidados

4.2 Ocorrências erosivas aceleradas encontradas na área de estudo.

Um total de dezessete parcelas da bacia do Rio Bonito, onde ocorrem processos erosivos, foram analisadas mais detalhadamente, tomando como base o mapa topográfico e o foto-mosaico gerado, compatíveis com a escala 1:10.000, em ambiente SIG, com a utilização do programa IDRISI32.

A localização de cada um dos processos erosivos encontrados é mostrada no Mapa de Documentação (Figura 36), juntamente com a localização das amostras disponíveis e demais informações de campo relevantes.

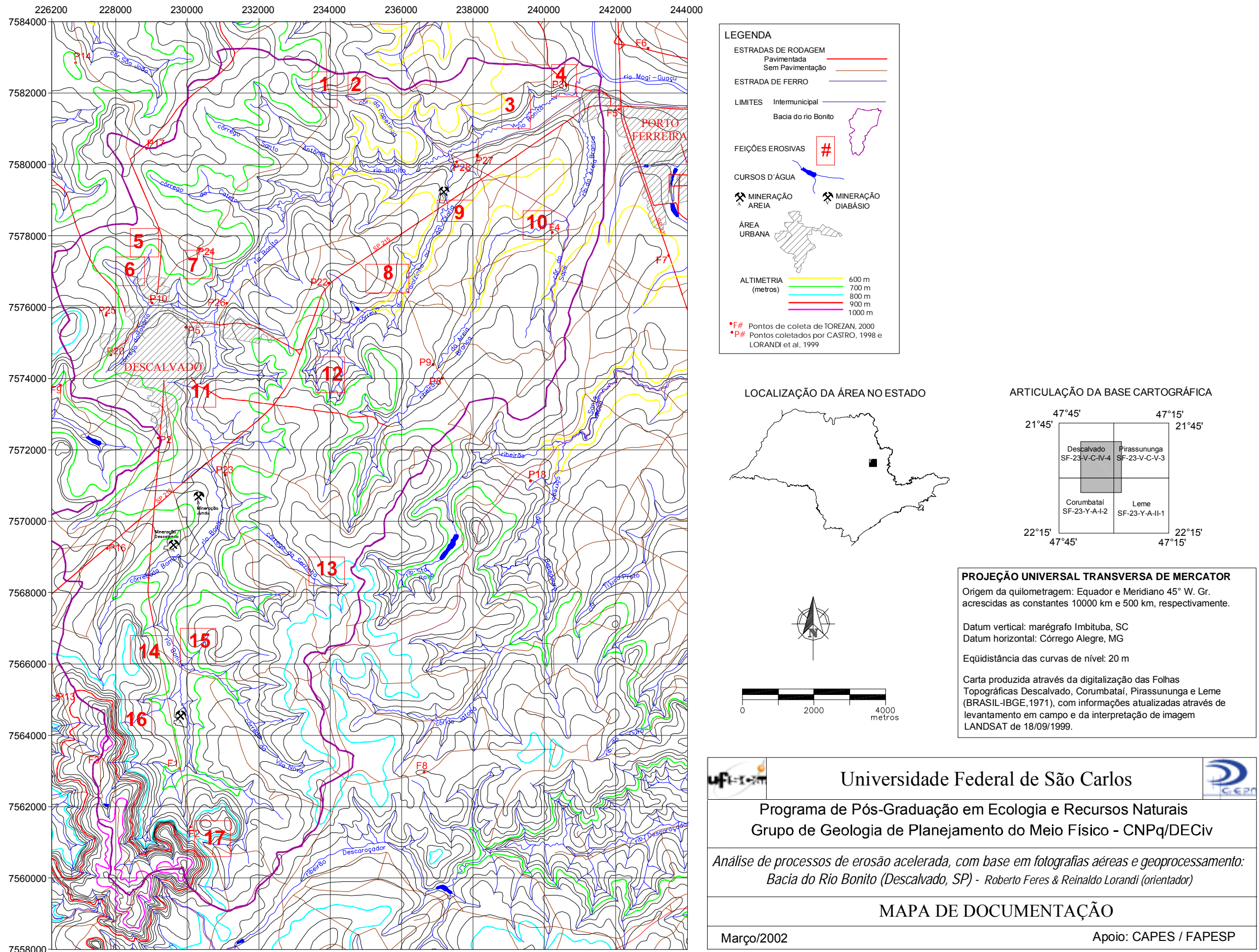


Figura 36: Mapa de documentação com a localização das feições erosivas encontradas na bacia do Rio Bonito e amostras utilizadas como referência no trabalho

O Quadro 8 apresenta um resumo das principais características verificadas para cada uma das feições erosivas encontradas na área de estudo a respeito do tipo de feição encontrada, fatores que contribuíram para manifestação e potencial a ocorrência de eventos.

Quadro 8: Feições erosivas encontradas na área de estudo

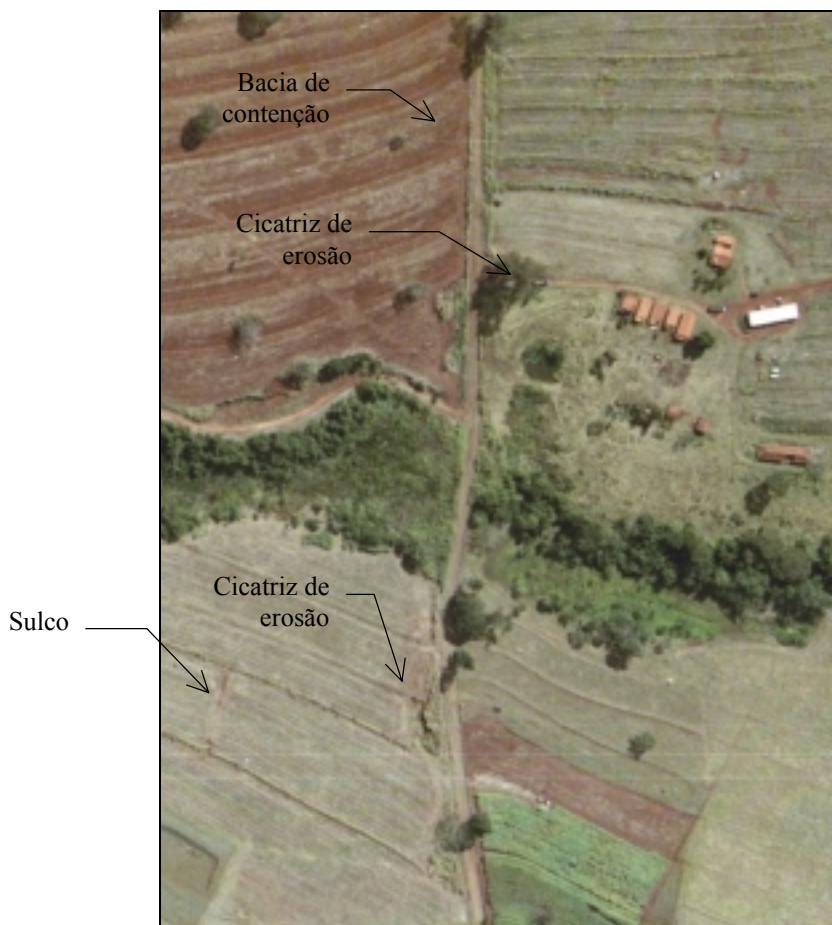
Ocor- rência	Materiais Inconsolidados	Nível de Susceptibilidade	Tipos	Fatores antrópicos
1	Serra Geral -Retrabalhado	6	Ravinas e sulcos	Terraceamento insuficiente
2	Serra Geral -Retrabalhado	5 e 6	Ravinas	Descontinuidade do terraceamento
3	Pirassununga -Retrabalhado	6 e 7	Ravinas e sulcos	Terraceamento insuficiente Pisoteio do gado
4	Pirassununga -Retrabalhado	5 a 7	Ravinas e sulcos	Terraceamento insuficiente
5	Santa Rita do Passa-Quatro -Retrabalhado	4 e 5	Ravinas, sulcos e voçoroca	Manejo incorreto Lançamento de lixo na vala de drenagem
6	Santa Rita do Passa-Quatro -Retrabalhado	4 e 5	Ravinas e sulcos	Falta terraceamento Pisoteio do gado
7	Santa Rita do Passa-Quatro -Retrabalhado	4 e 5	Ravinas e sulcos	Terraceamento insuficiente Pisoteio do gado
8	Santa Rita do Passa-Quatro -Retrabalhado	5 e 6	Ravinas e sulcos	Terraceamento insuficiente
9	Pirassununga -Retrabalhado	5 e 6	Ravinas e sulcos	Terraceamento insuficiente
10	Pirassununga -Retrabalhado	6 e 7	Ravinas e sulcos	Terraceamento insuficiente
11	Serra Geral -Retrabalhado Piramboia -Residual	6 e 7	Ravinas e sulcos	Descontinuidade do terraceamento Pisoteio do gado
12	Pirambóia -Retrabalhado	5 a 7	Sulcos	Manejo inadequado Pisoteio do gado
13	Serra Geral -Retrabalhado -Residual Espesso	6	Ravinas e sulcos	Descontinuidade do terraceamento
14	Santa Rita -Retrabalhado	5	Voçoroca	Concentração de drenagem
15	Santa Rita -Retrabalhado	4 e 5	Voçoroca	Concentração de drenagem
16	Santa Rita -Retrabalhado	5 e 6	Ravinas e sulcos	Descontinuidade do terraceamento e Pisoteio do gado
17	Santa Rita -Retrabalhado	5	Ravinas e sulcos	Pisoteio do gado Concentração de drenagem

Para cada um dos terrenos em que foram encontrados processos erosivos visíveis no foto-mosaico com pixel de 1m x 1m, foi elaborado um conjunto de recortes das cartas temáticas e fotografias aéreas disponíveis, mostrando os valores dos atributos num entorno estendido (offset) para 1.000m além dos terrenos de ocorrência e foram feitos os comentários pertinentes.

4.2.1 Ocorrência nº 1.

Caracterizada por uma perda laminar e acentuada de solo, com formação de sulcos próximos à estrada vicinal.

A comparação das fotografias aéreas de IBC-GERCA(1971) e Base (2000) mostra que cresceu e foi consolidada a vegetação marginal ao corpo d'água, enquanto diminuiu a arborização junto à estrada. Também as obras de contenção de erosão foram intensificadas no período 1971-2000, na forma de terraceamento e bacias de contenção, como mostra a Figura 37.



Fonte: BASE, 2000

Figura 37: Fotografia aérea da região de ocorrência nº 1, evidenciando os processos erosivos e os instrumentos de controle da perda de solos..

O uso da terra, que em 1971 era predominado por pastagem, é atualmente feito por culturas de milho e cana-de-açúcar.

Os processos erosivos ocorrem em material retrabalhado originado da Formação Serra Geral, quando a declividade do terreno atinge valores superiores a 10%, em posição do relevo onde a forma da encosta é do tipo co-linear (LL), na classificação de Ruhe (1975). O potencial do terreno aos processos erosivos é da ordem de 6 unidades na classificação proposta por Pejon (1992), sendo considerado elevado para a bacia do Rio Bonito.

As inspeções de campo e análise das fotografias aéreas mostrou que as práticas de conservação do solo e prevenção de erosão são bastante empregadas na área e seu entorno, impedindo que ocorram processos de maior vulto. A Figura 38 mostra uma vista parcial da área, onde o terreno tem declividade superior a 10%, com os sulcos erosivos recobertos por vegetação abundante e em adiantado estado de cicatrização, decorrente da proteção imposta pelas ações observadas de redução do escoamento superficial.



Fonte: Autor

Figura 38: Cicatrizes dos processos erosivos ao longo da estrada, em trecho de maior declividade - Ocorrência nº 1.

Para que se tenha uma visão conjunta do comportamento dos diversos atributos do terreno da região de ocorrência de processos erosivos nº 1, foram colecionados na Figura 39 recortes dos foto-mosaicos de IBC-GERCA (1971) e Base (2000), na escala 1:10.000 e das cartas temáticas de Hipsometria, Declividade, Materiais Inconsolidados, Escoamento Superficial (TORRESAN et al., 2002), Uso da Terra (TOREZAN, 2000) e Potencial de Erosão (TORRESAN & LORANDI, 2001), na escala 1:50.000.



Fotografia aérea georeferenciada – esc 1:10:000. Base (2000)



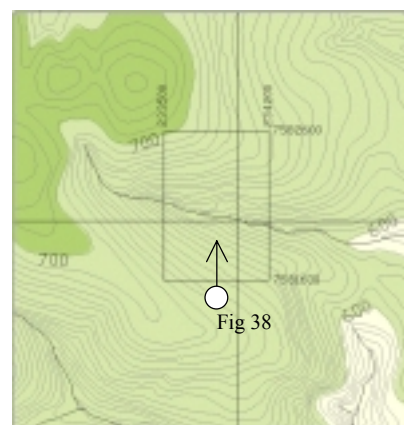
Fotografia aérea georeferenciada – esc 1:10:000. IBC-GERCA (1971)

Legenda

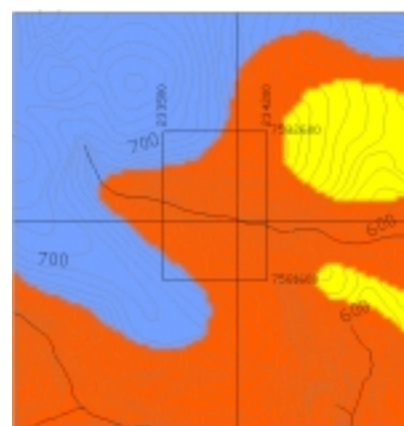
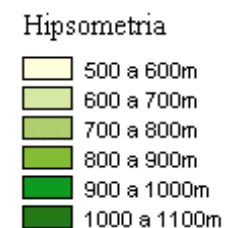
↑ Direção da fotografia

○ Local da câmera

Fig # Figura de referência no texto

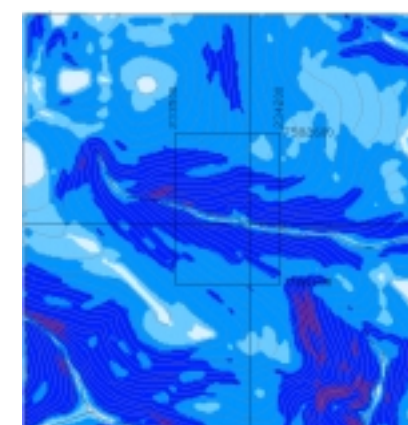


Fonte: Autor

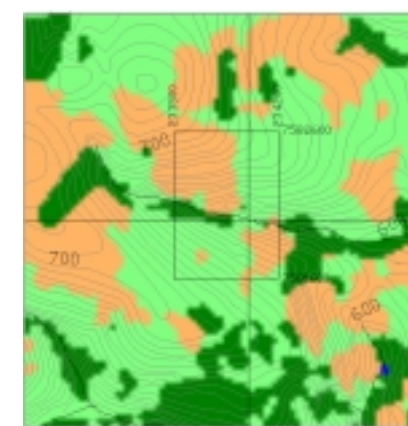
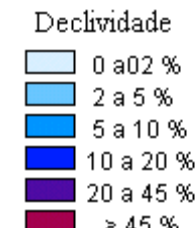


Fonte: Autor

- Materiais Inconsolidados**
- Quaternário
 - Formação Pirassununga - Solos re trabalhados
 - Formação Pirassununga - Solos residuais
 - Formação Santa Rita do Passa-Quatro - Solos re trabalhados
 - Formação Santa Rita do Passa-Quatro - Solos residuais
 - Formação Itaqueri
 - Formação Serra Geral - Solos residuais espessos
 - Formação Serra Geral - Solos residuais rasos
 - Formação Serra Geral - Solos re trabalhados
 - Formação Botucatu- Solos residuais rasos
 - Formação Botucatu- Solos residuais espessos
 - Formação Piramboia - Solos residuais
 - Formação Piramboia - Solos re trabalhados
 - Formação Corumbatai - Solos re trabalhados
 - Formação Corumbatai - Solos residuais

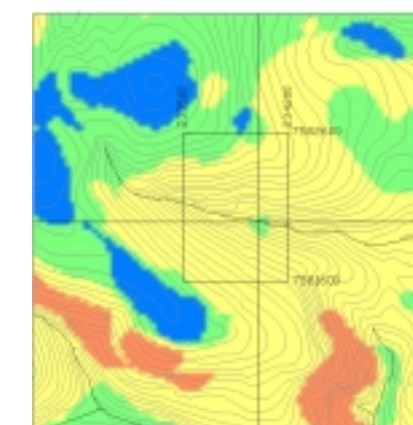


Fonte: Autor

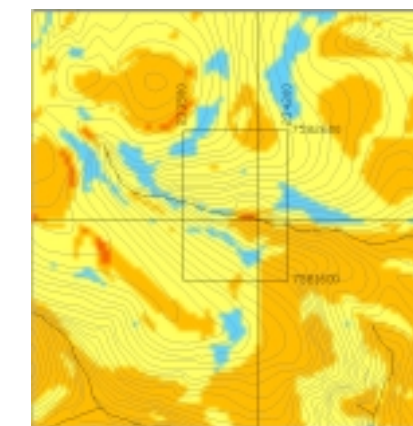


Fonte: Adaptado de Torezan, 2000

- Usos da Terra**
- Culturas e solos expostos
 - Pastagens
 - Vegetação arbórea-arbustiva
 - Corpos d'água
 - Áreas urbanas
 - Áreas de mineração



Fonte: Torresan et al., 2002



Fonte: Torresan & Lorandi, 2001



Cartas temáticas – esc 1:50.000.

4.2.2 Ocorrência nº 2.

Caracterizada por acentuada perda laminar de solo e ravinas, que crescem com o comprimento da encosta (Figura 40) e ocorrem em terreno muito próximo (mesma propriedade rural) da situação nº1.

A comparação das fotografias aéreas de IBC-GERCA (1971) e Base (2000) mostra que, da mesma forma que no caso anterior, cresceu e foi consolidada a vegetação marginal ao curso d'água, assim como a utilização intensa de práticas conservacionistas de solo.



Fonte: Base, 2000.

Figura 40: Perda de solo laminar e ravinas na ocorrência nº 2.

O uso da terra na porção com maior ocorrência erosiva parece ter sido mantida no período, com culturas de cana-de-açúcar. Mais recentemente, os terrenos de topo com menor inclinação e solos mais espessos têm sido utilizados para a cultura da laranja, que não provoca a exposição periódica do solo.

Os processos erosivos ocorrem em material retrabalhado originado da Formação Serra Geral, quando a declividade do terreno atinge valores superiores a 10%, em posição do relevo onde a forma da encosta é do tipo co-linear (LL), na classificação de Ruhe (1975) e onde o potencial de erosão é da ordem de 5 e 6, na classificação proposta por Pejon (1992), considerado elevado para a bacia do Rio Bonito.

A inspeção de campo e análise das fotografias aéreas mostrou que as práticas de conservação dos solos e prevenção de erosão são bastante empregadas na área e seu entorno, impedindo que ocorram processos de maior vulto e corrigindo os existentes. A Figura 41 mostra uma vista geral da área, ao fundo do conjunto de árvores, onde pode ser observada a forte utilização de mecanismos de redução do escoamento e conseqüente perda de solo.



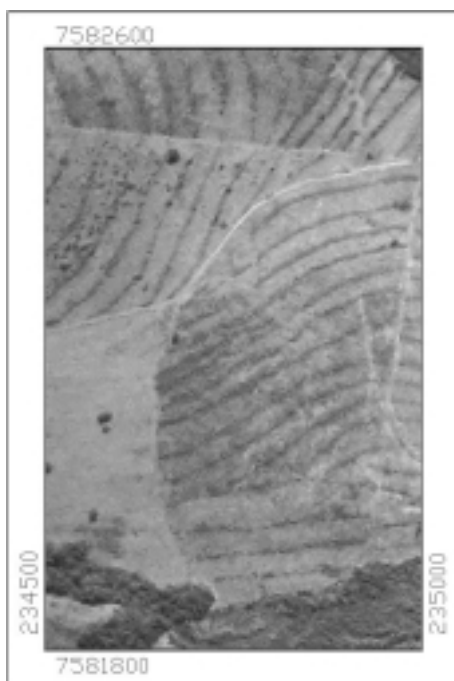
Fonte: Autor

Figura 41: Vista geral da área de ocorrência nº 2.

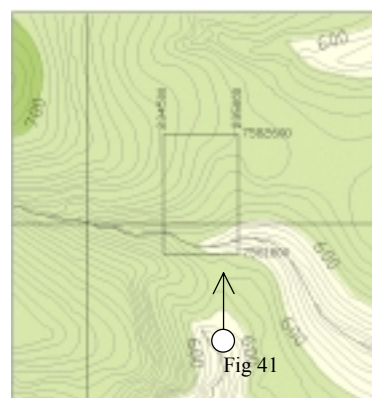
Para que se tenha uma visão conjunta do comportamento dos diversos atributos do terreno da região de ocorrência de processos erosivos nº 2, foram colecionados na Figura 42 recortes dos foto-mosaicos de IBC-GERCA (1971) e Base (2000), na escala 1:10.000 e das cartas temáticas de Hipsometria, Declividade, Materiais Inconsolidados, Escoamento Superficial (TORRESAN et al., 2002), Uso da Terra (TOREZAN, 2000) e Potencial de Erosão (TORRESAN & LORANDI, 2001), na escala 1:50.000.



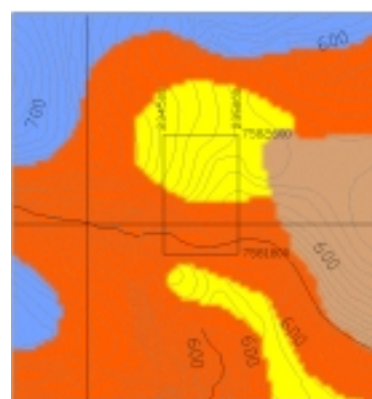
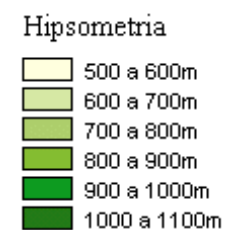
Fotografia aérea georeferenciada – esc 1:10:000. Base (2000)



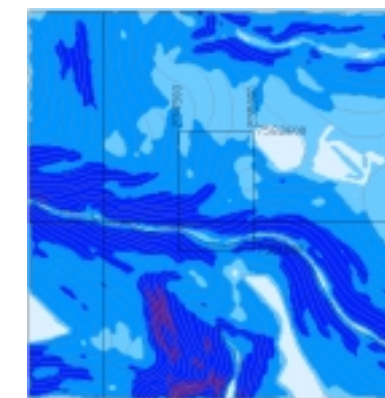
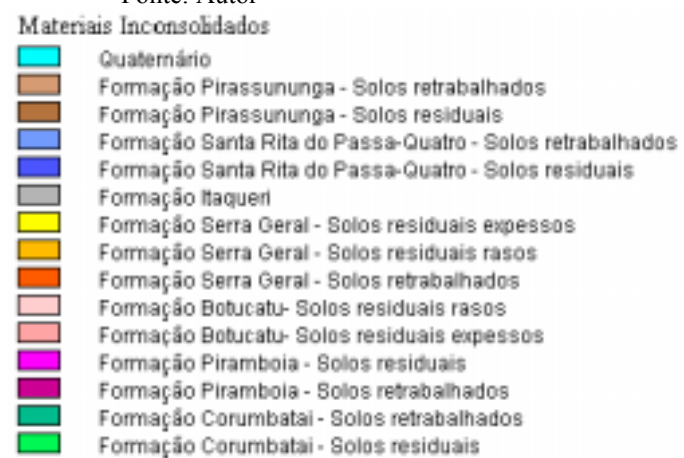
Fotografia aérea georeferenciada – esc 1:10:000. IBC-GERCA (1971)



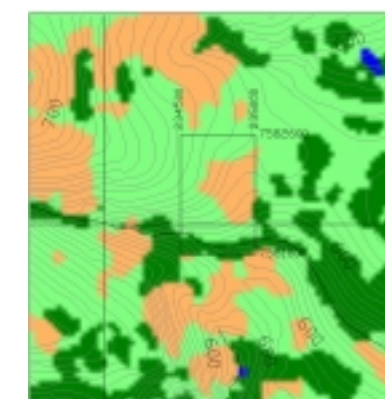
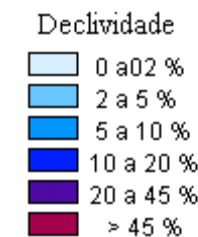
Fonte: Autor



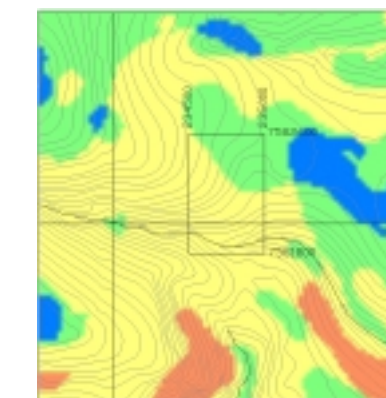
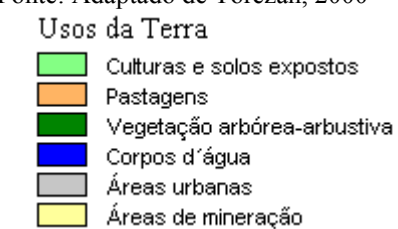
Fonte: Autor



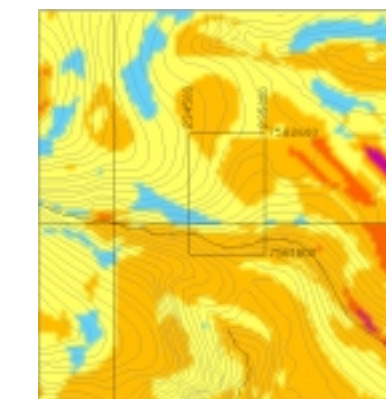
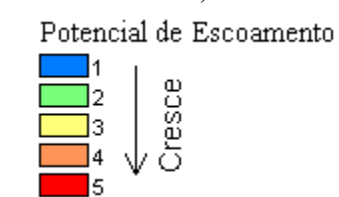
Fonte: Autor



Fonte: Adaptado de Torezan, 2000



Fonte: Torresan et al., 2002



Fonte: Torresan & Lorandi, 2001

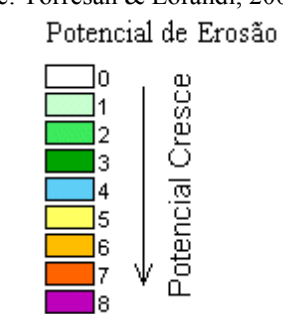


Figura 42: Ocorrência 02 – Recorte dos foto-mosaicos e cartas temáticas.

Cartas temáticas – esc 1:50.000.

4.2.3 Ocorrência nº 3.

Caracterizada por perda laminar de solo, formando canais no final da encosta, em terrenos com declividade entre 10 e 20%, de materiais retrabalhados originados da Formação Pirassununga, se estendendo por uma faixa de materiais residuais originados da Formação Corumbataí (Figura 43).



Fonte: Base, 2000.

Figura 43: Imagem aérea da ocorrência nº 3..

A comparação das fotografias aéreas de IBC-GERCA (1971) e Base (2000) mostra que o uso da terra por pastagens e cana-de-açúcar se manteve na área de ocorrência dos processos erosivos. Entretanto, foi grande a alteração no entorno, com grande perda da vegetação de maior porte.

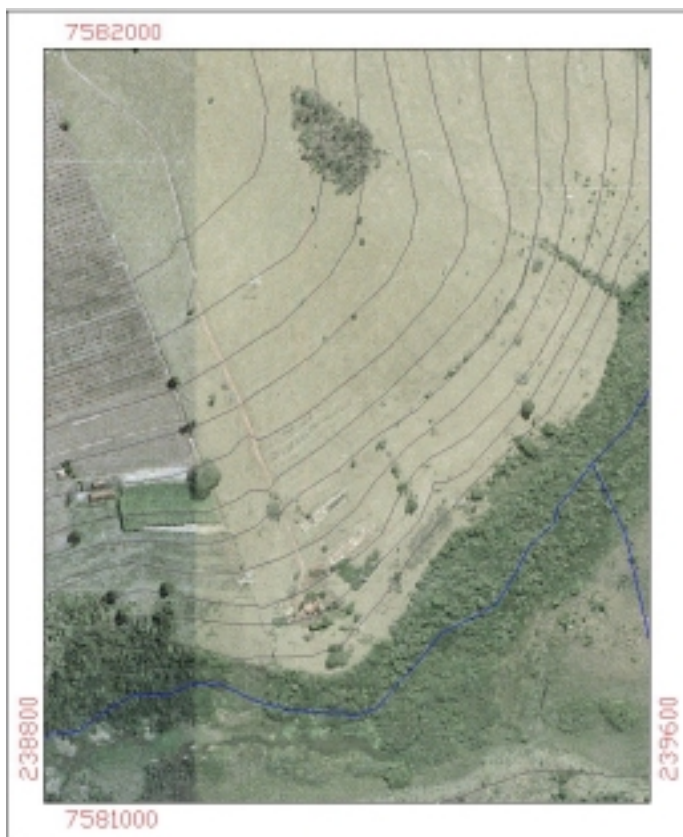
As práticas conservacionistas de solo são menos evidentes nas fotografias aéreas, mas é visível o crescimento e consolidação da vegetação marginal ao curso d'água, que se estende por todo o terreno plano, correspondente a planície de inundação do Rio Bonito.

O escoamento superficial é alto, em decorrência da baixa capacidade de infiltração dos solos do final da encosta (residuais da Formação Corumbataí), causando uma maior erosividade, num terreno onde o potencial a erosão pode ser considerado médio a alto entre os encontrados para a bacia do Rio Bonito como um todo, com valores de 5 e 6 na escala de Pejon (1992).

Parte do escoamento superficial nessa região, onde iniciam-se os sulcos erosivos, pode decorrer da manifestação de surgência decorrente da queda abrupta na permeabilidade dos materiais inconsolidados de um para outro tipo de material insoolidado encontrado.

Os terrenos à montante do processo erosivo, ainda sob a influência de um menor comprimento de encosta, em posição do relevo onde a forma da encosta é do tipo convexo-linear (VL), na classificação de Ruhe (1975), possuem maior potencial a erosão, com valores de 6 e 7 na escala de Pejon (1992), menor potencial de escoamento superficial e maior capacidade de infiltração, decorrente da alta permeabilidade dos materiais arenosos encontrados.

Para que se tenha uma visão conjunta do comportamento dos diversos atributos do terreno da região de ocorrência de processos erosivos nº 3, foram colecionados na Figura 44 recortes dos foto-mosaicos de IBC-GERCA (1971) e Base (2000), na escala 1:10.000 e das cartas temáticas de Hipsometria, Declividade, Materiais Insoolidados, Escoamento Superficial (TORRESAN et al., 2002), Uso da Terra (TOREZAN, 2000) e Potencial de Erosão (TORRESAN & LORANDI, 2001), na escala 1:50.000.



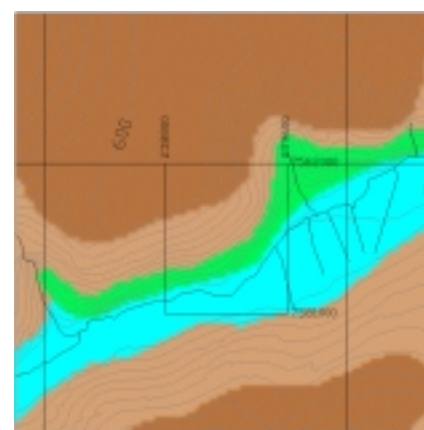
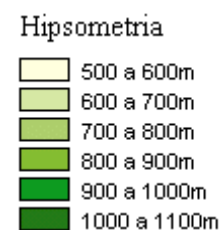
Fotografia aérea georeferenciada – esc 1:10:000. Base (2000)



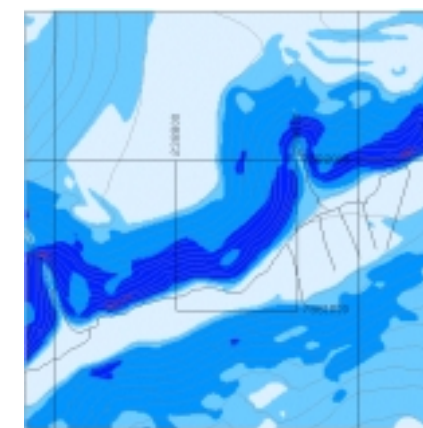
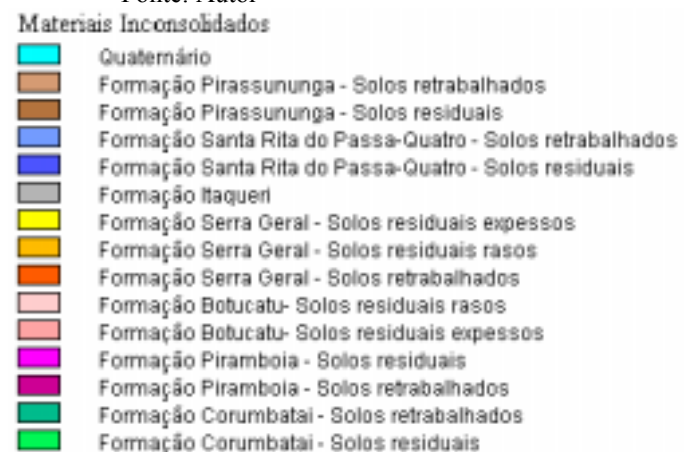
Fotografia aérea georeferenciada – esc 1:10:000. IBC-GERCA (1971)



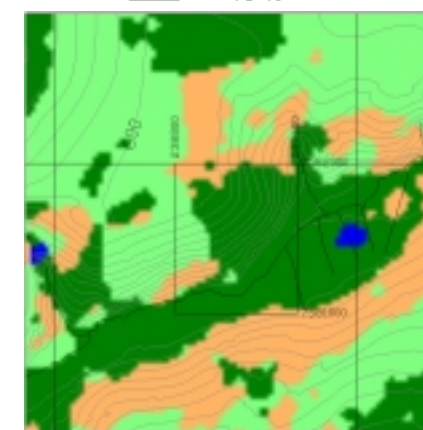
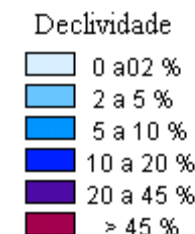
Fonte: Autor



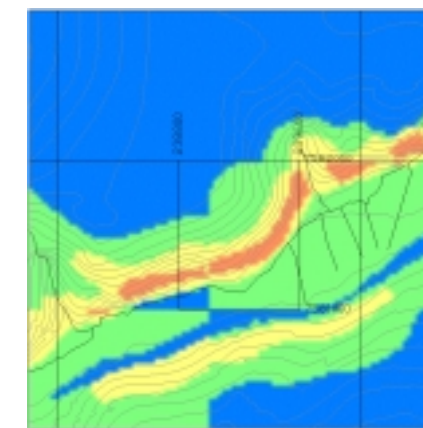
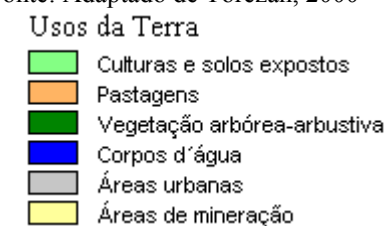
Fonte: Autor



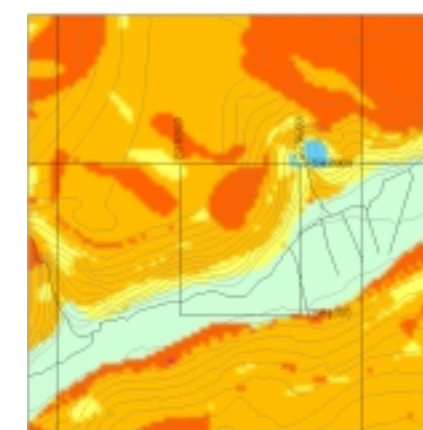
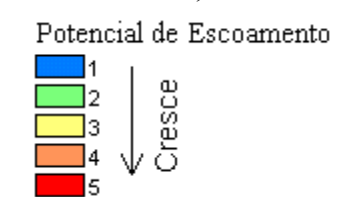
Fonte: Autor



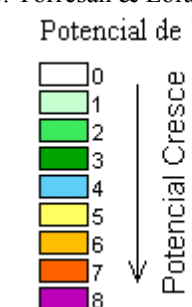
Fonte: Adaptado de Torezan, 2000



Fonte: Torresan et al., 2002



Fonte: Torresan & Lorandi, 2001



Cartas temáticas – esc 1:50.000.

4.2.4 Ocorrência nº 4.

Analogamente ao que acontece na ocorrência nº 3, aparecem nesta área evidências de perda laminar de solo e início de sulcos erosivos na medida que aumenta o comprimento da encosta.

Os processos são originados em materiais residuais originados da Formação Pirassununga, com declividades entre 5 e 10%, em posição do relevo onde a forma da encosta é do tipo convexo-côncavo (VC), na classificação de Ruhe (1975), e se desenvolvem com maior perda de solo a jusante, encosta abaixo, quando atinge declividades entre 10 e 20% em materiais residuais originados da Formação Corumbataí.

A fotografia aérea de Base (2000), Figura 45, mostra que a vegetação marginal ao corpo d'água (Rio Bonito) é preservada na planície de inundação, mas não protege adequadamente as encostas do terreno. Não foi disponível a fotografia aérea de data anterior, para que se fizesse uma avaliação temporal do uso da terra.



Fonte: Base, 2000.

Figura 45: Vista aérea da região de ocorrência nº4

Em inspeção de campo e análise das fotografias aéreas foi verificado que são fortes os cuidados com práticas de conservação do solo na área plantada de cana-de-açúcar, e menos evidentes nas áreas de pastagem e às margens do curso d'água, que recebe grande quantidade de sedimentos

A Figura 46 mostra ao fundo um local em que a perda de solo aconteceu de forma mais acentuada e que está em processo de cicatrização em decorrência do terraceamento empregado.



Fonte: Autor

Figura 46: Exemplo de ravinas verificadas na ocorrência nº 4.

Do ponto de vista da erodibilidade, os terrenos são bastante suscetíveis, com índice variando entre 5 e 7 na classificação proposta por Pejon (1992). O escoamento superficial, entretanto, é baixo na área, diminuindo as condições de erosividade.

Para que se tenha uma visão conjunta do comportamento dos diversos atributos do terreno da região de ocorrência de processos erosivos nº 4, foram colecionados na Figura 47 recortes dos foto-mosaicos de IBC-GERCA (1971) e Base (2000), na escala 1:10.000 e das cartas temáticas de Hipsometria, Declividade, Materiais Inconsolidados, Escoamento Superficial (TORRESAN et al., 2002), Uso da Terra (TOREZAN, 2000) e Potencial de Erosão (TORRESAN & LORANDI, 2001), na escala 1:50.000.

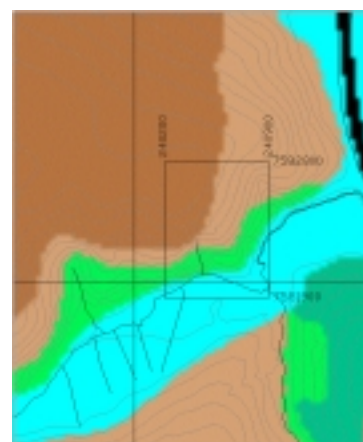
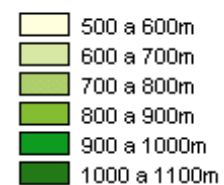


Fotografia aérea georreferenciada – esc 1:10:000. Base (2000)



Fonte: Autor

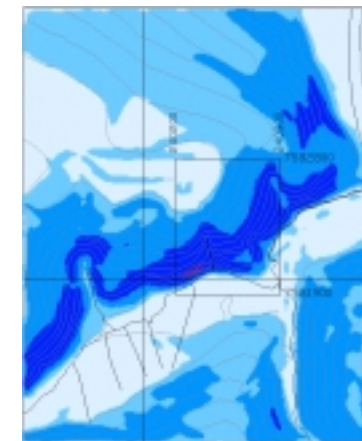
Hipsometria



Fonte: Autor

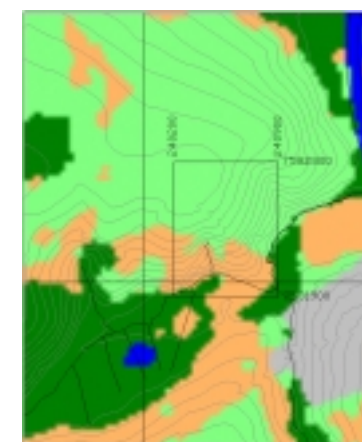
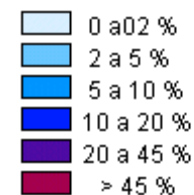
Materiais Inconsolidados

- Quaternário
- Formação Pirassununga - Solos re trabalhados
- Formação Pirassununga - Solos residuais
- Formação Santa Rita do Passa-Quatro - Solos re trabalhados
- Formação Santa Rita do Passa-Quatro - Solos residuais
- Formação Itaqueri
- Formação Serra Geral - Solos residuais espessos
- Formação Serra Geral - Solos residuais rasos
- Formação Serra Geral - Solos re trabalhados
- Formação Botucatu- Solos residuais rasos
- Formação Botucatu- Solos residuais espessos
- Formação Pirambóia - Solos residuais
- Formação Pirambóia - Solos re trabalhados
- Formação Corumbatai - Solos re trabalhados
- Formação Corumbatai - Solos residuais



Fonte: Autor

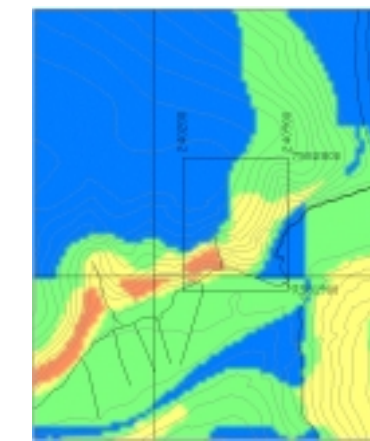
Declividade



Fonte: Adaptado de Torezan, 2000

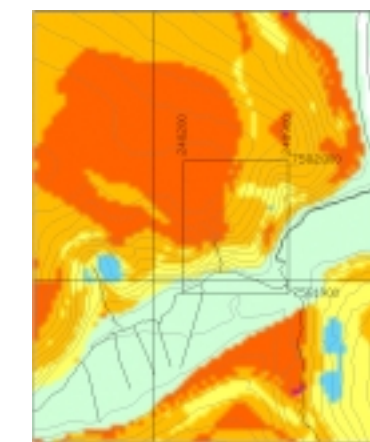
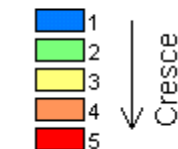
Usos da Terra

- Culturas e solos expostos
- Pastagens
- Vegetação arbórea-arbustiva
- Corpos d'água
- Áreas urbanas
- Áreas de mineração



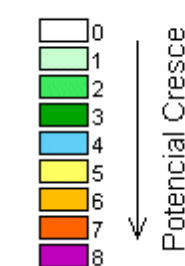
Fonte: Torresan et al., 2002

Potencial de Escoamento



Fonte: Torresan & Lorandi, 2001

Potencial de Erosão



Cartas temáticas – esc 1:50.000.

4.2.5 Ocorrência nº 5.

Caracterizada por uma voçoroca de grande proporção, este foi o maior evento, em atividade, encontrado na área de estudo (Figura 48).

A comparação das fotografias aéreas de IBC-GERCA (1971) e Base (2000) mostra que foi grande a modificação do uso da terra na área de entorno, com a substituição de pastagens por área plantada com cana-de-açúcar e diminuição da vegetação arbórea existente na forma de cerrado.

A intensificação do uso da terra por atividades de características urbanas decorre bastante da proximidade do terreno em relação a cidade.



Fonte: Base, 2000.

Figura 48: Vista aérea da região de ocorrência nº 5

Os processos erosivos ocorrem em material retrabalhado originado da Formação Santa Rita do Passa-Quatro, que são bastante profundos e de textura arenosa, em terrenos com declividade superior a 10% e em posição do relevo onde a forma da encosta é do tipo co-linear (LL), na classificação de Ruhe (1975).

O potencial de escoamento superficial das águas pluviais é baixo e a suscetibilidade a processos erosivos é média para a região de estudo, com índices de 4 e 5 na classificação proposta por Pejon (1992).

A inspeção de campo e análise das fotografias aéreas mostrou que as práticas de conservação de solo a montante da voçoroca são precárias e que os problemas ambientais, decorrentes do lançamento de resíduos sólidos urbanos na vala, são grandes, como mostram a Figura 49 e a Figura 50.



Fonte: Autor

Figura 49: Ocorrência nº 5 - lançamento de lixo urbano na vala de erosão.



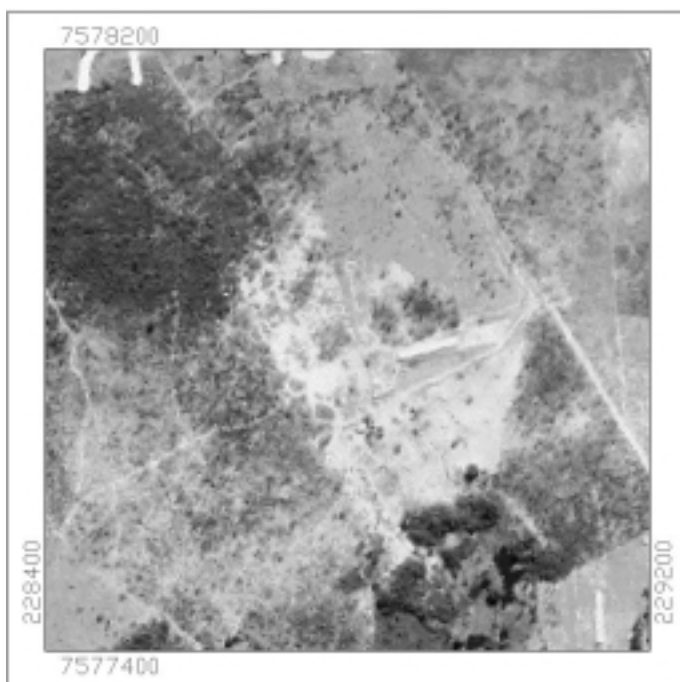
Fonte: Autor

Figura 50: Ocorrência nº 5 - vista para juzante, mostrando a voçoroca com o afloramento do lençol e a região de depósito de sedimentos, ao fundo.

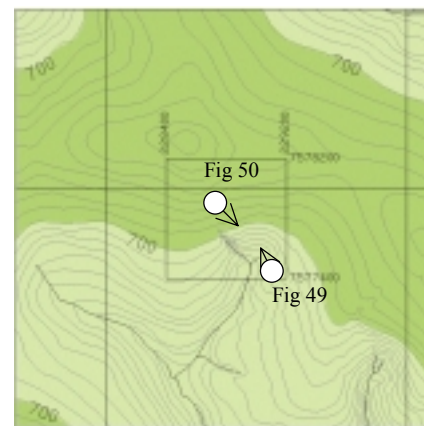
Para que se tenha uma visão conjunta do comportamento dos diversos atributos do terreno da região de ocorrência de processos erosivos nº 5, foram colecionados na Figura 51 recortes dos foto-mosaicos de IBC-GERCA (1971) e Base (2000), na escala 1:10.000 e das cartas temáticas de Hipsometria, Declividade, Materiais Inconsolidados, Escoamento Superficial (TORRESAN et al., 2002), Uso da Terra (TOREZAN, 2000) e Potencial de Erosão (TORRESAN & LORANDI, 2001), na escala 1:50.000.



Fotografia aérea georreferenciada – esc 1:10:000. Base (2000)

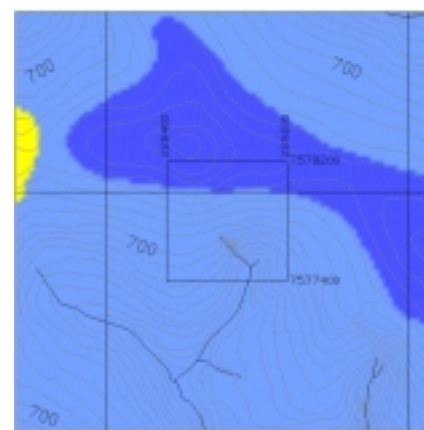


Fotografia aérea georreferenciada – esc 1:10:000. IBC-GERCA (1971)



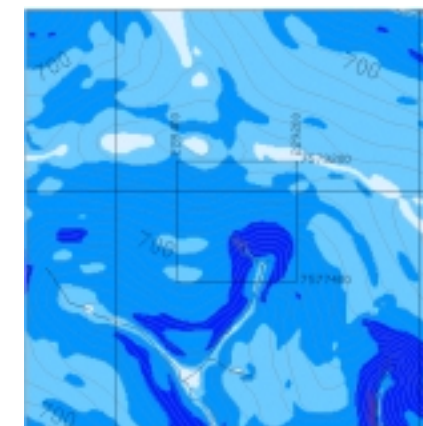
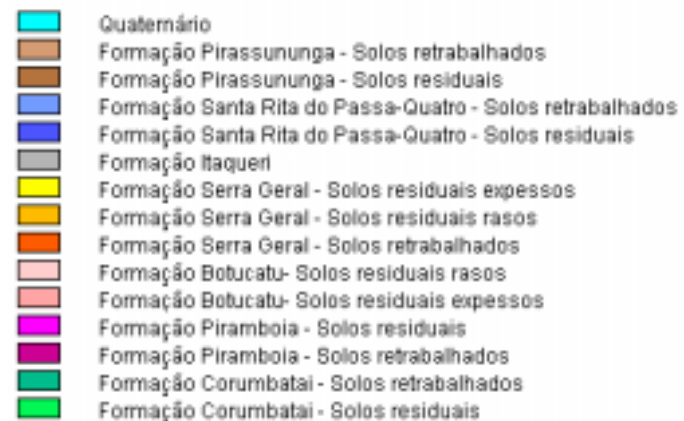
Fonte: Autor

Hipsometria



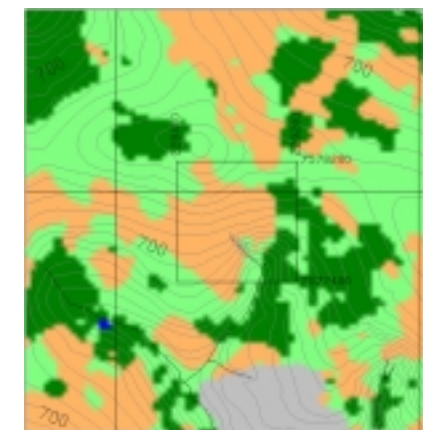
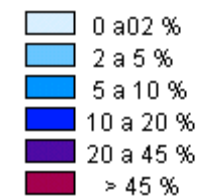
Fonte: Autor

Materiais Inconsolidados



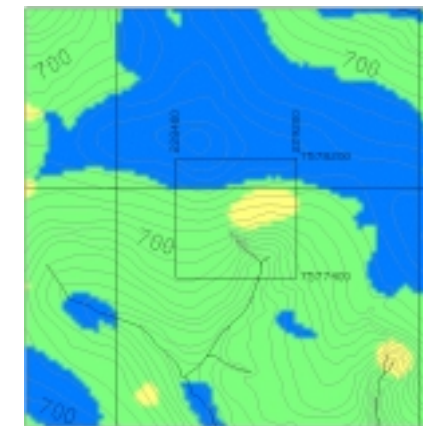
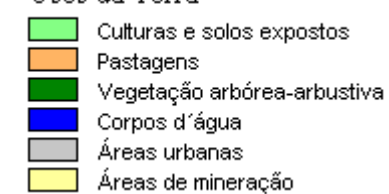
Fonte: Autor

Declividade



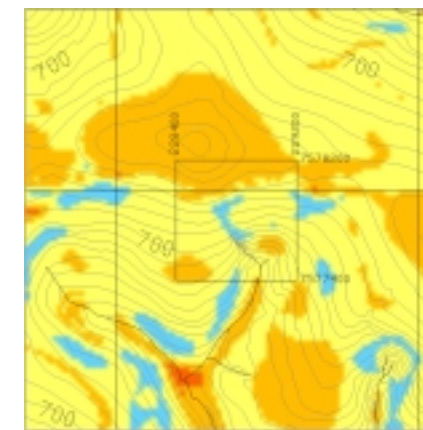
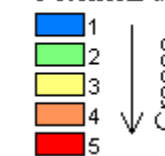
Fonte: Adaptado de Torezan, 2000

Usos da Terra



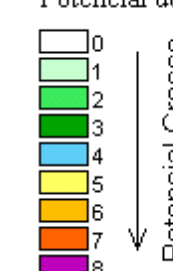
Fonte: Torresan et al., 2002

Potencial de Escoamento



Fonte: Torresan & Lorandi, 2001

Potencial de Erosão



Cartas temáticas – esc 1:50.000.

4.2.6 Ocorrência nº 6.

Uma série de processos erosivos acontecem neste trecho estudado, tanto na forma de ravinas como de sulcos, que geram grande quantidade de sedimentos para o curso d'água existente (Figura 52).



Figura 52: Vista aérea da ocorrência nº 6.

A comparação das fotografias aéreas de IBC-GERCA (1971) e Base (2000) mostra que houve grande perda da vegetação arbórea, principalmente na parte inferior das encostas, aumentando, somente em porte, aquela marginal ao corpo d'água.

O uso da terra, predominantemente de pastagens em 1971, passou a se constituir predominantemente da cultura de milho e cana, na porção superior às erosões e de sistemas urbanizados. Entretanto as parcelas de terreno onde houve maior manifestação erosiva ainda mantém pastagens.

As erosões ocorrem em materiais inconsolidados retrabalhados originados da Formação Santa Rita do Passa-Quatro, de textura arenosa e baixo potencial de escoamento das águas superficiais, quando a inclinação terreno é superior a 10% e em posição do relevo onde a forma da encosta é do tipo convexo-convexo (VV), na classificação de Ruhe (1975).. As ocorrências aparecem onde o potencial de erosão é médio para a região de estudo, com índices de 4 e 5 na classificação proposta por Pejon (1992).

A inspeção de campo e análise das fotografias aéreas mostrou que há cuidados insuficientes para conservação do solo e proteção contra os eventos erosivos, com grande depósito de sedimentos junto ao corpo d'água.

A proximidade da área urbana também implica em grande fragmentação da paisagem e a diversidade de usos não foi acompanhada de prática de proteção do solo adequadas.

A Figura 53 mostra um exemplo da perda de solo nesse trecho estudado, onde há também deficiência de vegetação marginal ao corpo d'água.



Fonte: Autor

Figura 53: Ocorrência 6 - ravinas formadas na parcela inferior da encosta.

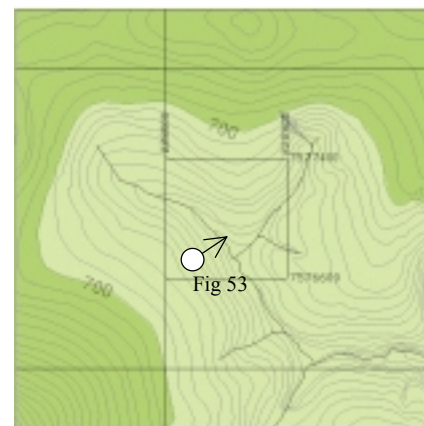
Para que se tenha uma visão conjunta do comportamento dos diversos atributos do terreno da região de ocorrência de processos erosivos nº 6, foram colecionados na Figura 54 recortes dos foto-mosaicos de IBC-GERCA (1971) e Base (2000), na escala 1:10.000 e das cartas temáticas de Hipsometria, Declividade, Materiais Inconsolidados, Escoamento Superficial (TORRESAN et al., 2002), Uso da Terra (TOREZAN, 2000) e Potencial de Erosão (TORRESAN & LORANDI, 2001), na escala 1:50.000.



Fotografia aérea georreferenciada – esc 1:10:000. Base (2000)

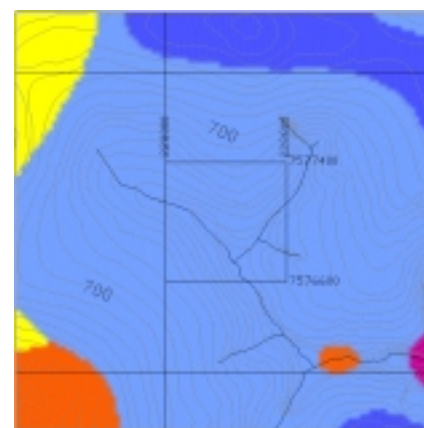


Fotografia aérea georreferenciada – esc 1:10:000. IBC-GERCA (1971)



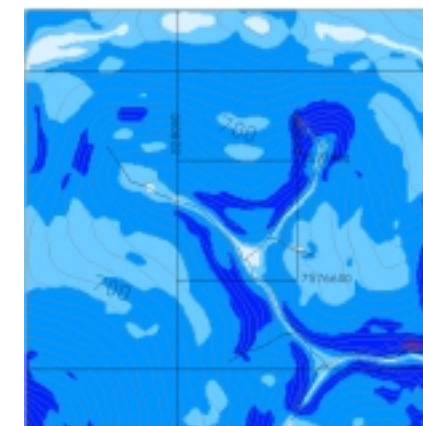
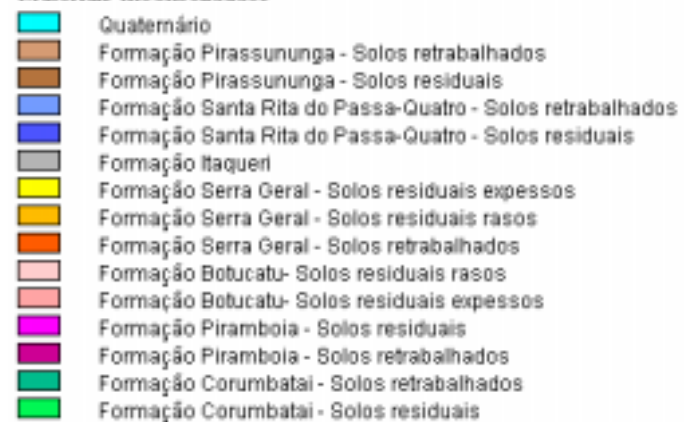
Fonte: Autor

Hipsometria



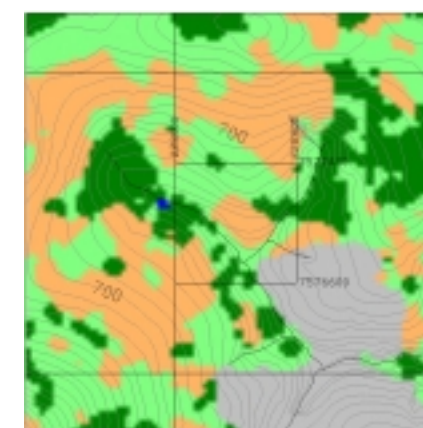
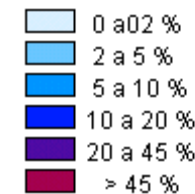
Fonte: Autor

Materiais Inconsolidados



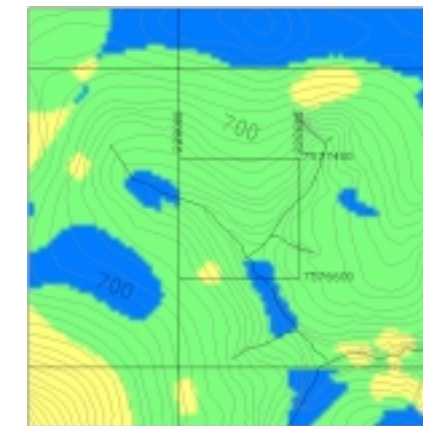
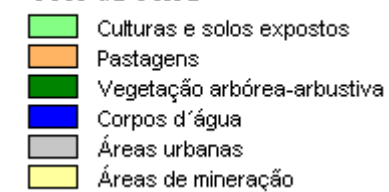
Fonte: Autor

Declividade



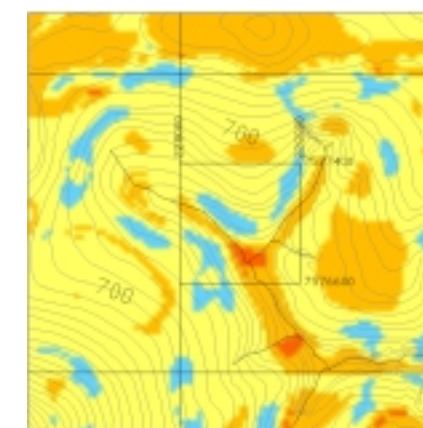
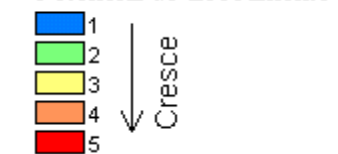
Fonte: Adaptado de Torezan, 2000

Usos da Terra



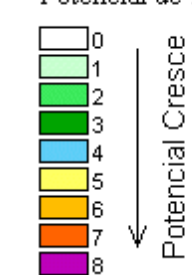
Fonte: Torresan et al., 2002

Potencial de Escoamento



Fonte: Torresan & Lorandi, 2001

Potencial de Erosão



Cartas temáticas – esc 1:50.000.

4.2.7 Ocorrência nº 7.

Perda de solo laminar acentuada, que cresce com o comprimento da encosta, como mostra a Figura 55.



Fonte: Base, 2000.

Figura 55: Vista aérea da ocorrência nº 7.

A comparação das fotografias aéreas de IBC-GERCA (1971) e Base (2000) mostra claramente que a área com maior ocorrência de perda de solo foi totalmente transformada de vegetação arbórea para pastagens, no período.

Os processos erosivos ocorreram em material inconsolidado retrabalhado originado da Formação Santa Rita do Passa-Quatro, profundos e com textura arenosa, em terrenos com declividade superior a 5% e em posição do relevo onde a forma da encosta é do tipo co-linear (LL) e linear-côncavo (LC), na classificação de Ruhe (1975).

A drenabilidade dos solos da região é bastante alta, com baixo escoamento superficial e a suscetibilidade aos processos erosivos é média para a região de estudo, com índices de 4 e 5 na classificação proposta por Pejon (1992).

A inspeção de campo e análise das fotografias aéreas mostrou que as práticas de conservação do solo e prevenção de erosão são bastante empregadas, porém insuficientes para contenção dos processos existentes, ampliados pelo pisoteio do solo, decorrente da atividade pecuária predominante, como mostra a Figura 56.



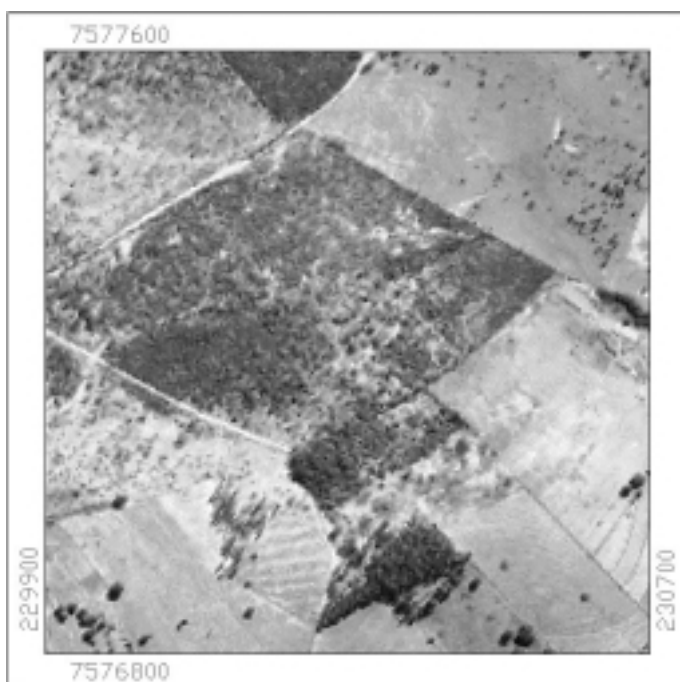
Fonte: Autor

Figura 56: Ocorrência nº 7 - Pisoteio do solo pelo gado reduz eficácia das práticas adotadas para contenção da erosão.

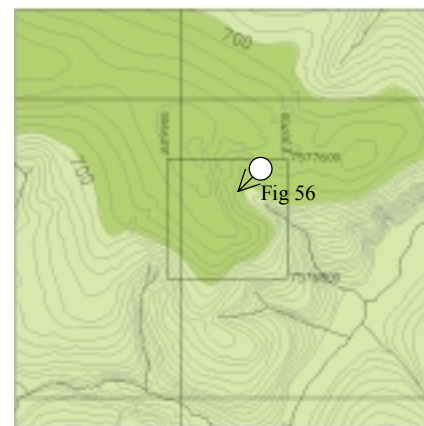
Para que se tenha uma visão conjunta do comportamento dos diversos atributos do terreno da região de ocorrência de processos erosivos nº 7, foram colecionados na Figura 57 recortes dos foto-mosaicos de IBC-GERCA (1971) e Base (2000), na escala 1:10.000 e das cartas temáticas de Hipsometria, Declividade, Materiais Inconsolidados, Escoamento Superficial (TORRESAN et al., 2002), Uso da Terra (TOREZAN, 2000) e Potencial de Erosão (TORRESAN & LORANDI, 2001), na escala 1:50.000.



Fotografia aérea georreferenciada – esc 1:10:000. Base (2000)

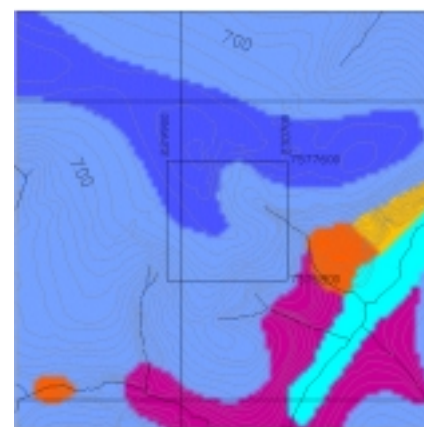


Fotografia aérea georreferenciada – esc 1:10:000. IBC-GERCA (1971)



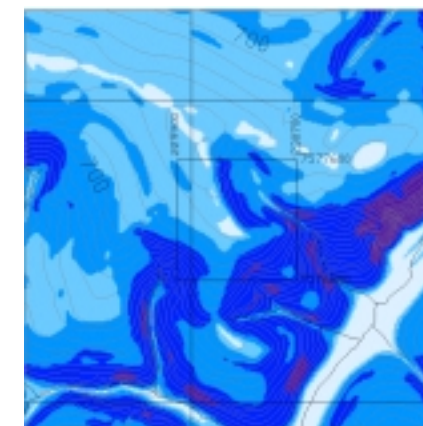
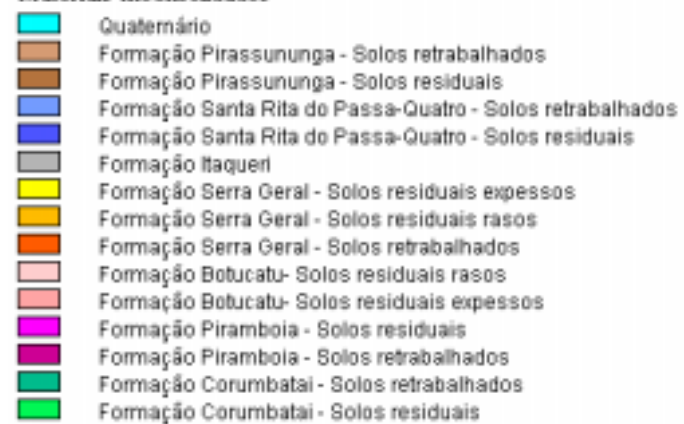
Fonte: Autor

Hipsometria



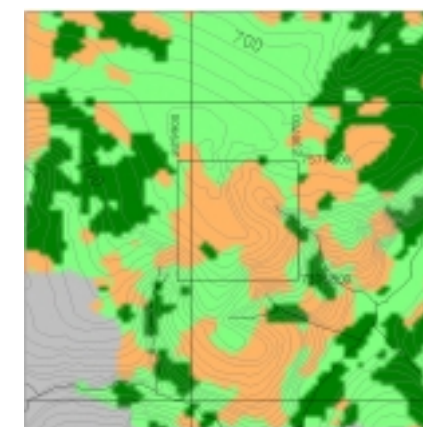
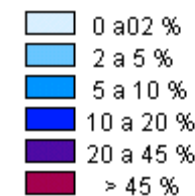
Fonte: Autor

Materiais Inconsolidados



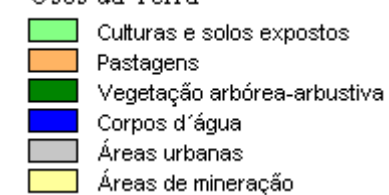
Fonte: Autor

Declividade

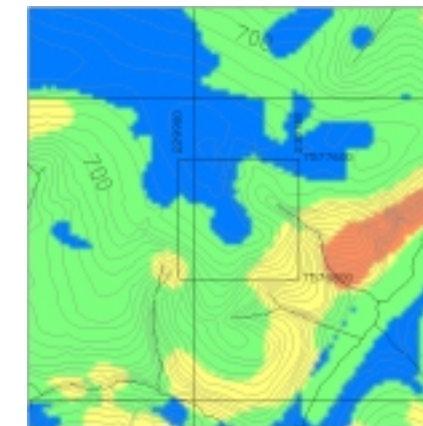


Fonte: Adaptado de Torezan, 2000

Usos da Terra

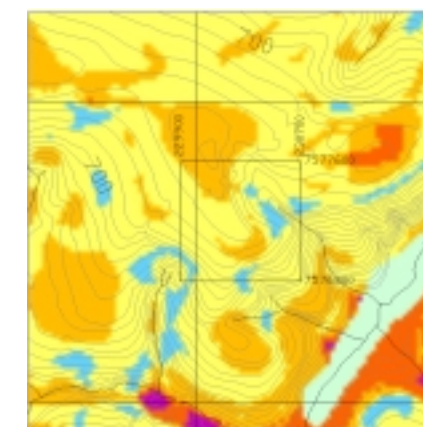
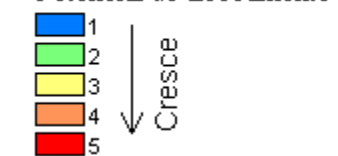


Cartas temáticas – esc 1:50.000.



Fonte: Torresan et al., 2002

Potencial de Escoamento



Fonte: Torresan & Lorandi, 2001

Potencial de Erosão



4.2.8 Ocorrência nº 8.

Caracterizada por perda de solo laminar acentuada com início de formação de sulcos na medida que o comprimento de encosta cresce, como é mostrado na Figura 58.



Fonte: Base, 2000.

Figura 58: Vista aérea da ocorrência nº 8

A comparação das fotografias aéreas de IBC-GERCA (1971) e Base (2000) mostra que o uso da terra foi alterado de pastagens para culturas de cana-de-açúcar e milho, na região.

Os processos erosivos ocorrem em material retrabalhado, originado da Formação Santa Rita do Passa-Quatro, profundos e com textura arenosa, em terrenos com declividade superior a 5%, em posição do relevo onde a forma da encosta é do tipo convexo-linear (VL), na classificação de Ruhe (1975).

A drenabilidade dos solos da região é bastante alta, com baixo escoamento superficial e a suscetibilidade aos processos erosivos é média a alta para a região de estudo, com índices de 5 e 6 na classificação proposta por Pejon (1992).

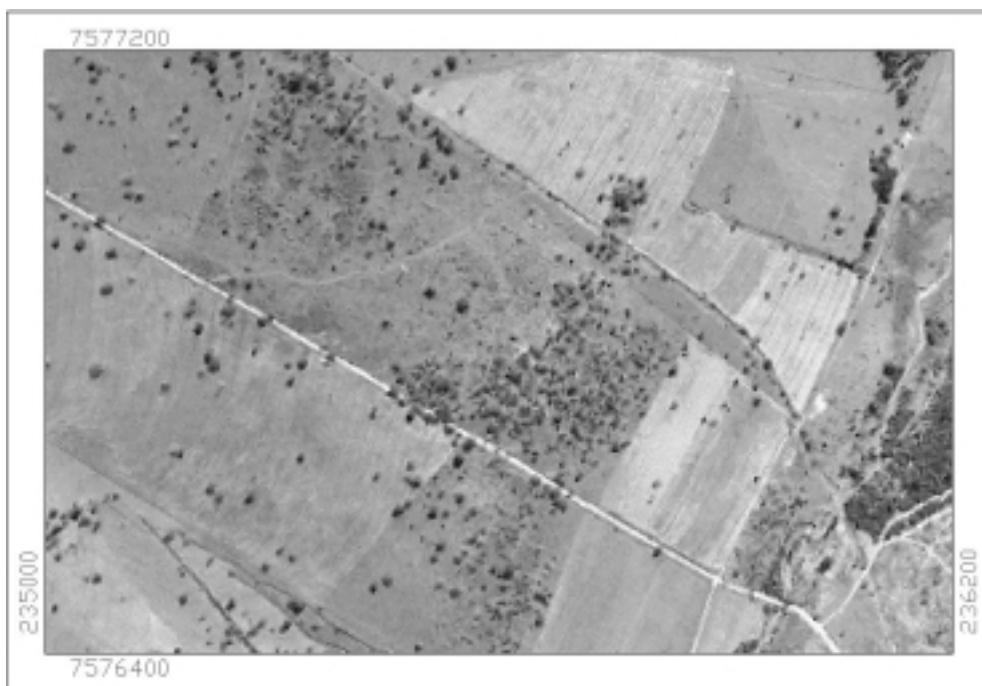
A inspeção de campo e análise das fotografias aéreas mostrou que as práticas de conservação do solo e prevenção da erosão são bastante empregadas na área. Resta observar que os processos visíveis na fotografia aérea de Base (2000), não foram mais

encontradas na inspeção de campo que aconteceu no período de chuvas do início do ano 2002.

Para que se tenha uma visão conjunta do comportamento dos diversos atributos do terreno da região de ocorrência de processos erosivos nº 8, foram colecionados na Figura 59 recortes dos foto-mosaicos de IBC-GERCA (1971) e Base (2000), na escala 1:10.000 e das cartas temáticas de Hipsometria, Declividade, Materiais Inconsolidados, Escoamento Superficial (TORRESAN et al., 2002), Uso da Terra (TOREZAN, 2000) e Potencial de Erosão (TORRESAN & LORANDI, 2001), na escala 1:50.000.



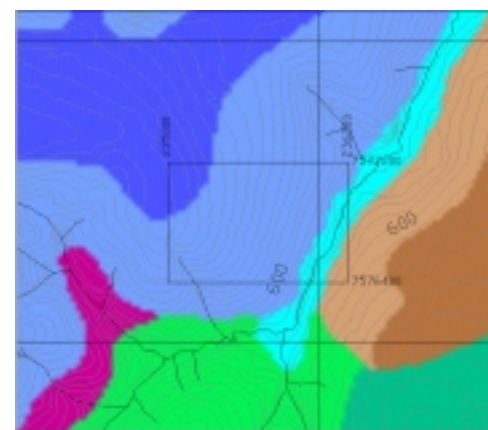
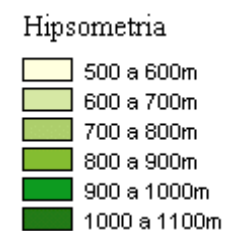
Fotografia aérea georreferenciada – esc 1:10:000. Base (2000)



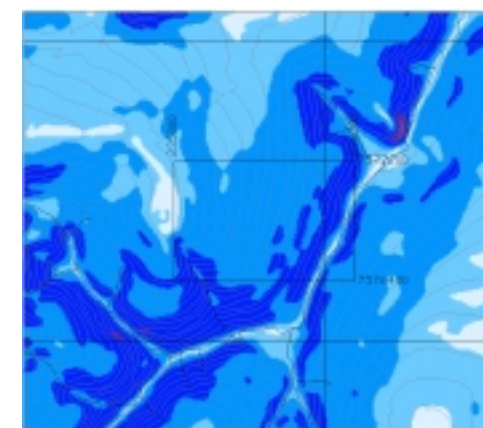
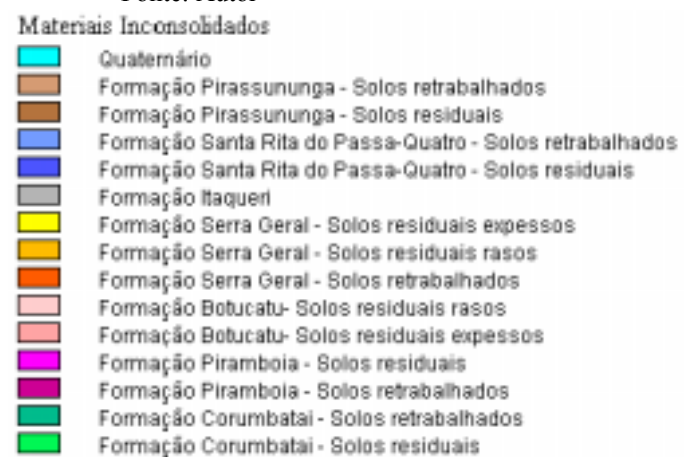
Fotografia aérea georreferenciada – esc 1:10:000. IBC-GERCA (1971)



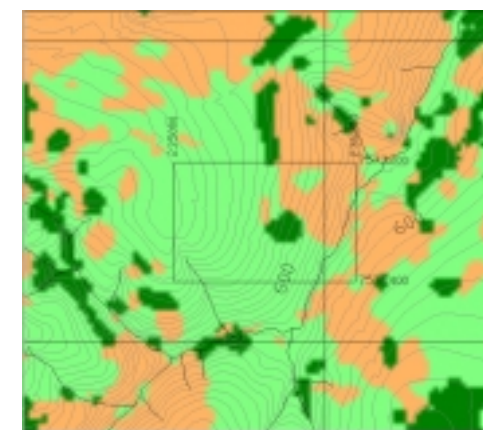
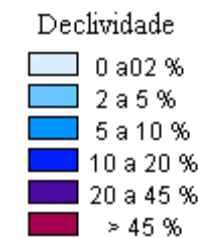
Fonte: Autor



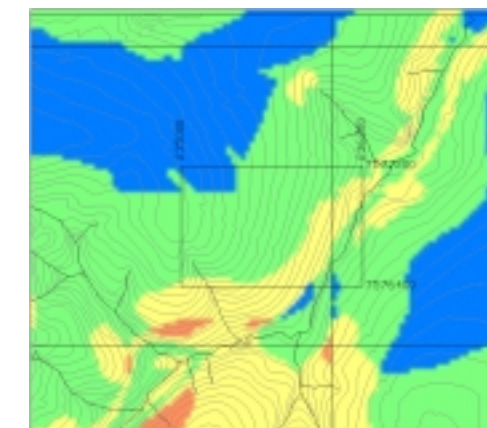
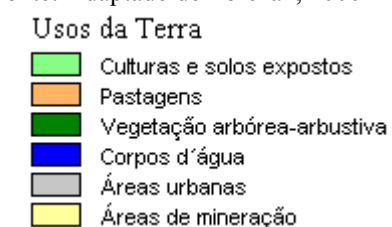
Fonte: Autor



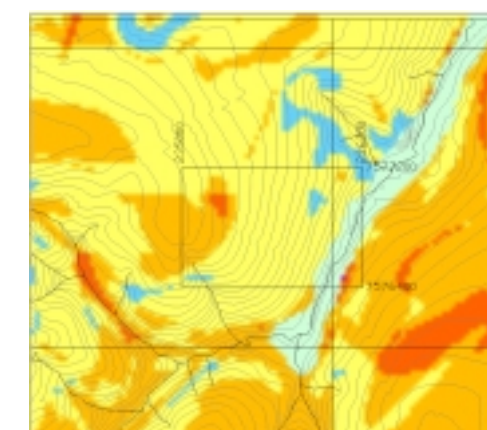
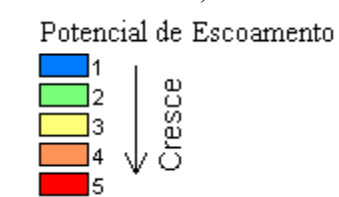
Fonte: Autor



Fonte: Adaptado de Torezan, 2000



Fonte: Torresan et al., 2002



Fonte: Torresan & Lorandi, 2001



Figura 59: Ocorrência 08 – Recorte dos foto-mosaicos e cartas temáticas.

Cartas temáticas – esc 1:50.000.

4.2.9 Ocorrência nº 9.

Caracterizado por perda de solo laminar acentuada, com formação de sulcos na medida que cresce o comprimento da encosta, como pode ser verificado na vista aérea da Figura 60.



Fonte: Base, 2000.

Figura 60: Ocorrência nº 9 - Perda de solo com formação de sulcos isolados e ravinas.

A comparação das fotografias aéreas de IBC-GERCA (1971) e Base (2000) mostra que o uso da terra foi alterado de pastagens e mata, para culturas de cana-de-açúcar e milho.

Os processo erosivos ocorrem em material inconsolidado retrabalhado, originado da Formação Pirassununga, espesso e de textura arenosa, com baixo potencial de escoamento superficial e elevado potencial à erosão, com índices de 5 e 6 na classificação proposta por Pejon (1992) e em posição do relevo onde a forma da encosta é do tipo convexo-côncavo (VC), na classificação de Ruhe (1975).

A inspeção de campo e análise das fotografias aéreas mostrou que tem havido forte mecanização da atividade agrícola e retirada da vegetação arbórea. Também é evidente o investimento em práticas conservacionistas de solo e de prevenção de erosão, que minimizam os eventos decorrentes da fragilidade dos materiais inconsolidados encontrados na área.

A declividade do terreno na região de ocorrência das erosões é da ordem de 5% a 10% e existe grande quantidade de sedimentos depositados na parte inferior da encosta.

A Figura 61 mostra a uma erosão em canal, acontecendo na região, onde pode ser verificada a baixa declividade do terreno natural.



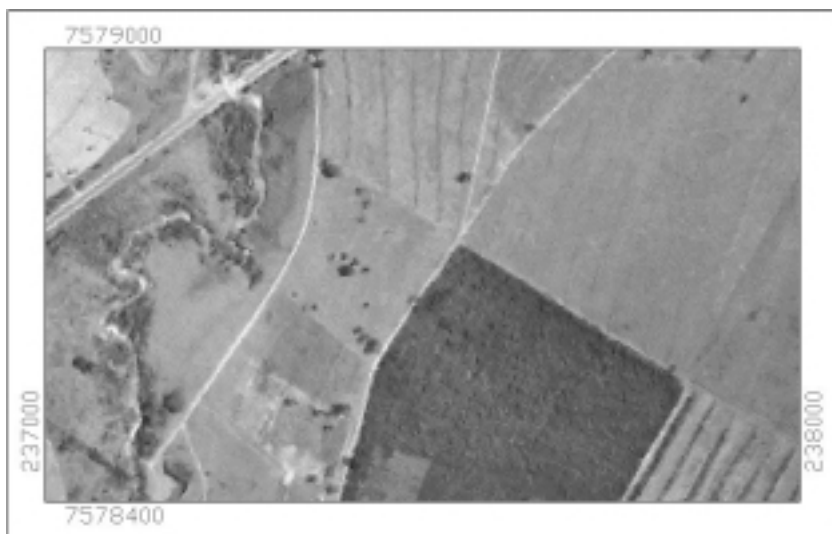
Fonte: Autor

Figura 61: Ocorrência 9 - Canal provocado pela perda acentuada de solo.

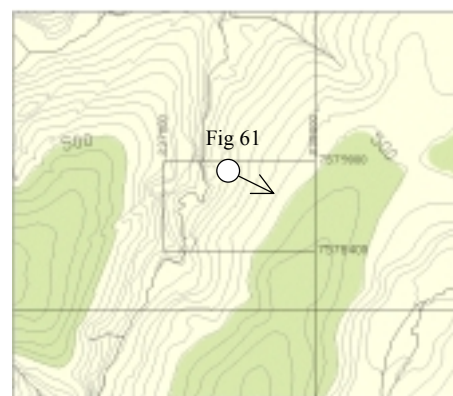
Para que se tenha uma visão conjunta do comportamento dos diversos atributos do terreno da região de ocorrência de processos erosivos nº 9, foram colecionados na Figura 62 recortes dos foto-mosaicos de IBC-GERCA (1971) e Base (2000), na escala 1:10.000 e das cartas temáticas de Hipsometria, Declividade, Materiais Inconsolidados, Escoamento Superficial (TORRESAN et al., 2002), Uso da Terra (TOREZAN, 2000) e Potencial de Erosão (TORRESAN & LORANDI, 2001), na escala 1:50.000.



Fotografia aérea georreferenciada – esc 1:10:000. Base (2000)

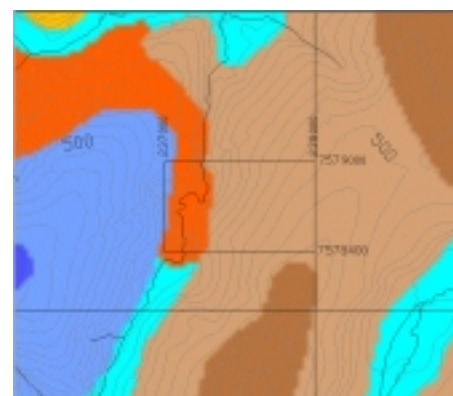
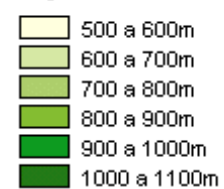


Fotografia aérea georreferenciada – esc 1:10:000. IBC-GERCA (1971)



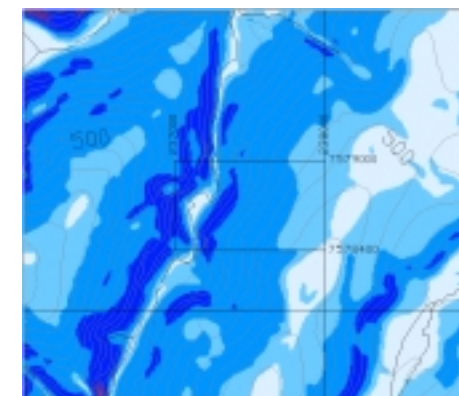
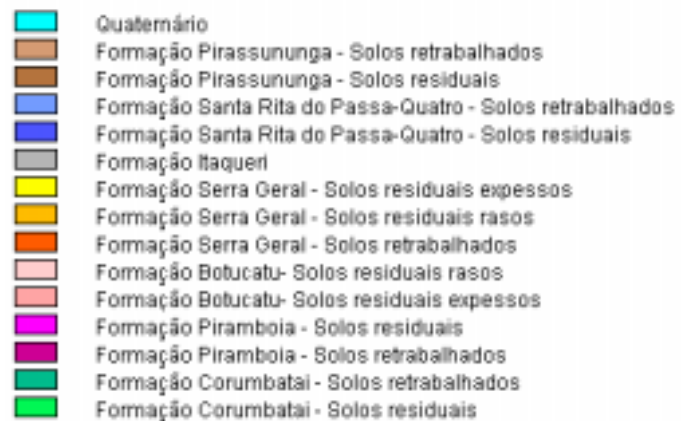
Fonte: Autor

Hipsometria



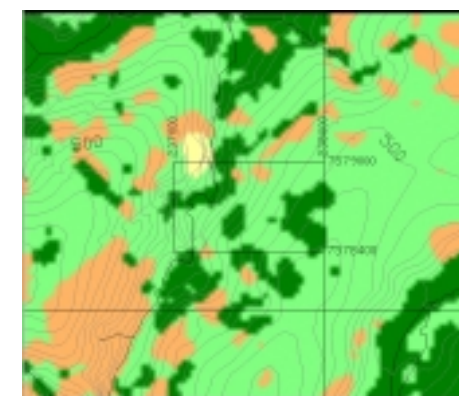
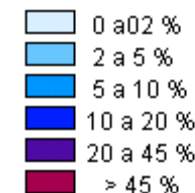
Fonte: Autor

Materiais Inconsolidados



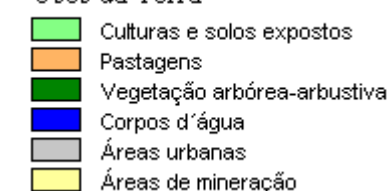
Fonte: Autor

Declividade

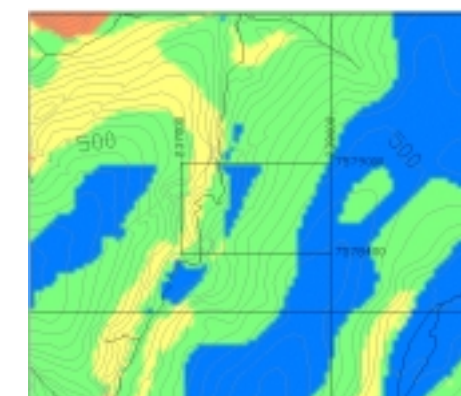


Fonte: Adaptado de Torezan, 2000

Usos da Terra

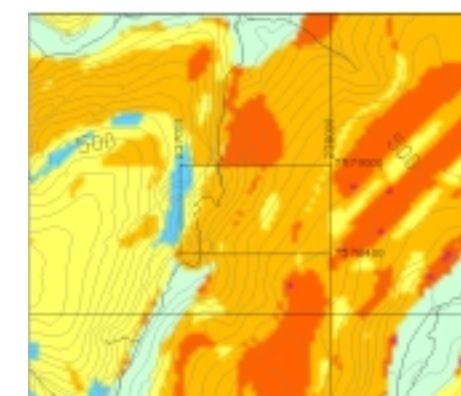


Cartas temáticas – esc 1:50.000.



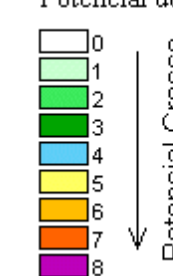
Fonte: Torresan et al., 2002

Potencial de Escoamento



Fonte: Torresan & Lorandi, 2001

Potencial de Erosão



4.2.10 Ocorrência nº 10.

Caracterizada por um intenso processo de perda laminar de solo, com formação de sulcos na parte inferior das encostas e no sistema viário das propriedades rurais (Figura 63).



Fonte: Autor

Figura 63: Ocorrência 10 - Sulco decorrente da concentração de água canalizada pelo sistema viário.

A comparação das fotografias aéreas de IBC-GERCA (1971) e Base (2000) mostra que o uso da terra foi pouco alterado no período, tendo entretanto crescido a área de vegetação arbórea, principalmente na vegetação marginal ao corpo d'água.

O uso da terra na porção com maior ocorrência erosiva parece ter sido mantido no período, com culturas de milho e cana-de-açúcar.

Os terrenos estão sobre materiais inconsolidados retrabalhados, originados da Formação Pirassununga, profundos e de textura arenosa, e os processos erosivos são mais evidentes quando a declividade atinge valores superiores a 5% e em posição do relevo onde a forma da encosta é do tipo co-linear (LL) e linear-côncavo (LC), na classificação de Ruhe (1975).

A grande permeabilidade dos solos garante um potencial de infiltração alto, porém qualquer concentração de drenagem é danosa em razão do altíssimo potencial erosivo do terreno, com índices de 6 e 7 na classificação proposta por Pejon (1992).

A inspeção de campo e análise das fotografias aéreas mostrou evidências de forte investimento em práticas conservacionistas de solo e de prevenção de erosão, que

minimizam os eventos decorrentes da fragilidade dos materiais inconsolidados encontrados na área.

A Figura 64 mostra a grande formação de sulcos erosivos decorrentes do estágio avançado de perda de solos, que é acompanhada por correspondente depósito de sedimentos arenosos na parte inferior das encostas e curso d'água.



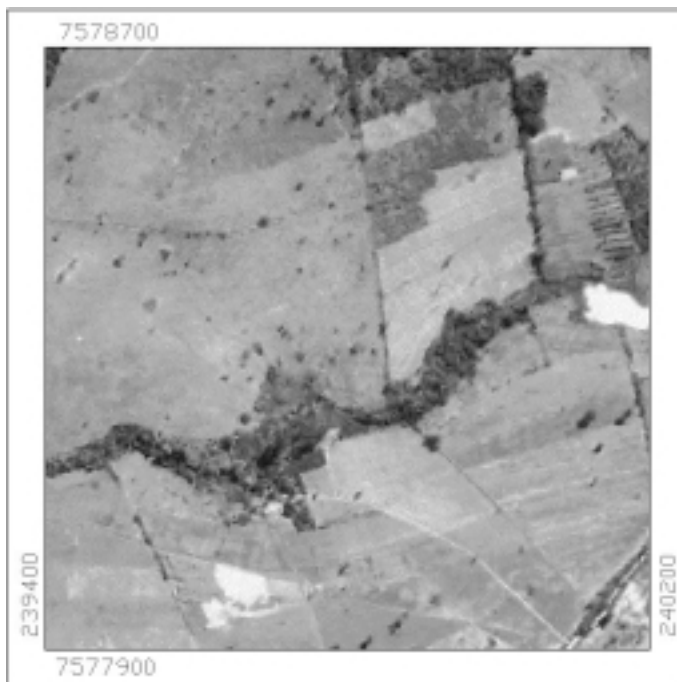
Fonte: Base, 2000.

Figura 64: Ocorrência nº 10 – Vista aérea da região de ocorrência nº 10 mostrando os sulcos decorrentes da concentração de drenagem

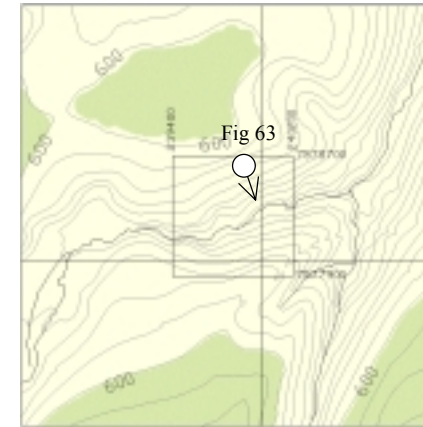
Para que se tenha uma visão conjunta do comportamento dos diversos atributos do terreno da região de ocorrência de processos erosivos nº 10, foram colecionados na Figura 65 recortes dos foto-mosaicos de IBC-GERCA (1971) e Base (2000), na escala 1:10.000 e das cartas temáticas de Hipsometria, Declividade, Materiais Inconsolidados, Escoamento Superficial (TORRESAN et al., 2002), Uso da Terra (TOREZAN, 2000) e Potencial de Erosão (TORRESAN & LORANDI, 2001), na escala 1:50.000.



Fotografia aérea georreferenciada – esc 1:10:000. Base (2000)

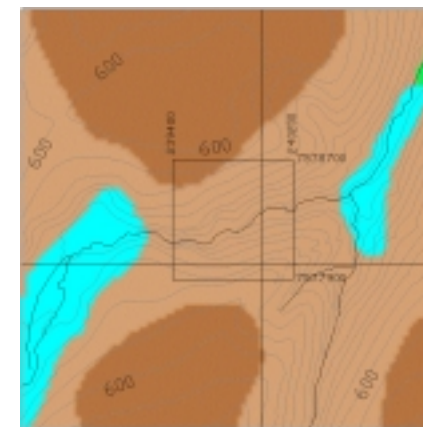
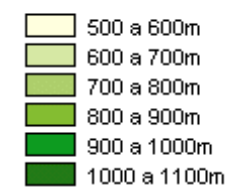


Fotografia aérea georreferenciada – esc 1:10:000. IBC-GERCA (1971)



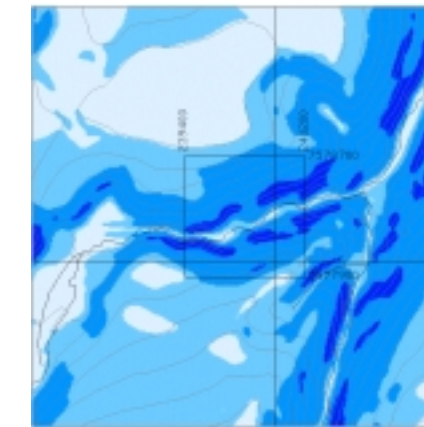
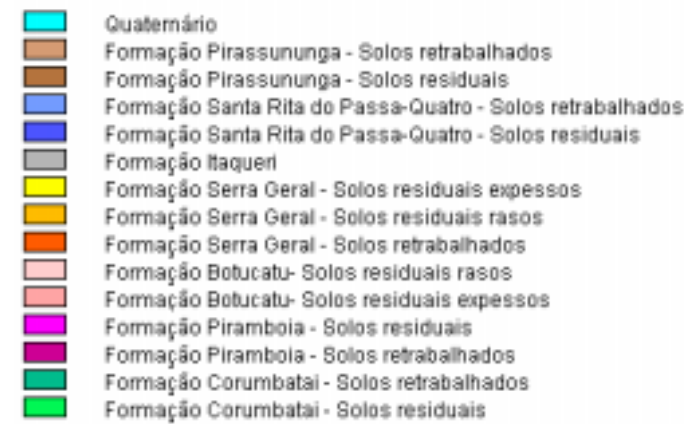
Fonte: Autor

Hipsometria



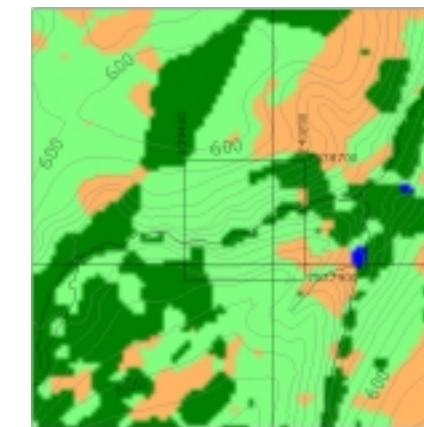
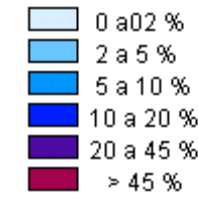
Fonte: Autor

Materiais Inconsolidados



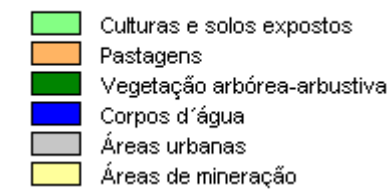
Fonte: Autor

Declividade

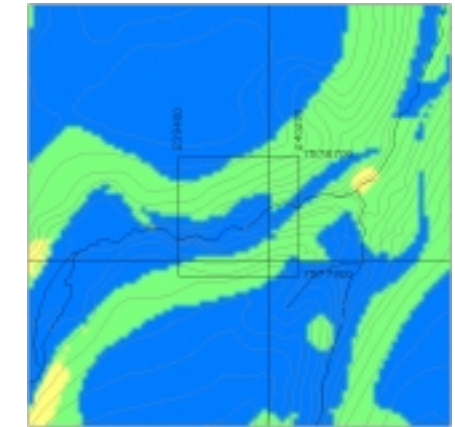


Fonte: Adaptado de Torezan, 2000

Usos da Terra

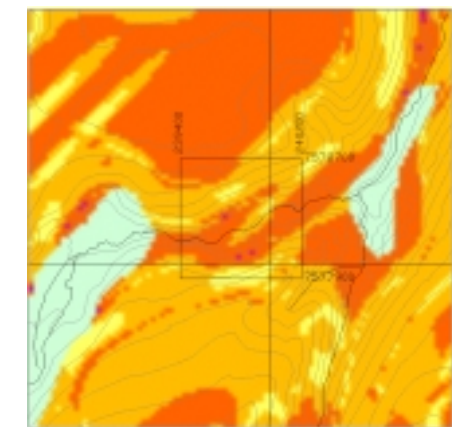
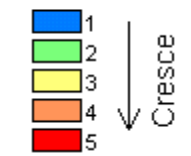


Cartas temáticas – esc 1:50.000.



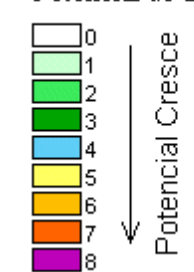
Fonte: Torresan et al., 2002

Potencial de Escoamento



Fonte: Torresan & Lorandi, 2001

Potencial de Erosão



4.2.11 Ocorrência nº 11.

Caracterizada por diversos processos localizados de perda laminar, pequenos sulcos e ravinas, ocorre em terreno com forte pressão da urbanização (Figura 66).



Fonte: Autor

Figura 66: Ocorrência nº 11 - Ravinas e sulcos decorrentes do acumulo de drenagem decorrentes do processo de urbanização.

A comparação das fotografias aéreas de IBC-GERCA (1971) e Base (2000) mostra que o uso da terra, predominantemente por pastagens, foi pouco alterado no período, tendo entretanto crescido a área de vegetação arbórea, principalmente na vegetação marginal ao corpo d'água. As inspeções de campo mostraram que a proximidade com o centro urbanizado faz com que diminuam os cuidados com práticas conservacionistas do solo e inibidoras dos processos de erosão e sedimentação.

Parte dos processos erosivos, com a predominância de ravinamento, ocorrem em materiais residuais originados da Formação Pirambóia, próximos ao contato com materiais retrabalhados originados da Formação Serra Geral, quando a inclinação do terreno é superior a 20% (Figura 67)

Também acontecem processos erosivos com perda de solo laminar acentuada e formação de sulcos em materiais inconsolidados retrabalhados originados da Formação Santa Rita do Passa-Quatro, próximos ao contato com materiais retrabalhados originados da Formação Serra Geral, quando a inclinação do terreno é superior a 10% (Figura 68), e em posição do relevo onde a forma da encosta é do tipo convexo-convexo (VV), na classificação de Ruhe (1975).

Em ambos os casos os terrenos têm potencial erosivo alto, com índices de 6 e 7 na classificação proposta por Pejon (1992) e alto potencial de escoamento superficial, decorrente da proximidade com os solos retrabalhados menos permeáveis originados da Formação Serra Geral.

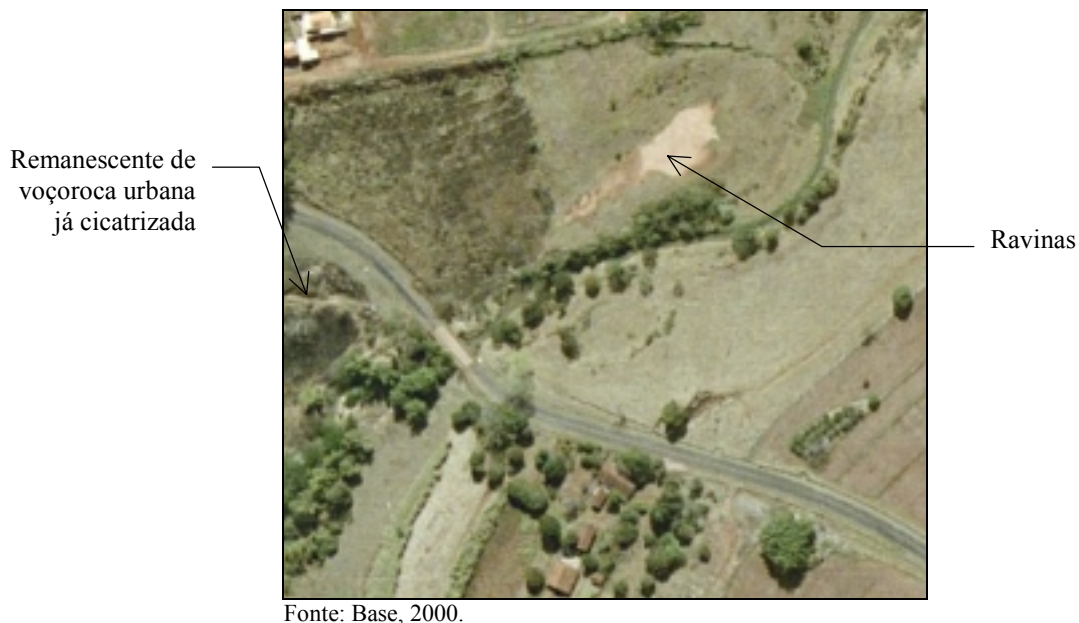


Figura 67: Ocorrência nº 11 - Ravinas provocadas pelo acúmulo de escoamento superficial em terreno de declividade alta

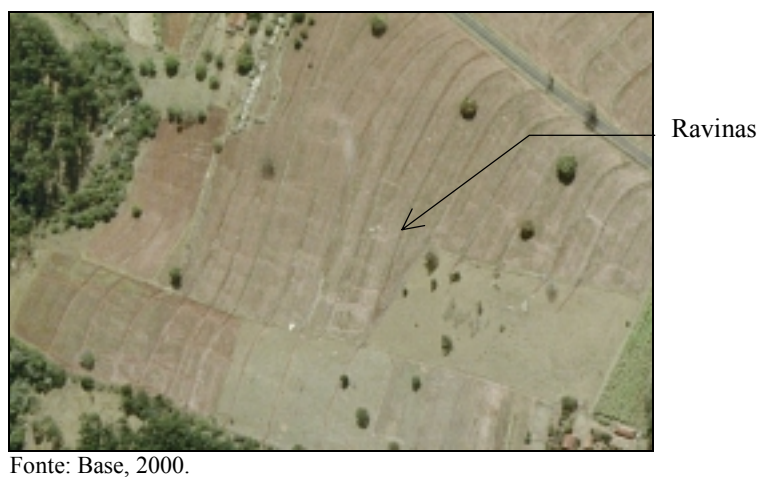


Figura 68: Ocorrência nº 11 - Perda laminar de solo e sulcos.

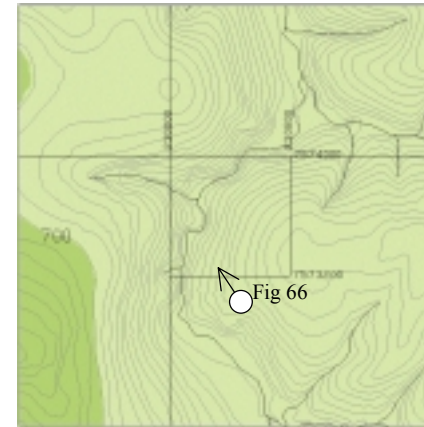
Para que se tenha uma visão conjunta do comportamento dos diversos atributos do terreno da região de ocorrência de processos erosivos nº 11, foram colecionados na Figura 69 recortes dos foto-mosaicos de IBC-GERCA (1971) e Base (2000), na escala 1:10.000 e das cartas temáticas de Hipsometria, Declividade, Materiais Inconsolidados, Escoamento Superficial (TORRESAN et al., 2002), Uso da Terra (TOREZAN, 2000) e Potencial de Erosão (TORRESAN & LORANDI, 2001), na escala 1:50.000.



Fotografia aérea georreferenciada – esc 1:10:000. Base (2000)

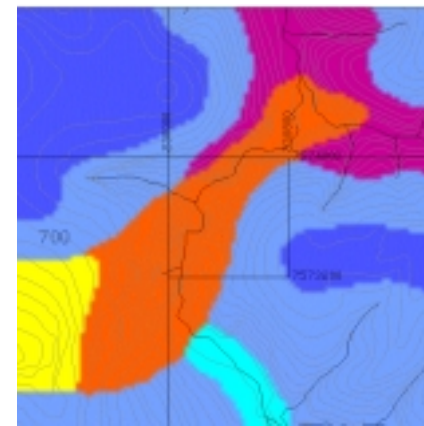
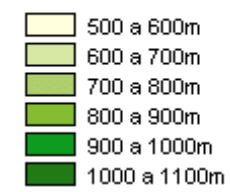


Fotografia aérea georreferenciada – esc 1:10:000. IBC-GERCA (1971)



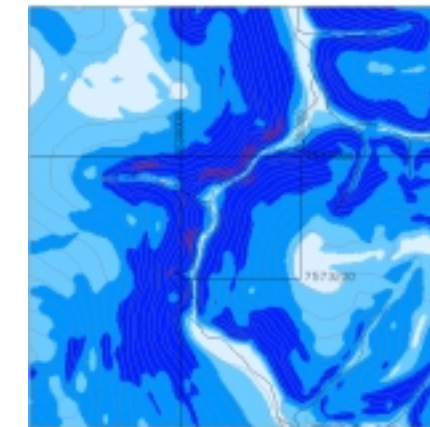
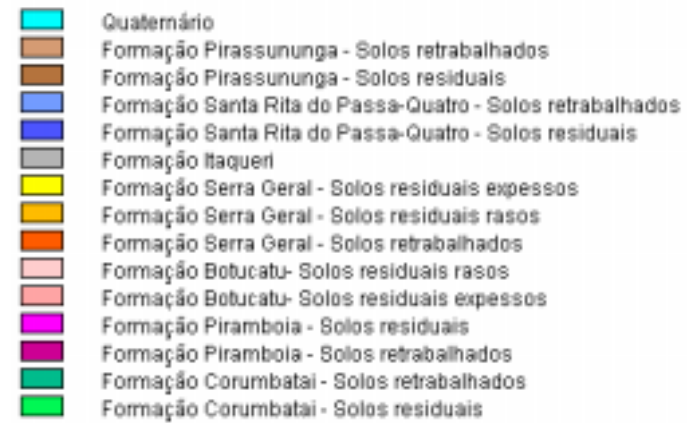
Fonte: Autor

Hipsometria



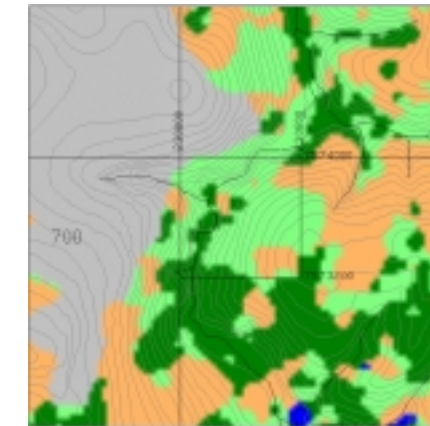
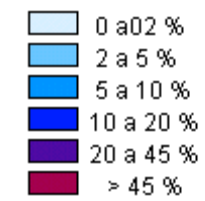
Fonte: Autor

Materiais Inconsolidados



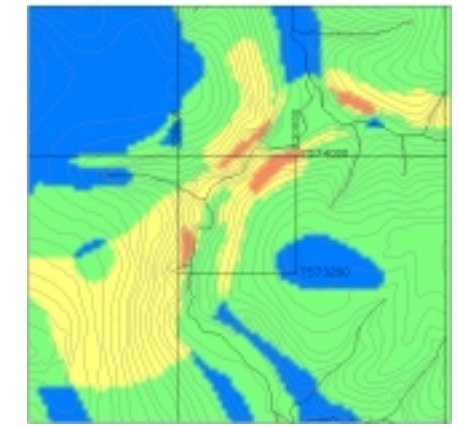
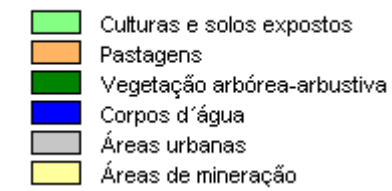
Fonte: Autor

Declividade



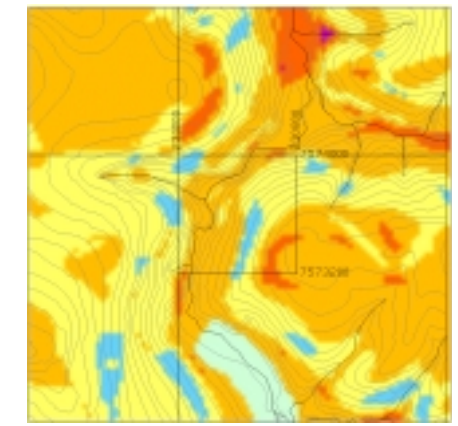
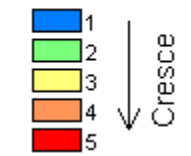
Fonte: Adaptado de Torezan, 2000

Usos da Terra



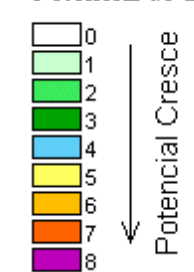
Fonte: Torresan et al., 2002

Potencial de Escoamento



Fonte: Torresan & Lorandi, 2001

Potencial de Erosão



Cartas temáticas – esc 1:50.000.

4.2.12 Ocorrência nº 12.

Caracterizada por grande perda laminar de solo e formação de sulcos, que aumentam com o comprimento da encosta.

A comparação das fotografias aéreas de IBC-GERCA (1971) e Base (2000) mostra que o uso da terra, predominantemente por pastagens, foi pouco alterado no período, tendo entretanto crescido a área de vegetação arbórea, principalmente na vegetação marginal aos corpos d'água.

Os processos erosivos encontrados são antigos, com evidências nas imagens de 1971, alguns dos quais já cicatrizados e incorporados à paisagem. Ocorrem em materiais inconsolidados retrabalhados, originados da Formação Pirambóia, de pequena espessura e textura arenosa. e em posição do relevo onde a forma da encosta é do tipo linear-convexa (LV), na classificação de Ruhe (1975).

O potencial de escoamento superficial é médio, em decorrência da declividade elevada das encostas e o potencial à erosão também é alto, para a área de estudo, com índices variando entre 5 e 7 na classificação proposta por Pejon (1992).

O padrão de relevo, com encostas curtas, declividade elevada (superior a 20%) e grande quantidade de canais de drenagem contribui para o aparecimento de sulcos erosivos.

A inspeção de campo e análise das fotografias aéreas mostrou que as práticas de conservação do solo e prevenção de erosão são bastante empregadas, porém insuficientes para contenção dos processos existentes, ampliados pelo pisoteio do solo, decorrente da atividade pecuária predominante, como mostra a Figura 70.



Fonte: Autor

Figura 70: Ocorrência nº 12 - Pisoteio pelo gado cria canais de drenagem que favorecem o processo erosivo.

A Figura 71 mostra o efeito erosivo com perda acentuada de solo quando a extensão da encosta propicia maior velocidade ao escoamento superficial e a Figura 72, na mesma localização, mostra o acúmulo de sedimentos nos terrenos inferiores.



Fonte: Autor

Figura 71: Ocorrência nº 12 - Perda acentuada de solo na porção inferior da encosta.



Fonte: Base, 2000.

Figura 72: Ocorrência nº 12 - Sulcos de erosão em solos rasos e depósitos de sedimentos na porção inferior do terreno

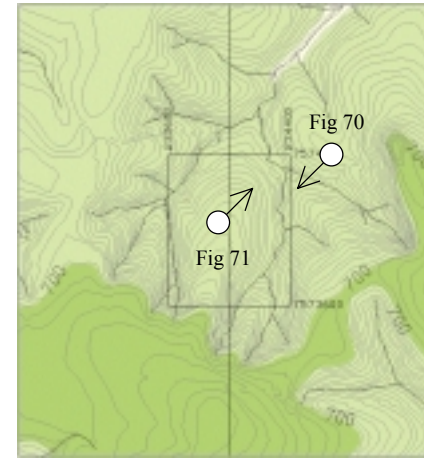
Para que se tenha uma visão conjunta do comportamento dos diversos atributos do terreno da região de ocorrência de processos erosivos nº 12, foram colecionados na Figura 73 recortes dos foto-mosaicos de IBC-GERCA (1971) e Base (2000), na escala 1:10.000 e das cartas temáticas de Hipsometria, Declividade, Materiais Inconsolidados, Escoamento Superficial (TORRESAN et al., 2002), Uso da Terra (TOREZAN, 2000) e Potencial de Erosão (TORRESAN & LORANDI, 2001), na escala 1:50.000.



Fotografia aérea georreferenciada – esc 1:10:000. Base (2000)

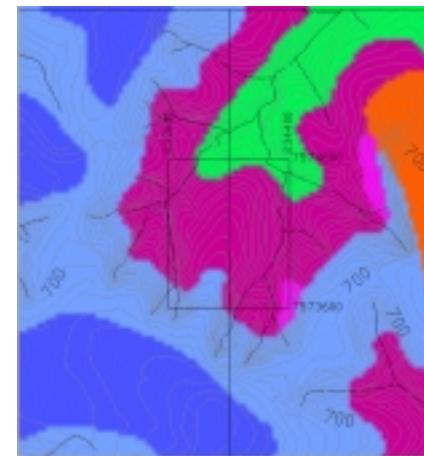
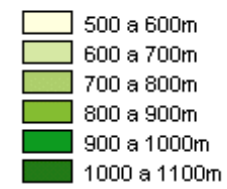


Fotografia aérea georreferenciada – esc 1:10:000. IBC-GERCA (1971)



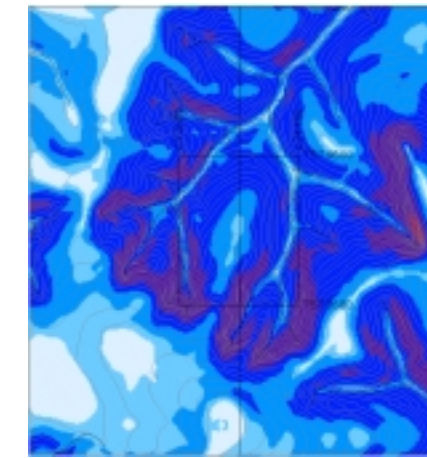
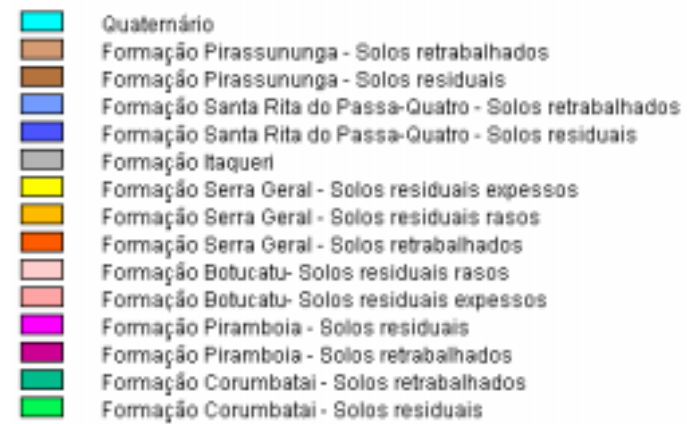
Fonte: Autor

Hipsometria



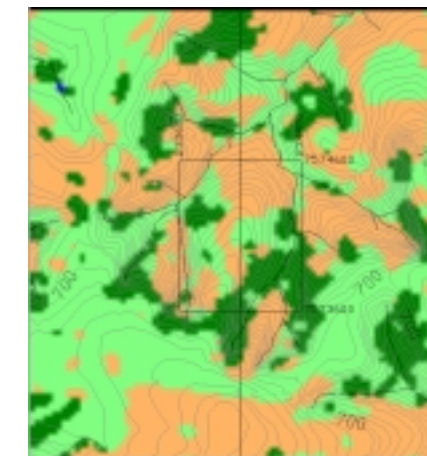
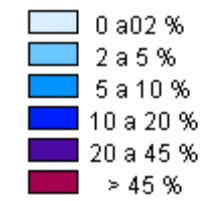
Fonte: Autor

Materiais Inconsolidados



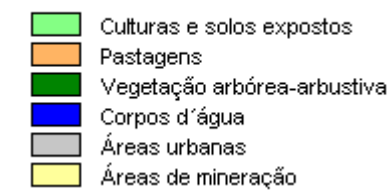
Fonte: Autor

Declividade

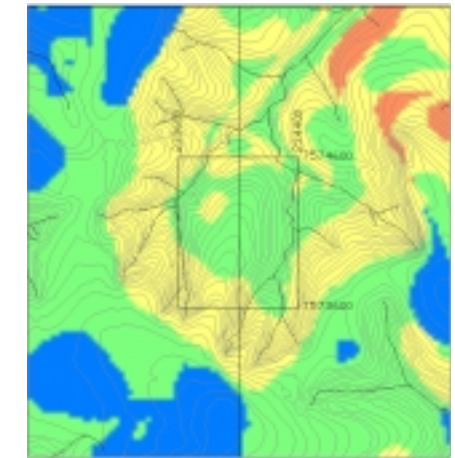


Fonte: Adaptado de Torezan, 2000

Usos da Terra

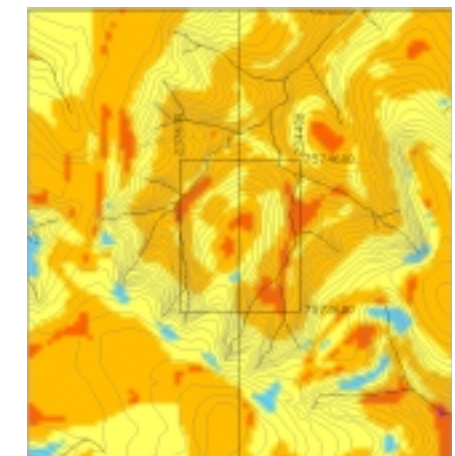
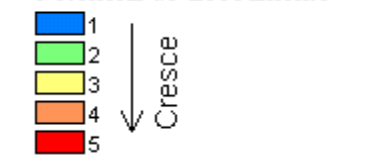


Cartas temáticas – esc 1:50.000.



Fonte: Torresan et al., 2002

Potencial de Escoamento



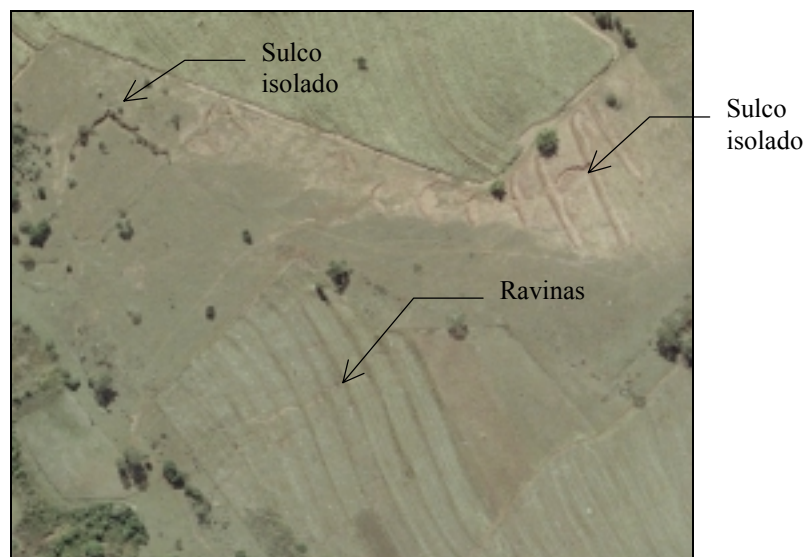
Fonte: Torresan & Lorandi, 2001

Potencial de Erosão



4.2.13 Ocorrência nº 13.

Caracterizada por perda acentuada de solo com formação de sulcos, ocorre na parcela superior das encostas, em terreno com declividades relativamente baixas, quando comparadas com a região de entorno (Figura 74).



Fonte: Base, 2000.

Figura 74: Ocorrência nº 13 - processos erosivos acontecendo na parcela superior da encosta

A comparação das fotografias aéreas de IBC-GERCA (1971) e Base (2000) mostra que o uso da terra foi alterado de pastagens para culturas de cana-de-açúcar e milho. Também foi intensificada a proteção dos corpos d'água com vegetação arbórea.

A ocorrência de perda de solo se mostra antiga neste terreno, tendo diminuído de intensidade na análise temporal feita.

Os processos erosivos ocorrem em material residual espesso originado da Formação Serra Geral, quando a declividade do terreno atinge valores superiores a 5%, em posição do relevo onde a forma da encosta é do tipo co-linear (LL), na classificação de Ruhe (1975). O potencial ao escoamento superficial das águas tem valores médios a altos, em decorrência das características menos permeáveis dos solos locais e o potencial do terreno aos processos erosivos é da ordem de 6 unidades, na classificação proposta por Pejón (1992), sendo considerado elevado para a bacia do Rio Bonito.

As inspeções de campo e análise das fotografias aéreas mostrou que os solos onde ocorreram os principais processos erosivos têm maior teor de areia que os

esperados para os materiais inconsolidados residuais originados da Formação Serra Geral, com características texturais semelhantes as dos materiais retrabalhados da Formação Santa Rita do Passa-Quatro.

As práticas conservacionistas do solo e de proteção contra erosão são bastante intensas na área, principalmente na proximidade do sistema viário interno das propriedades rurais.

Para que se tenha uma visão conjunta do comportamento dos diversos atributos do terreno da região de ocorrência de processos erosivos nº 13, foram colecionados na Figura 75 recortes dos foto-mosaicos de IBC-GERCA (1971) e Base (2000), na escala 1:10.000 e das cartas temáticas de Hipsometria, Declividade, Materiais Inconsolidados, Escoamento Superficial (TORRESAN et al., 2002), Uso da Terra (TOREZAN, 2000) e Potencial de Erosão (TORRESAN & LORANDI, 2001), na escala 1:50.000.



Fotografia aérea georreferenciada – esc 1:10:000. Base (2000)

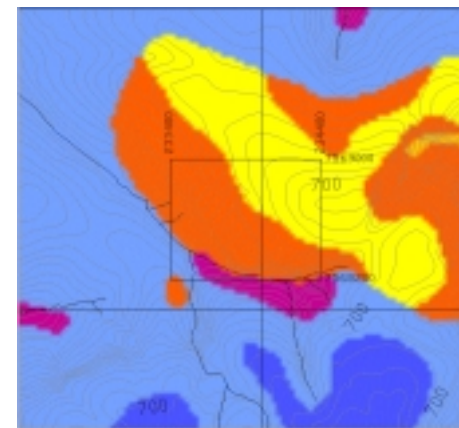
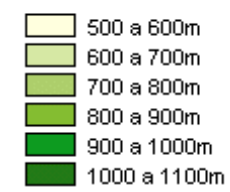


Fotografia aérea georreferenciada – esc 1:10:000. IBC-GERCA (1971)



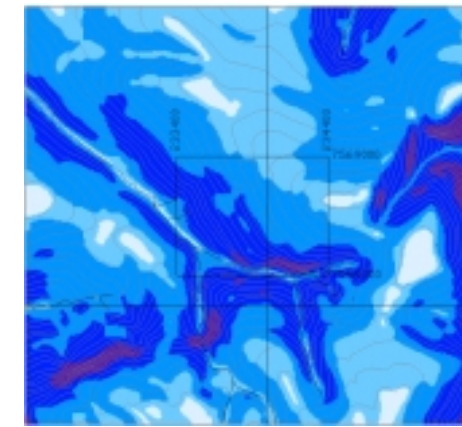
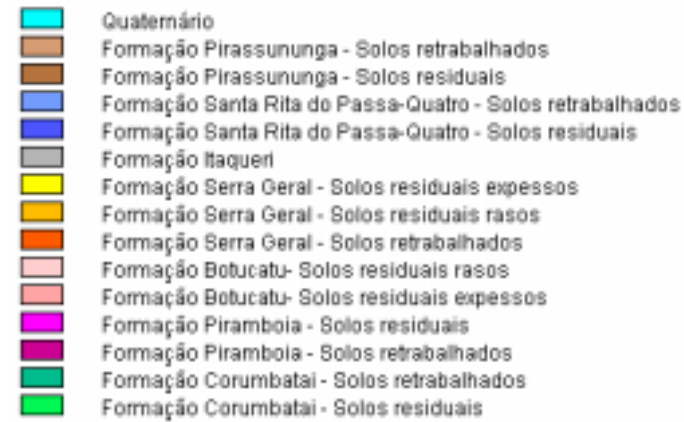
Fonte: Autor

Hipsometria



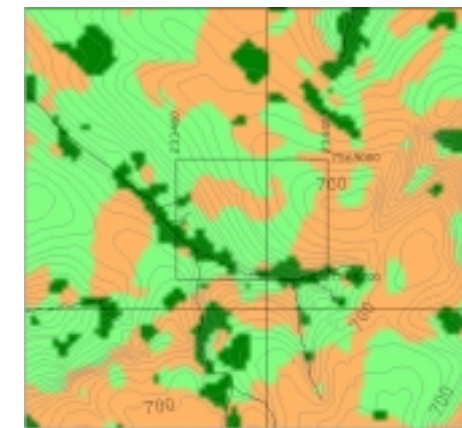
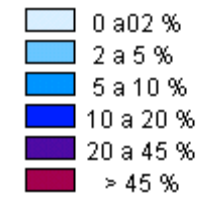
Fonte: Autor

Materiais Inconsolidados



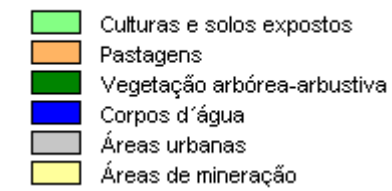
Fonte: Autor

Declividade

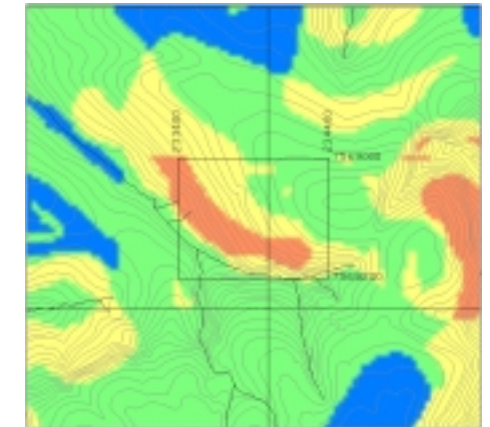


Fonte: Adaptado de Torezan, 2000

Usos da Terra

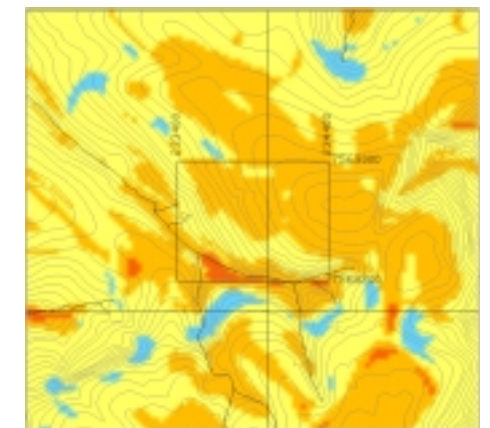


Fonte: Adaptado de Torezan, 2000



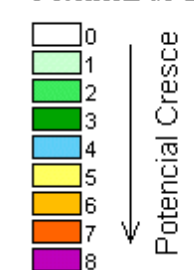
Fonte: Torresan et al., 2002

Potencial de Escoamento



Fonte: Torresan & Lorandi, 2001

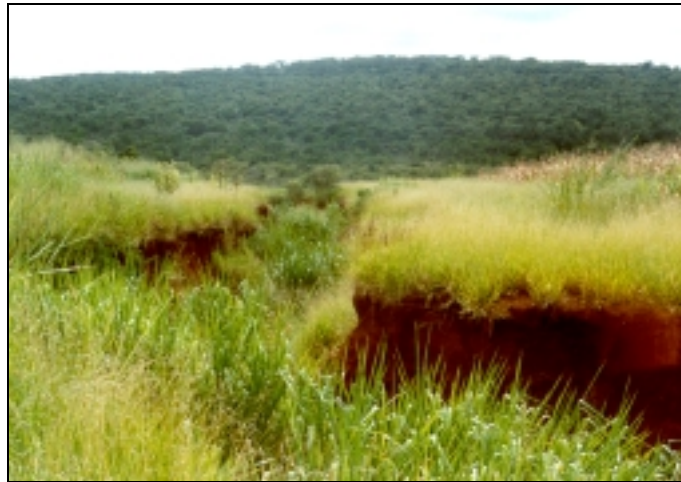
Potencial de Erosão



Cartas temáticas – esc 1:50.000.

4.2.14 Ocorrência nº 14.

Voçoroca de dimensões moderadas (Figura 76).



Fonte: Autor

Figura 76: Ocorrência nº 14 - Voçoroca de dimensões moderadas.

A comparação das fotografias aéreas de IBC-GERCA(1971) e Base (2000) mostra que o processo erosivo é recente e determinado pela concentração de drenagem no encontro de estradas vicinais.

O uso da terra foi modificado, no período, de pastagens para culturas de cana-de-açúcar e milho, sendo empregados ostensivamente, na área, os sistemas de proteção contra perda de solo, como pode ser visto na Figura 77.



Fonte: Base, 2000.

Figura 77: Ocorrência nº 14 - utilização de bacias de contenção e terraceamento.

Também a vegetação de encosta íngreme, com solos rasos, foi recomposta, diminuindo a velocidade da água e retendo parte do escoamento superficial.

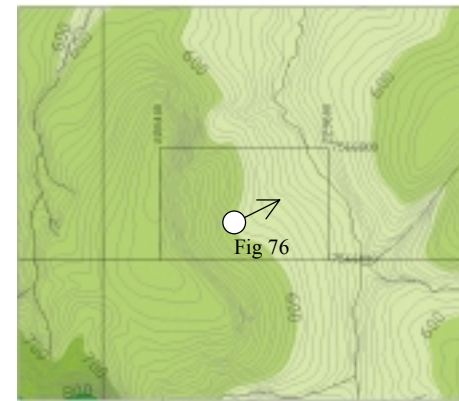
O sulco ocorre em material inconsolidado retrabalhado, originado da formação Santa Rita do Passa-Quatro, considerado espesso e de textura arenosa, em terreno com declividade próxima a 5%, baixo potencial de escoamento superficial e moderado potencial à erosão, com índice 5 na classificação proposta por Pejon (1992), em posição do relevo onde a forma da encosta é do tipo linear-côncavo (LC), na classificação de Ruhe (1975).

A inspeção de campo confirmou que a forma do relevo no local contribui para a concentração das drenagens geradoras do processo erosivo e dificulta o desvio das águas pluviais para as obras de contenção realizadas. O sulco tem aproximadamente 250m de comprimento e atinge profundidade de 5m.

Para que se tenha uma visão conjunta do comportamento dos diversos atributos do terreno da região de ocorrência de processos erosivos nº 14, foram colecionados na Figura 78 recortes dos foto-mosaicos de IBC-GERCA (1971) e Base (2000), na escala 1:10.000 e das cartas temáticas de Hipsometria, Declividade, Materiais Inconsolidados, Escoamento Superficial (TORRESAN et al., 2002), Uso da Terra (TOREZAN, 2000) e Potencial de Erosão (TORRESAN & LORANDI, 2001), na escala 1:50.000.

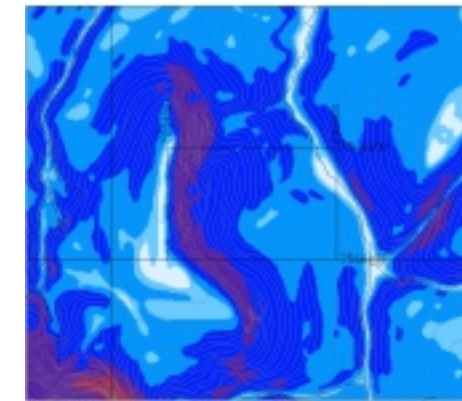
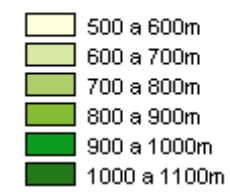


Fotografia aérea georeferenciada – esc 1:10:000. Base (2000)



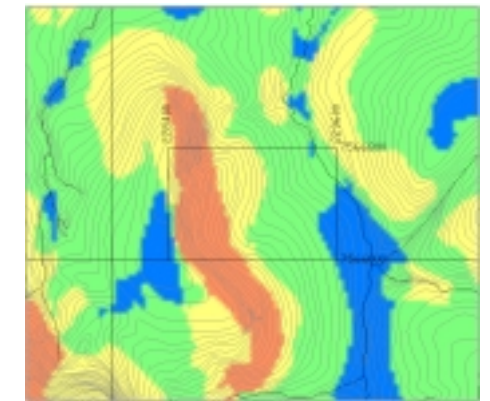
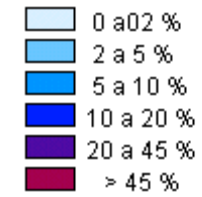
Fonte: Autor

Hipsometria



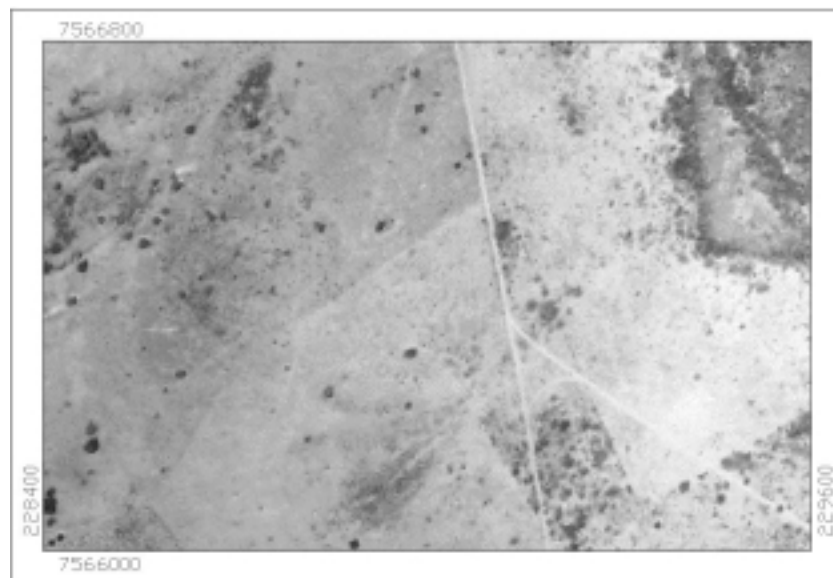
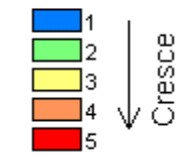
Fonte: Autor

Declividade

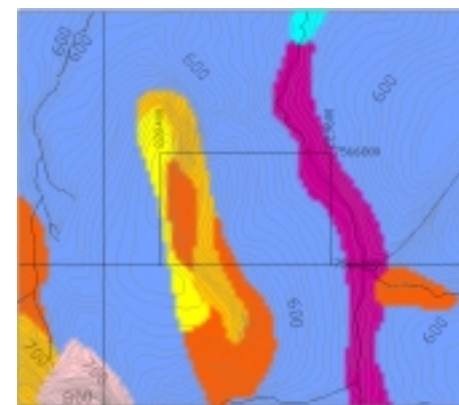


Fonte: Torresan et al., 2002

Potencial de Escoamento

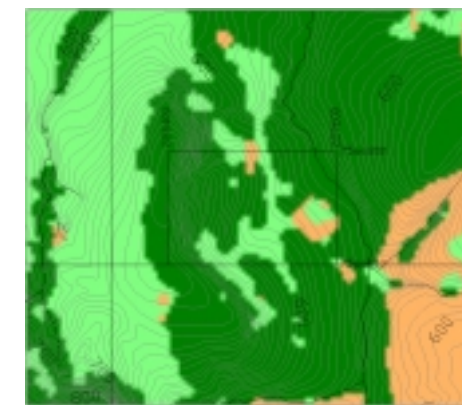
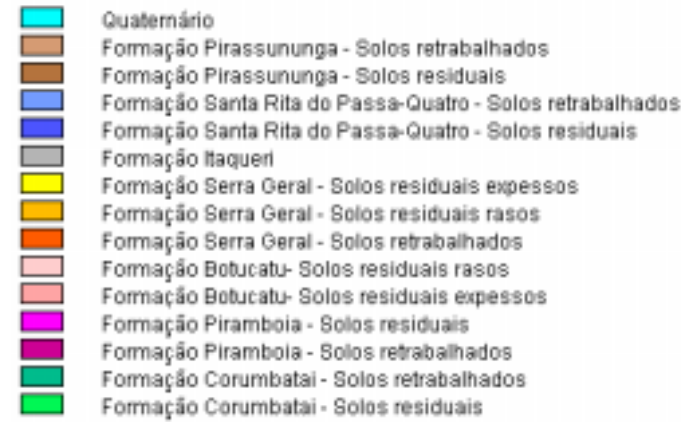


Fotografia aérea georeferenciada – esc 1:10:000. IBC-GERCA (1971)



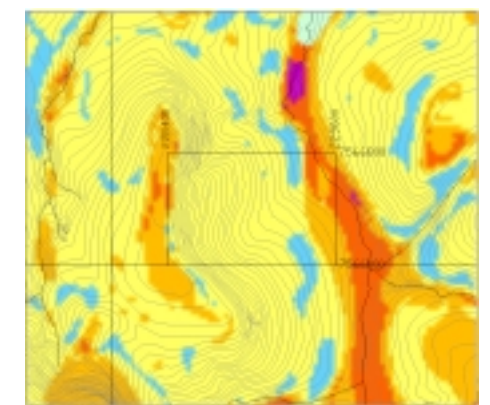
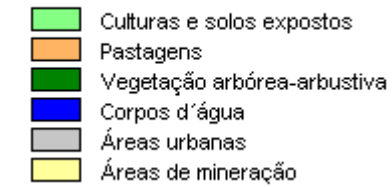
Fonte: Autor

Materiais Inconsolidados



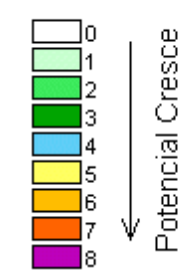
Fonte: Adaptado de Torezan, 2000

Usos da Terra



Fonte: Torresan & Lorandi, 2001

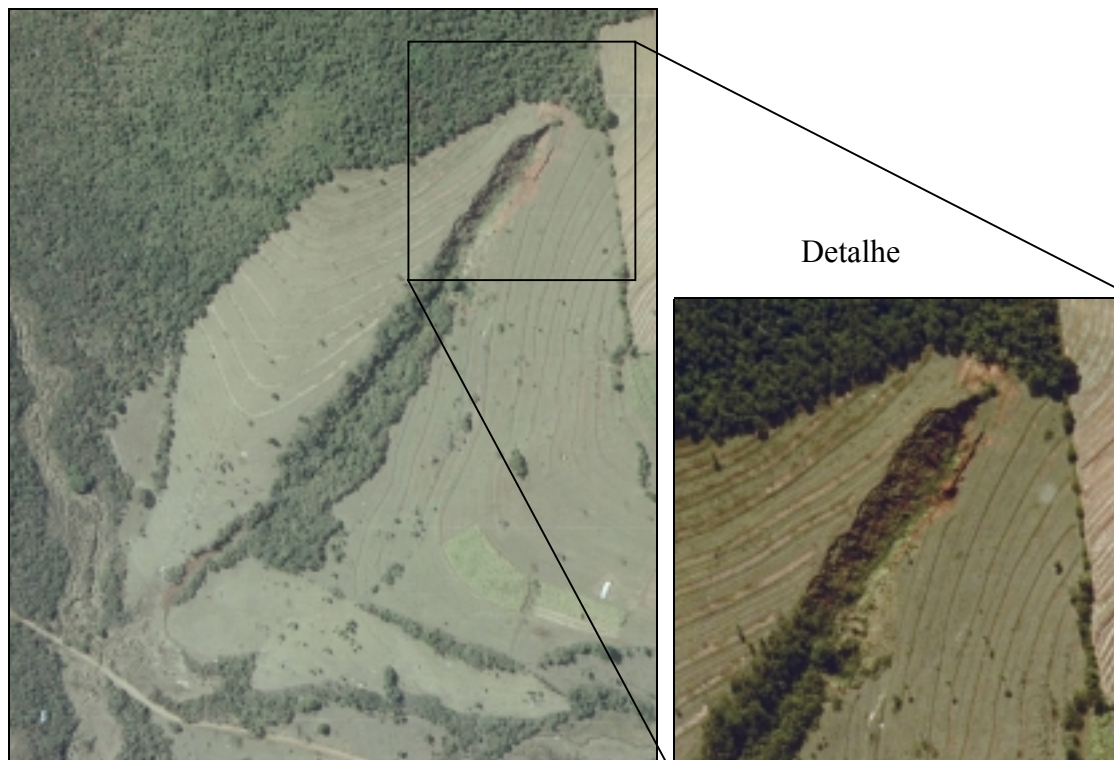
Potencial de Erosão



Cartas temáticas – esc 1:50.000.

4.2.15 Ocorrência nº 15.

Caracterizada por uma cicatriz de voçoroca com evidências de revigoração do processo erosivo, como é mostrado no detalhe da Figura 79.



Fonte: Base, 2000.

Figura 79: Ocorrência nº 15 - Revigoração do processo erosivo cicatrizado.

A feição erosiva encontrada neste trecho da área de estudo encontra-se em materiais inconsolidados retrabalhados originados da Formação Santa Rita do Passa-Quatro, de textura arenosa e bastante profundos, em terrenos com declividade superior a 10% e em posição do relevo onde a forma da encosta é do tipo linear-côncavo (LC), na classificação de Ruhe (1975).

O potencial de escoamento superficial da área é baixo, em decorrência da alta permeabilidade dos solos e o potencial a processos erosivos pode ser considerado médio para o conjunto da bacia, com índice 4 e 5 na classificação proposta por Pejon (1992).

A comparação das fotografias aéreas de IBC-GERCA (1971) e Base (2000) mostra que o uso da terra por pastagens foi substituído por culturas de cana-de-açúcar e milho e que houve grande incremento na vegetação arbórea.

Também mostra que a feição que aparenta uma cicatriz de voçoroca já aparecia vegetada na imagem de 1971.

O acesso para uma inspeção de campo foi dificultado por se tratar de área em propriedade particular fechada, e distante das estradas vicinais. A Figura 80 mostra uma vista a distância, indicando a evolução do processo após a tomada fotográfica de Base (2000).



Fonte: Autor

Figura 80: Ocorrência nº 15 - Vista frontal da feição erosiva.

Foi constatado em campo e na análise das fotografias aéreas que é forte o emprego de práticas conservacionistas do solo na área, os quais porém não tem sido suficientes para conter o processo, que se ampliou numa extensão de aproximadamente 100m no intervalo de tempo considerado, favorecido pelo relevo em forma de vale, concentrador de águas pluviais.

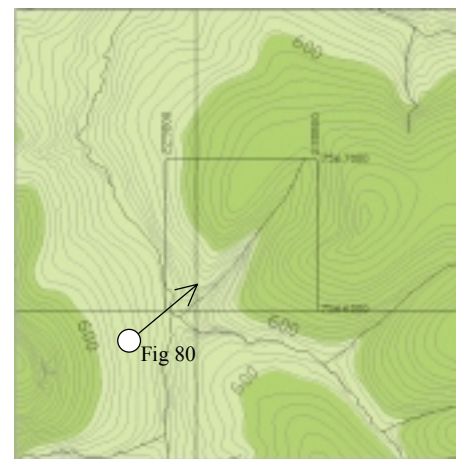
Para que se tenha uma visão conjunta do comportamento dos diversos atributos do terreno da região de ocorrência de processos erosivos nº 15, foram colecionados na Figura 81 recortes dos foto-mosaicos de IBC-GERCA (1971) e Base (2000), na escala 1:10.000 e das cartas temáticas de Hipsometria, Declividade, Materiais Inconsolidados, Escoamento Superficial (TORRESAN et al., 2002), Uso da Terra (TOREZAN, 2000) e Potencial de Erosão (TORRESAN & LORANDI, 2001), na escala 1:50.000.



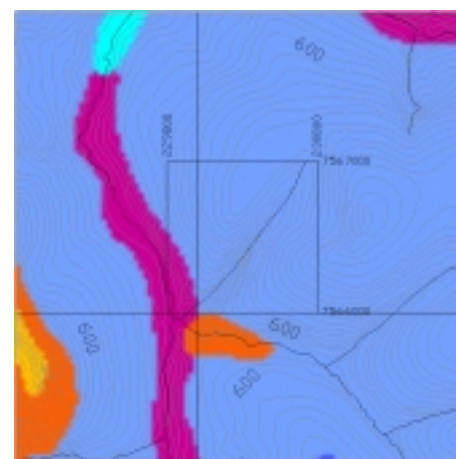
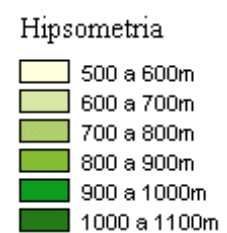
Fotografia aérea georreferenciada – esc 1:10:000. Base (2000)



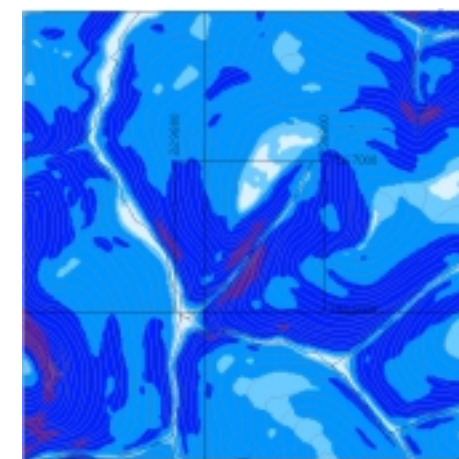
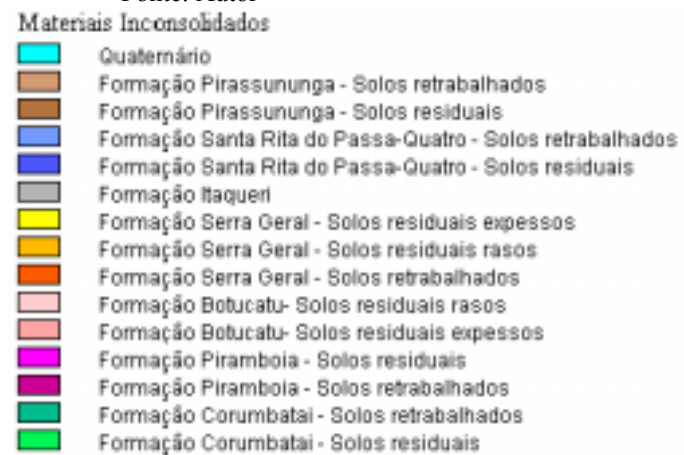
Fotografia aérea georreferenciada – esc 1:10:000. IBC-GERCA (1971)



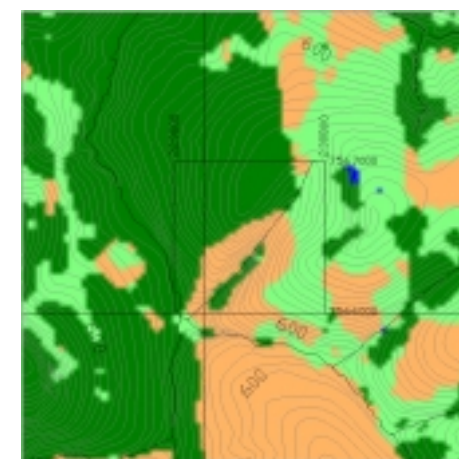
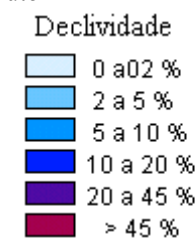
Fonte: Autor



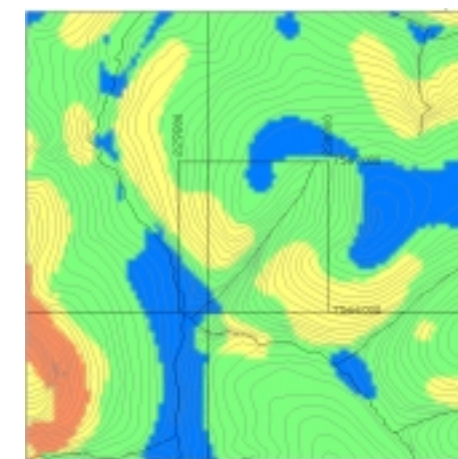
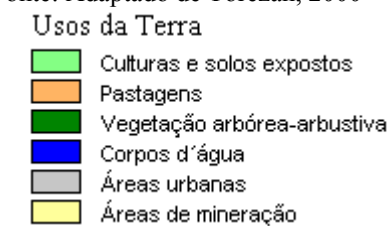
Fonte: Autor



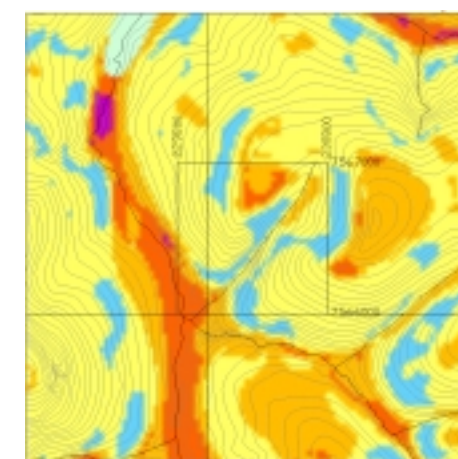
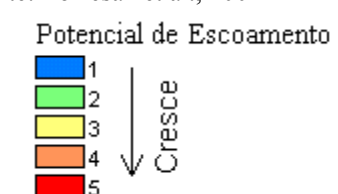
Fonte: Autor



Fonte: Adaptado de Torezan, 2000



Fonte: Torresan et al., 2002



Fonte: Torresan & Lorandi, 2001



Figura 81: Ocorrência 15 – Recorte dos foto-mosaicos e cartas temáticas.

Cartas temáticas – esc 1:50.000.

4.2.16 Ocorrência nº 16.

Caracterizada por uma série de feições erosivas em forma de sulcos e evidência de grande perda laminar de solo.

A comparação das fotografias aéreas de IBC-GERCA (1971) e Base (2000) mostra que a ocupação agrícola está se expandindo para os terrenos de maior declividade, antes ocupados por pastagem. Não houve alteração significativa na vegetação arbórea, que se restringe aos terrenos escarpados.

Práticas conservacionistas de solo foram implementadas no período, tendo diminuído a quantidade de feições erosivas encontradas no terreno.

Os processos erosivos ocorrem em materiais inconsolidados retrabalhados originados da Formação Santa Rita do Passa-Quatro, com nítida influência de sedimentos arenosos originados da Formação Botucatu, que compõe o relevo escarpado. São solos facilmente erodíveis, sendo que o potencial erosivo atinge os níveis 5 e 6 na classificação proposta por Pejon (1992) e em posição do relevo onde a forma da encosta é do tipo côncavo-linear (CL), na classificação de Ruhe (1975). O escoamento superficial também é alto, influenciado pela inclinação das encostas e pelos solos rasos compostos de materiais inconsolidados residuais originados da Formação Botucatu, a montante. As principais feições acontecem quando a declividade é superior a 10%. A Figura 82 mostra um exemplo encontrado, quando o fluxo de água atinge os terrenos menos protegidos, deixando a área de pastagem e entrando em plantação recente de milho.



Fonte: Base, 2000.

Figura 82: Ocorrência nº 16 - Sulcos erosivos acontecem no contato entre pasto e culturas de milho e cana-de-açúcar.

A perda de solos é acompanhada por um processo de deposição dos materiais nos terrenos de menor declividade e junto às obras de contenção do escoamento superficial, como mostra a Figura 83.



Fonte: Autor

Figura 83: Ocorrência nº 16 - Transporte e deposição de material erodido.

A inspeção de campo mostrou que as práticas conservacionistas e de correção de feições erosivas existentes é grande, porém insuficientes frente a fragilidade do terreno. Nas áreas onde predomina pastagens, o pisoteio do gado cria sulcos ao longo dos caminhos, que findam por se transformar em novas valas erosivas, como é mostrado na Figura 84 e na Figura 85.



Fonte: Autor

Figura 84: Ocorrência nº 16 - vala de erosão ao longo de uma cerca e decorrente de caminho preferencial da água em vala aberta por gado.



Fonte: Autor

Figura 85: Ocorrência nº 16 - valas aberta por pisoteio do gado.

Os cuidados com a recuperação de terrenos erodidos verificados na inspeção de campo podem ser exemplificados na Figura 86. A forma utilizada é a de criar anteparos à passagem dos animais, com o acúmulo de terra, impedindo a formação da trilha em locais onde esta pode ser catalizadora de novas feições.

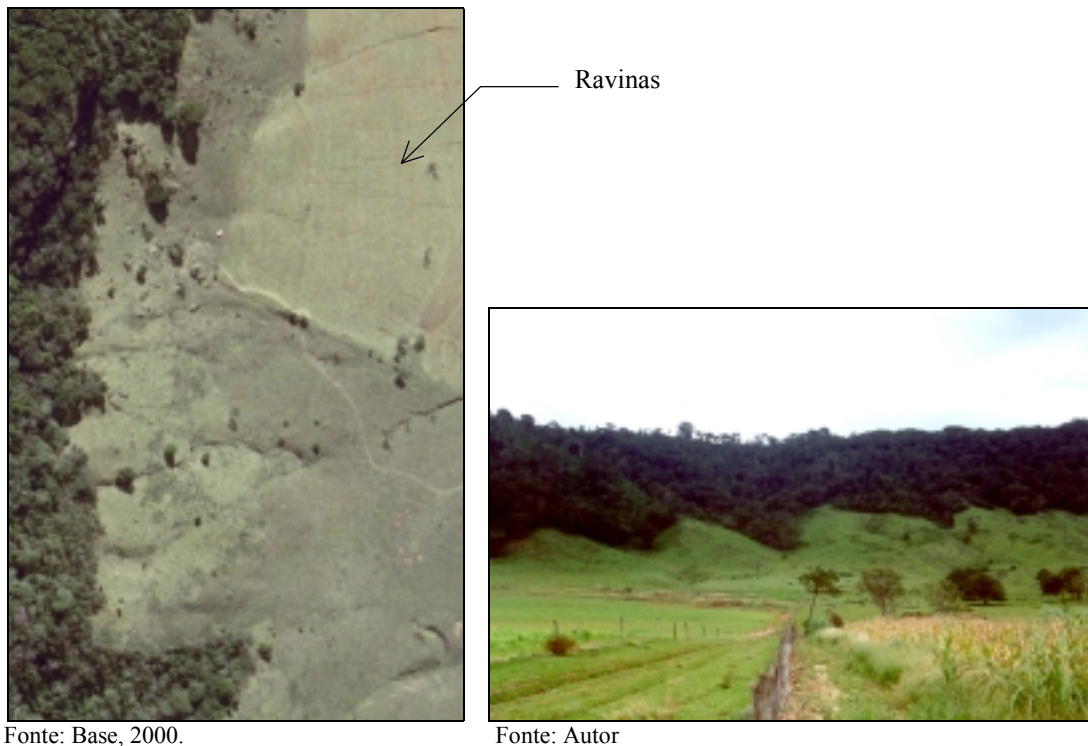


Fonte: Autor

Figura 86 - Ocorrência nº 16 - cicatriz de erosão recuperada, em terreno pisoteado pelo gado.

As encostas de declividade acentuada, superior a 45%, são cobertas material inconsolidado residual da Formação Botucatu, cuja textura arenosa torna bastante erodível. A espessura muito rasa impede a formação de sulcos significativos mas são nítidos os pequenos canais de drenagem formados no terreno, como mostra a Figura 87. A chegada das águas pluviais, concentrada por esses canais, em terrenos de material

arenoso espesso e com declividades superiores a 10% é um dos fatores que iniciaram algumas das feições erosivas encontradas na área.

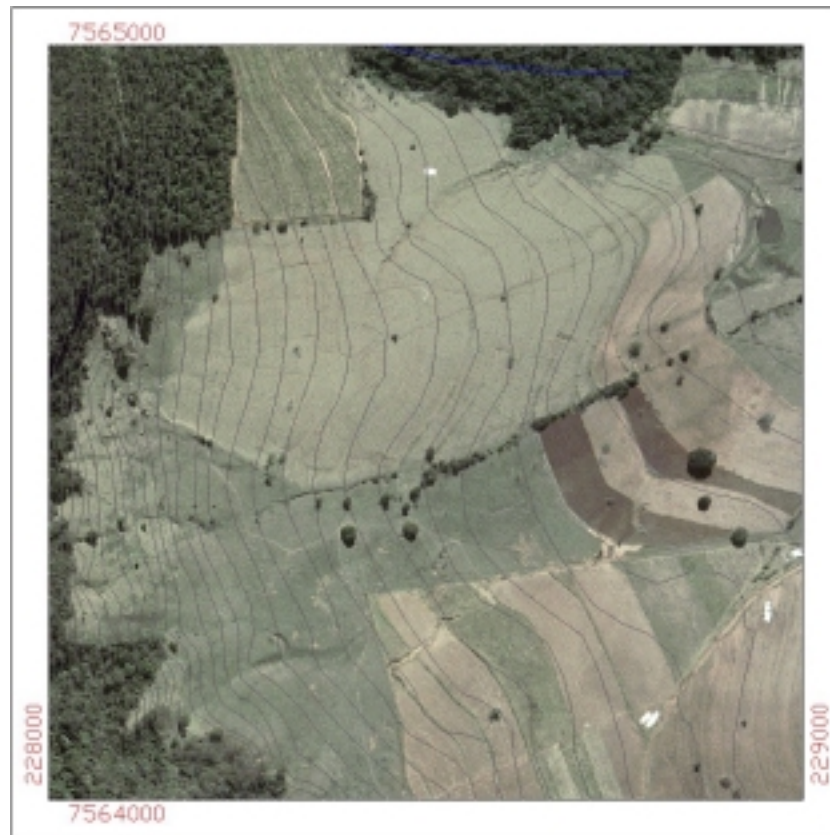


Fonte: Base, 2000.

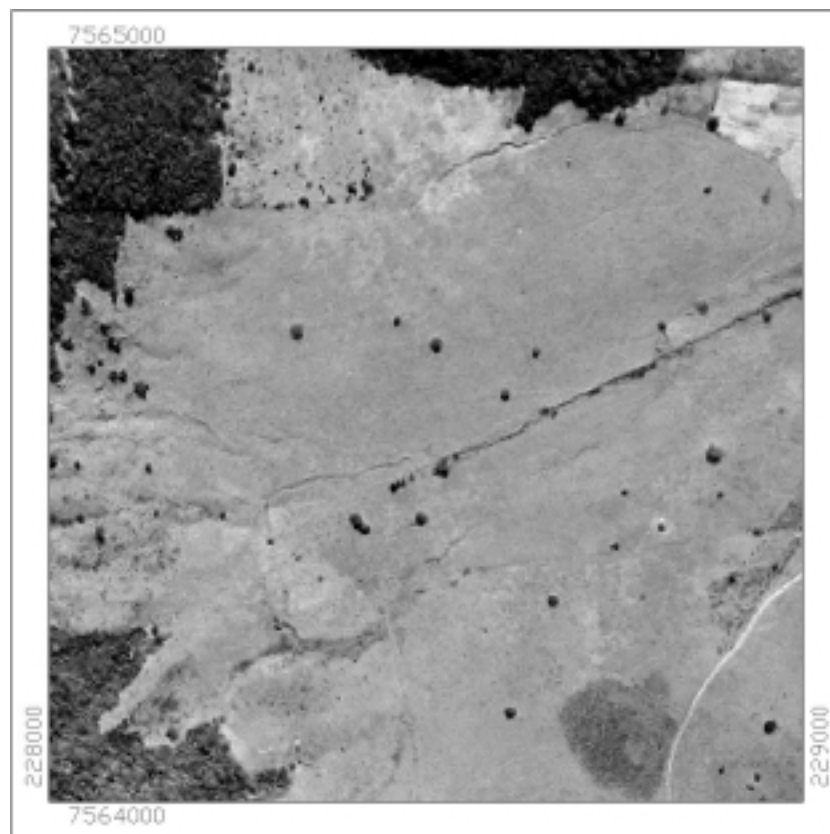
Fonte: Autor

Figura 87: Ocorrência nº 16 - Material inconsolidado das encostas íngremes é facilmente erodível, com intensa formação de pequenos canais.

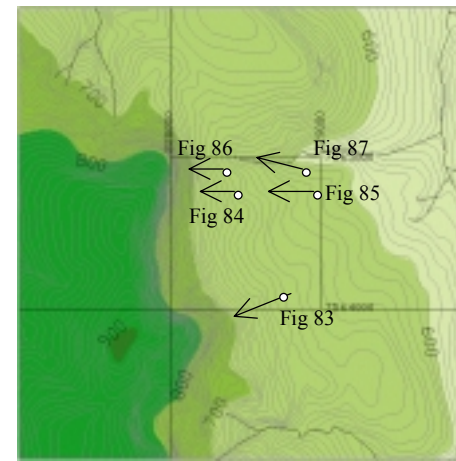
Para que se tenha uma visão conjunta do comportamento dos diversos atributos do terreno da região de ocorrência de processos erosivos nº 16, foram colecionados na Figura 88 recortes dos foto-mosaicos de IBC-GERCA (1971) e Base (2000), na escala 1:10.000 e das cartas temáticas de Hipsometria, Declividade, Materiais Inconsolidados, Escoamento Superficial (TORRESAN et al., 2002), Uso da Terra (TOREZAN, 2000) e Potencial de Erosão (TORRESAN & LORANDI, 2001), na escala 1:50.000.



Fotografia aérea georreferenciada – esc 1:10:000. Base (2000)

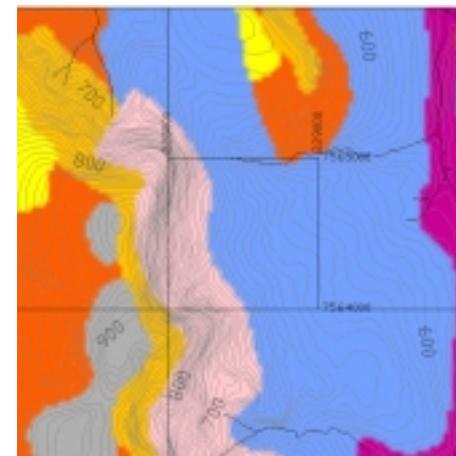
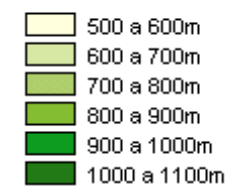


Fotografia aérea georreferenciada – esc 1:10:000. IBC-GERCA (1971)



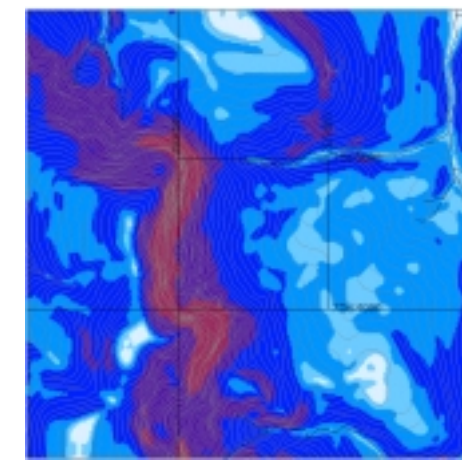
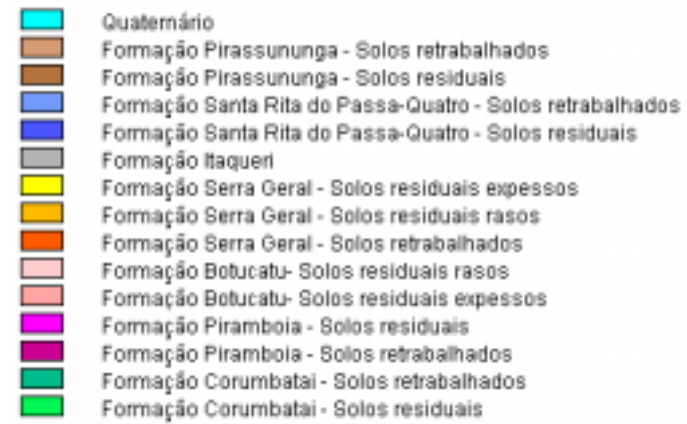
Fonte: Autor

Hipsometria



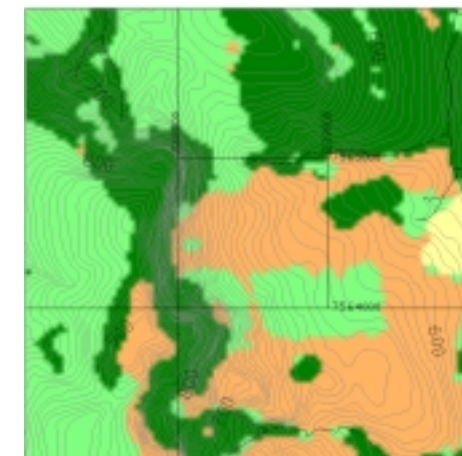
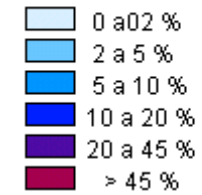
Fonte: Autor

Materiais Inconsolidados



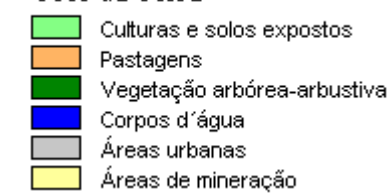
Fonte: Autor

Declividade



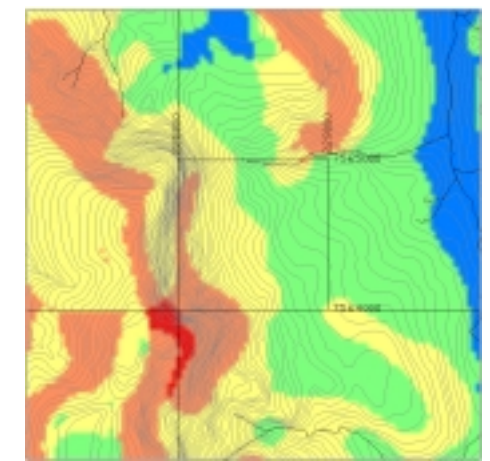
Fonte: Adaptado de Torezan, 2000

Usos da Terra



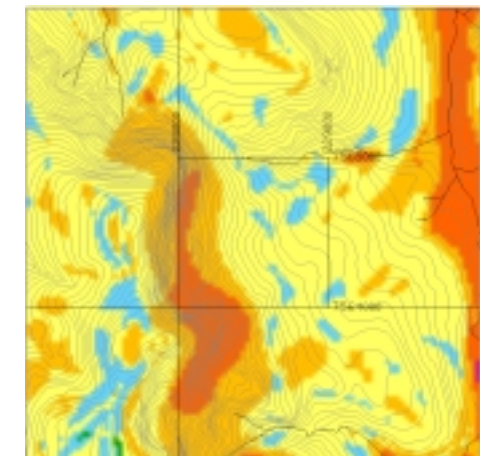
Cartas temáticas – esc 1:50.000.

Figura 88: Ocorrência 16 – Recorte dos foto-mosaicos e cartas temáticas.



Fonte: Torresan et al., 2002

Potencial de Escoamento



Fonte: Torresan & Lorandi, 2001

Potencial de Erosão



4.2.17 Ocorrência nº 17.

Caracterizada por elevada perda laminar de solo e sulcos erosivos associados ao pisoteio do gado.(Figura 89 e Figura 90).



Fonte: Base, 2000.

Figura 89: Ocorrência nº 17 - Vista aérea das feições erosivas



Fonte: Autor

Figura 90: Ocorrência nº 17 - Detalhe da área de maior incidência de perda de solo.

São terrenos em material inconsolidado retrabalhado originado da formação Santa Rita do Passa-Quatro, com declive superior a 10%. O potencial de escoamento superficial é alto em decorrência da inclinação do terreno e o potencial a processos erosivos é médio a alto, com índice 6 na classificação proposta por Pejon (1992) e a posição do relevo acontece onde a forma da encosta é do tipo convexo-côncavo (VC), na classificação de Ruhe (1975).

A comparação das fotografias aéreas de IBC-GERCA (1971) e Base (2000) mostra que o uso da terra, predominantemente por pastagens, foi pouco alterado no período, tendo entretanto crescido a área de vegetação arbórea. As práticas de conservação do solo são mais evidentes nas imagens recentes que nas antigas, mostrando uma crescente preocupação, dos proprietários rurais, com a erosão.

As inspeções de campo deixam evidente a associação dos processos erosivos com o pisoteio do gado, que forma trilhas no terreno, as quais se transformam em sulcos com o caminho preferencial da água pluvial.

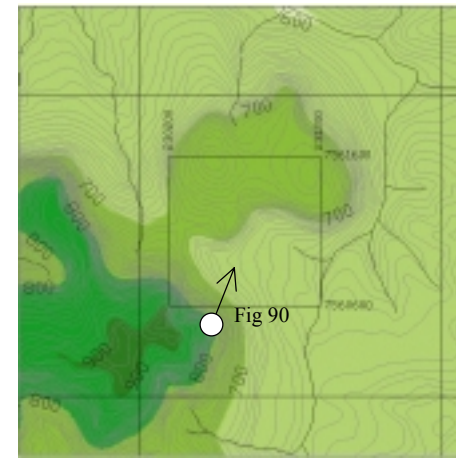
Para que se tenha uma visão conjunta do comportamento dos diversos atributos do terreno da região de ocorrência de processos erosivos nº 17, foram colecionados na Figura 91 recortes dos foto-mosaicos de IBC-GERCA (1971) e Base (2000), na escala 1:10.000 e das cartas temáticas de Hipsometria, Declividade, Materiais Inconsolidados, Escoamento Superficial (TORRESAN et al., 2002), Uso da Terra (TOREZAN, 2000) e Potencial de Erosão (TORRESAN & LORANDI, 2001), na escala 1:50.000.



Fotografia aérea georreferenciada – esc 1:10:000. Base (2000)

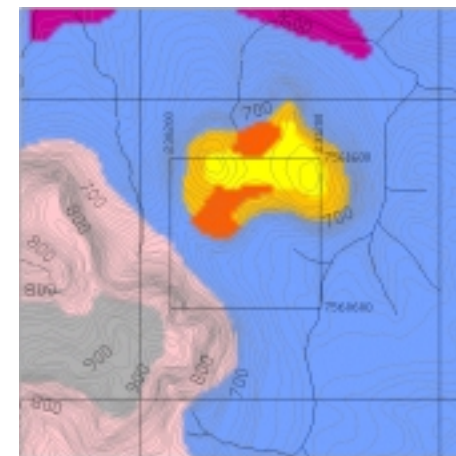
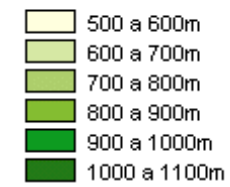


Fotografia aérea georreferenciada – esc 1:10:000. IBC-GERCA (1971)



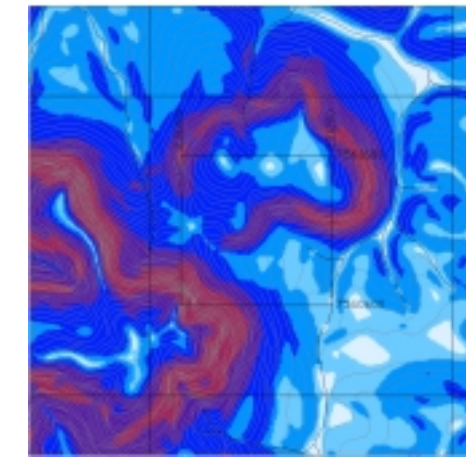
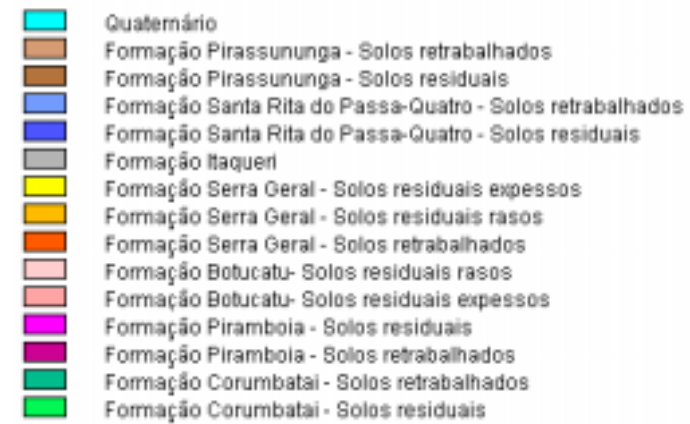
Fonte: Autor

Hipsometria



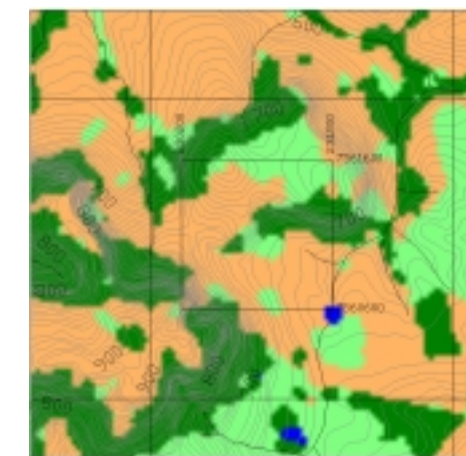
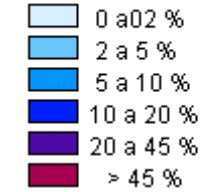
Fonte: Autor

Materiais Inconsolidados



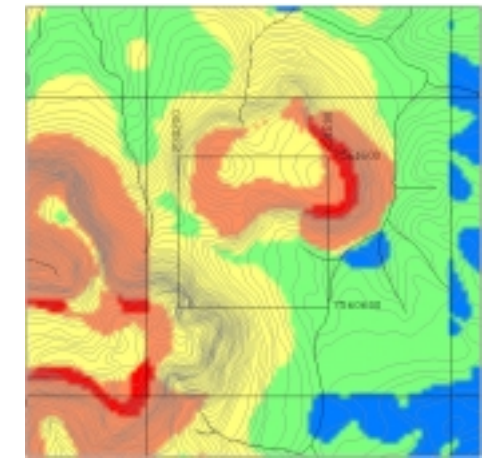
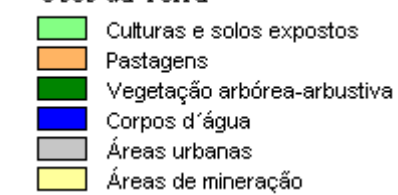
Fonte: Autor

Declividade



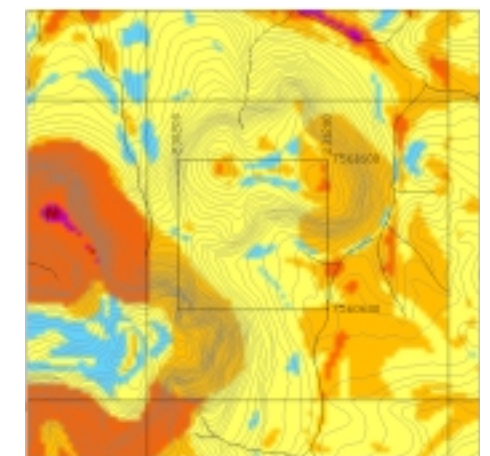
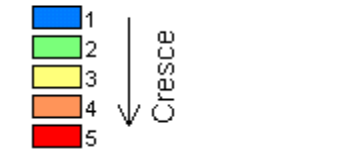
Fonte: Adaptado de Torezan, 2000

Usos da Terra



Fonte: Torresan et al., 2002

Potencial de Escoamento



Fonte: Torresan & Lorandi, 2001

Potencial de Erosão

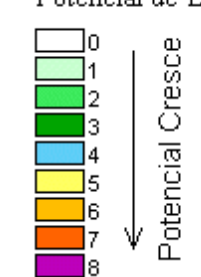


Figura 91: Ocorrência 17 – Recorte dos foto-mosaicos e cartas temáticas.

Cartas temáticas – esc 1:50.000.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A erosão, segundo D'Agostini (1999), consiste em um complexo problema antropológico-cultural, e o desafio não está mais em saber como controlar os processos erosivos, mas sim em compreender por que não são combatidos com as técnicas disponíveis.

O conhecimento do meio físico e o respeito de práticas conservacionistas para o uso do solo podem minimizar os efeitos nocivos da erosão, com ênfase em trabalhos de planejamento e educação ambiental.

São enormes as proporções atuais do transporte de solo para os cursos d'água, drenando uma considerável soma de recursos públicos para sua remoção e gerando inconvenientes de toda sorte, desde a redução da capacidade de escoamento e armazenamento dos cursos d'água e represas até a perda de vida útil, por abrasão das peças moveis, de bombas de captação. Junto com o solo, grande quantidade de matéria orgânica e sais minerais é transportada, contribuindo com a eutrofização dos cursos d'água.

Muito do que se pode fazer, segundo Bertoni & Lombardi Neto (1985), são medidas educacionais para os pequenos e médios produtores rurais, que mostrem as vantagens, principalmente econômicas, que podem tirar adotando os procedimentos corretos de uso do solo.

No problema urbano, maior cuidado deve ser dado pelos municípios para acompanhamento da abertura e ocupação de loteamentos novos localizados em área de encosta e de solos mais arenosos. Principalmente quando se tratam de empreendimentos para a população de renda mais baixa, as práticas conservacionistas do solo são severamente negligenciadas e a proteção das vias pela pavimentação e obras de drenagem não é realizada de imediato. Para tais casos cabe a recomendação de Brighetti e Nakae (1983) que sugerem a adoção de legislação urbana específica.

No caso da bacia do Rio Bonito, foi possível verificar que os processos erosivos têm ocorrido com menor intensidade na atualidade, quanto feita uma análise temporal dos eventos, contrastando com o crescimento na intensidade de uso da terra e com a tendência de substituição da atividade pecuária por lavouras de cana-de-açúcar e de milho, que expõem periodicamente o solo e exigem um manejo intensivo e constante manutenção dos mecanismos implantados de conservação do solo e proteção à erosão.

No período de análise, comparando as imagens atuais com as de 1971, fica evidenciado o aumento e consolidação das faixas de mata que acompanham os cursos d'água, assim como o aumento do terraceamento das encostas para diminuição do escoamento superficial.

Muitos dos processos erosivos verificados resultaram da grande fragilidade dos terrenos, formados de material muito arenoso e com erodibilidade acentuada, que, em períodos de maior pluviosidade, não resistiram, mesmo protegidos como foram, à ação erosiva imposta.

A situação vista na bacia do Rio Bonito contrasta com o que pode ser verificado em áreas vizinhas, na bacia do Córrego do Pântano, classificada como Área de Proteção Ambiental e que têm características de relevo semelhantes, em terrenos compostos das mesmas classes de materiais inconsolidados. Ali não se observam as práticas conservacionistas de solo acontecerem na mesma proporção e uma série de ocorrências erosivas de maior vulto são encontradas.

Áreas de extrema fragilidade, como aquelas em que ocorrem materiais originados da Formação Pirassununga, com encostas longas e côncavas, sofreram menores impactos que terrenos menos frágeis, de materiais originados da Formação Serra Geral, menos erodíveis e onde o comprimento das encostas tende a ser mais curto. Parece que, numa análise preliminar, a proteção ao solo que vem sendo dada nos terrenos de maior fragilidade da bacia é desproporcionalmente maior que os dados aos terrenos de menor fragilidade intrínseca.

Também a proximidade da malha urbana parece fazer com que o nível de proteção dos terrenos diminua, permitindo um aumento da perda de solo, crescimento do volume de sedimentos e aparecimento de voçorocas, como a relatada na ocorrência nº 5.

Este trabalho procurou buscar uma forma de visualização dos processos erosivos de uma região, que possibilitasse ao planejador ambiental lidar simultaneamente com aspectos do meio físico e da ação antrópica. É essa ação antrópica que desencadeia os processos que redundam nos problemas de erosão e perda de nutrientes do solo, e conseqüente assoreamento e eutrofização dos cursos d'água.

A utilização de uma escala regional de análise para a bacia como um todo (1:50.000) e de uma escala local (1:10.000) para visualização das ocorrências individuais buscou criar instrumentos de análise onde, em uma ação de planejamento na

forma “top-down approach”, seja possível discutir e implementar mecanismos que identifiquem quanto dos problemas tem origem na fragilidade ambiental do terreno e quanto está associado ao uso inadequado da terra.

Os resultados mostraram que os problemas decorrentes de áreas ambientalmente mais frágeis foram proporcionalmente menores que os daquelas com solos menos erodíveis, evidenciando que os proprietários rurais desses terrenos conhecem e praticam medidas de proteção do solo e de contenção de processos erosivos e que tal preocupação diminui na mesma medida que diminui a fragilidade do terreno.

Também a região de transição entre duas categorias de materiais inconsolidados, onde os solos mais frágeis recebem água pluvial vinda de terrenos com melhor resistência à erosão, deve ser melhor acompanhada, da mesma forma que os mecanismos de monitoramento da região de borda da malha urbanizada devem ser bem equacionados, de tal maneira que a pressão das ações antrópicas aconteça com um mínimo impacto aos recursos do meio abiótico.

Em relação aos programas computacionais utilizados, cabe ressaltar o elevado desempenho do módulo Descartes (Microstation 95) para georreferenciamento de imagens e montagem dos foto-mosaicos. Sua capacidade de identificar em tela os locais da imagem a ser corrigida e os respectivos pontos de controle na base cartográfica adotada, permitiu a utilização de uma grande quantidade de informações confiáveis para proceder o registro, garantindo a continuidade da imagem final.

O conjunto Computador portátil/GPS/Programa de navegação, utilizado para acompanhamento de campo das informações, indicou, em tempo real, a localização do operador na base cartográfica (1:10.000) e nos mapas produzidos (1:50.000), permitiu a utilização de mapas detalhados como tela de fundo, facilitando assim o acesso aos destinos de campo e o registro cartográfico de ocorrências.

REFERÊNCIAS²

AGENA, S. S.; SAAD, A. M. Estudo da erodibilidade como subsídio para o controle preventivo da erosão. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSÃO, 5., 1995, Bauru. **Anais...** São Paulo: ABGE/UNESP/DAEE, 1995. p. 237-239.

ASPINALL R.; PEARSON, D. Integrated geographical assessment of environmental condition in water catchments: linking landscape ecology, environmental modelling and GIS. **Journal of Environmental Management**, v. 59, p. 299-319, 2000.

BASE. **Fotografias aéreas do Estado de São Paulo**: Escala 1:30.000. Formato TIFF. Base Aerofotogrametria e Projetos SA: São Paulo. 2000. 41fotos. 17 CD.

BELLINAZZI JUNIOR, R.; BERTOLINI, D.; LOMBARDI NETO, F.. A ocorrência de erosão urbana no Estado de São Paulo. In: SIMPÓSIO SOBRE O CONTROLE DE EROSÃO, 2., 1981, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ABGE. 1981. v. 1, p. 117-137.

BERTOL, I. **Comprimento crítico de declive para preparo conservacionistas de solo**. 1995. 185 p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

BERTOL, I.; COGO, N. P.; LEVIEN, R. Comprimento crítico de declive em sistemas de preparos conservacionistas de solo. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 21, n. 1, p. 139-148, 1997.

BERTONI, J. et al. **Conclusões gerais das pesquisas sobre conservação do solo, no Instituto Agrônomo**. Campinas: IAC, 1986.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. São Paulo: Ícone. 1990. 355 p.

² Apresentadas de acordo com ABNT: NBR 6023 (AGO 2000) – Informação e documentação – Referências – Elaboração.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. Piracicaba: Livroceres, 1985.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F.; BENATTI, R. **Metodologia para a determinação de perdas de solo por erosão**. Campinas: IAC, 1982.

BRIGHETTI, G.; NAKAE, T. Influência da urbanização no transporte de sólidos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE HIDROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS, 5., 1983, Blumenau. **Anais...** Florianópolis: ABRH, 1983.

BRILIS, G. M. et al. Remote sensing tools assist in environmental forensics. Part I: Traditional methods. **Journal of Environmental Forensics**, v. 1. p. 63-67, 2000.

CAETANO, A.; ZIMBACK, C. R. L. Definição de classes de solos suscetíveis à erosão dor métodos multivariados. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSÃO, 6. 1998, Presidente Prudente. **Anais...** São Paulo: ABGE, 1998. 1 CD.

CASALÍ, J. et al. Digital terrain modelling of drainage channel erosion. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v. 74, p. 421-426, 1999.

CASSETI, V. **Ambiente e conservação do solo**. São Paulo: Ed. Contexto, 1991.

CASTRO, D. M. **Estudo do potencial à erosão acelerada das áreas urbana e de expansão do município de Descalvado-SP, Escala 1:10.000**. 1988. 149 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos.

CASTRO, F. S. **Conservacion de suelos**. 3^a ed. San José (Costa Rica): 1980. 315 p. (Serie de Livros y Materiales Educativos, n° 37)

CASTRO, S. A. P.; GOULART, A. C. O.; SOUZA, C. R. G. **Relatório técnico de geomorfologia**: série de relatórios técnicos do projeto “Subsídios para o planejamento regional e urbano do meio físico na porção média da Bacia do Rio Piracicaba, SP”. 1995. Piracicaba. v. 2. 60 p.

CEOTMA. **Guia para la elaboración de estudios del medio físico**: contenido y metodología. Madrid:RGB Ed., 1982. 572 p.

CERNUSCA, A. et al. ECOMONT: a combined approach of field measurements and process-based modelling for assessing of land-use changes in mountain landscapes. **Ecological Modelling**, v. 113, p. 167-178, 1998.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo: Edgard Blucher, 1974.

COLLARES, E. G. **Mapeamento geotécnico da quadrícula de Bragança Paulista (Escala 1:50.000)**: ênfase nos materiais inconsolidados. 1994. 2 v., 125 p.+ 6 map. anexos. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

COOKE, R. U.; DOORNKAMP, J. C. **Geomorphology in environmental management**: an introduction. Oxford: Clarendon Press, 1977.

CORATO, R. M. S.; BOTELHO, R. G. M. Uso da microbacia como unidade fundamental de análise em ciências ambientais: Uma avaliação a partir dos simpósios nacionais de controle de erosão. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSIÃO, 7., 2001, Goiânia. **Anais...** São Paulo: ABGE, 2001. 1 CD.

D'AGOSTINI, L. R. **Erosão**: o problema mais que o processo. Florianópolis: Ed. UFSC, 1999. 131 p.

DAEE. Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo. **Controle de erosão**: Bases conceituais e técnicas; Diretrizes para o planejamento urbano e regional; Orientações para o controle de boçorocas urbanas. São Paulo: DAEE/IPT, 1989. 92 p.

DE LLANO, F. L. C. La erosión en España .In: AYALA CARCEDO, F. J.; DURAN VALSERO, J. J.; PEINADO PARRA, T.(Coord). **Riesgos Geológicos**. 1987. p.163-173 (Serie Geologia Ambiental)

DENARDIN, J. E. **Erodibilidade do solo estimada por meio de parametros físicos e químicos**. 1990. 81p. Tese (Doutoramento em Agronomia) - Escola Superior de Agronomia Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

DETWYLER, R.; MARCUS, M. G. **Urbanization and environment**: the physical geography of the city. Belmont-CA: Duxbury Press, 1972. 287 p.

DNPM. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. **Projeto Sapucaí**, estados de São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais; relatório final de Geologia. Por Quirino Kaefler e outros. Brasília, DNPM/CPRM, Superintendência Regional de São Paulo. 1979 299 p.il., 4 map.color. 110cm (Série: Geologia,4. Seção: Geologia básica, 2).

DURAND, M. La cartographie géologique et géotechnique interactive sur micro-ordinateur. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF INTERNATIONAL ASSOCIATION OF ENGINEERING GEOLOGY, 6., 1990, Amsterdam. **Proceedings...** Rotterdam: Balkema/IAEG, 1990. p. 23-30.

EASTMAN, J. R. **IDRISI 32: guide to GIS and image processing.** Clark Labs. Worcester: Clark University, 1999. 193 p.

ECOPLAN Engenharia Ltda. **Programa pró-Guaíba.** Porto Alegre, 1996. Disponível em: <<http://www.geocities.com/eureka/park/1161/proj.html>>. Acesso em: jan. 2002.

ELLISON, W. D. Soil erosion studies. Soil detachment hazard by raindrop splash. **Agricultural Engineering**, v. 28, p. 197-201, 1947.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos.** Brasília: Embrapa Produção de Informação, 1999. 412 p.

EMMERSON, W. W. Physical properties and structure. In: RUSSEL, J. S.; GREACEN, E. L. (Ed.). **Soil factors in crop production in a semi-arid environment**, St. Lucia: University of Queensland Press, 1977. p. 78-104.

EMMETT, W. W. **The hydraulics of overland flow on hillslopes.** Washington: U.S.Geological Survey, 1970. 68 p. (Professional Paper 622-A).

FENDRICH, R. et al. **Drenagem e controle da erosão urbana.** Curitiba: IBRASA-CHAMPAGNAT, 1984.

FERNANDES JUNIOR, J. L. **Efeito da defloculação no ensaio de granulometria de alguns solos em obras viárias no Estado de São Paulo.** 1989. 150 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

FERREIRA JR., O. **GPS TrackMaker Professional.** Belo Horizonte, 2000. Disponível em: <http://gpstm.com/port/gtmpro_port.htm>. Acesso em: jan. 2002.

FERREIRA, M. L. C. **Proposta metodológica para desenvolvimento e implementação de um banco de dados geotécnicos.** 1988. 353p. Tese (Doutoramento em Engenharia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

FORMAN, R. T. T. **Land mosaics**: The ecology of landscapes and regions. New York: Cambridge Press, 1997. 632 p.

FOSTER, A. B. **Métodos aprobados en conservacion de suelos**. Mexico: Ed. F. Trillas, 1961. 411 p.

FOSTER, G. R.; JOHNSON, C. B.; MOLDENHAUER, W. C. Critical slope lengths for unanchored cornstalk and wheat straw residue. **Transactions of the American Society of Agricultural Engineering**, v.25, p. 935-939, 947, 1982.

FROHN, R. C. **Remote sensing for landscape ecology**: new metric indicators for monitoring, and assessment of ecosystems. New York: Lewis Publishers, 1998. 99 p.

GRABAUM, R.; MEYER, B. C. Multicriteria optimization of landscapes using GIS-based functional assessments. **Landscape and Urban Planning**, v. 43, p. 21-34, 1998.

GRIP, W. M.; GRIP, R. W.; MORRISON, R. D. Application of aerial photography and photogrammetry in enviromental forensic investigation. **Journal of Environmental Forensics**, v. 1, p. 121-129, 2000.

GUERRA, A. J. T. O papel da matéria orgânica e dos agregados na erodibilidade dos solos. **Anuário do Instituto de Geociências da UFRJ**, v. 13, p. 43-52, 1990.

GUERRA, A.; ROIZEN, J.; SCHUELER, E. Fatores e classificação da erosão pluvial dos solos e seus impactos ambientais. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSÃO, 5., 1995, Bauru. **Anais...** São Paulo: ABGE/UNESP/DAEE, 1995. p. 447-450.

HAGAN, J. E. et al. **CartaLinx**: the spatial data builder: user's guide. Version 1.0. Clark Labs. Worcester: Clark University. 1998. 201 p.

HENKE-OLIVEIRA, C. et al. As fotografias aéreas e o processamento digital de imagens na gestão ambiental: experiência do Laboratório de Análise e Gestão Ambiental da UFSCar. In: CONGRESO INTERNACIONAL DE GESTIÓN DE RECURSOS NATURALES, 4., 1998, Valdivia, Chile. **Anais...** Valdivia, 1998.

IBC.GERCA. **Fotografias aéreas do Projeto SP-15**. 1971. 42 fotos. Escala 1:25.000.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Base de informações municipais**, Rio de Janeiro, 2000. 1 CD.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Carta do Brasil**. São Paulo, 1971. 4 mapas. Escala 1:50.000.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Malha municipal do Brasil: situação em 1997**. Rio de Janeiro, 1999. 1 CD.

IG-Instituto Geológico, **Formações geológicas de superfície**. IG/CPRN. São Paulo: IG, 1984. 4 mapas. Escala 1:50.000.

IG. **Formações geológicas de superfície**: São Paulo: IG, 1981. Escala 1:50.000.

IG. **Léxico estratigráfico do Estado de São Paulo**. São Paulo: IG, 1981. 161 p. (Boletim 5).

IGC. **Plano cartográfico do Estado de São Paulo**. São Paulo: IGC, 1979. 8 mapas. Escala 1:10.000.

IGC. **Plano cartográfico do Estado de São Paulo**. São Paulo: IGC, 1989. 12 mapas. Escala 1:10.000.

INGEGNOLI, V. **Fondamenti di ecologia del paesaggio**: Studio dei sistemi di ecosistemi. Milano: CittàStudi, 1993. 278 p.

IPT. Instituto de Pesquisas Tecnológicas. **Curso de geologia de engenharia aplicada a problemas ambientais**. São Paulo: AGAMA-DICEM, 1992.

IPT. **Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo**. São Paulo: IPT-DMGA, 1981. 94 p. (Série Monografias, 5).

IPT. **Loteamentos em áreas de declividade acentuada**: subsídios à elaboração de projetos. São Paulo: IPT, 1984.

KOFFLER, N. F.; PALANA, R. T. S.. Técnicas de geoprocessamento aplicadas ao planejamento agrícola e identificação de áreas suscetíveis à erosão na Bacia do Rio Jaú (SP). In: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSÃO, 5., 1995, Bauru. **Anais...** São Paulo: ABGE/UNESP/DAEE, 1995. p. 275-277.

LAKSHMINARAYAN, P. G.; JOHNSON, S. R.; BOUZAHER, A. A multi-objective approach to integrating agricultural economic and environmental policies. **Journal of Environmental Management**, v. 45, p. 365-378, 1995.

LATRUBESSE, E.; FRANZINELLI, E. Rios da Amazônia: reconstrução das condições hidrológicas do passado. In: Paleoclimas na Amazônia. **Ciência Hoje**, v.16, n. 93, p. 40-43, 1993.

LEPSCH, I. F. et al. **Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso**. Campinas: SBCS, 1983.

LINSLEY, R. K.; KOHLER, M. A.; PAULHUS, J. L. H. **Hydrology for engineers**. New York: McGraw-Hill, 1982. 508 p.

LORANDI, R. et al. Regional evaluation of the erosion aspects on weathered material in tropical areas (Brazil). In: CIVIL AND ENVIRONMENTAL ENGINEERING CONFERENCE: New Frontiers & Challenges, 1999, Bangkok-TH. **Proceedings...** Bangkok: AIT, 1999.

MACIEL FILHO, C. L. **Introdução à geologia de engenharia**. Santa Maria: Ed. UFSM, 1994. 284 p.

MARQUES, S. Q. Q. **Manual brasileiro para levantamento da capacidade de uso da terra**. Rio de Janeiro: Escritório Técnico Brasil-Estados Unidos, 1971. 433 p.

MEDEIROS, E. R.; ROBAINA, L. E.; BERGER, M. G. Erosão na região oeste do Rio Grande do Sul: uma situação grave de degradação ambiental. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSÃO, 5., 1995, Bauru. **Anais...** São Paulo: ABGE/UNESP/DAEE, 1995. p. 217-219.

MENEZES, D. B. **Avaliação de aspectos metodológicos e aproveitamento de informações do meio físico em estudos geoambientais de bacias hidrográficas: aplicação da bacia do Rio Pardo**. 2001. 235 p. Tese (Doutorado em Ciências) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro.

MEYER, L. D.; MONKE, E. J. Mechanics of soil erosion by rainfall and overland flow. **Transactions of the American Society of Agricultural Engineering**, v. 8, n. 4, p. 572-580, 1965.

MITAS, L. et al. Role of dynamic cartography in simulations of landscape process based on multivariate fields. **Computers & Geosciences**, v. 23, p. 437-446, 1997.

MORAES, A. T. C. C. **Biótipos na área de proteção ambiental das cuestas de São Pedro e Analândia**. 1985. 180 p. Dissertação (Mestrado em Ciências). Instituto de Geociências e Ciências Exatas. Universidade Estadual Paulista, Rio Claro.

MOREIRA, E. C. **Uma análise de sistemas de gerenciamento de dados aplicados ao mapeamento geotécnico**. 1993. 66 p. Monografia (Qualificação de Mestrado em Engenharia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

MORGAN, R. P. C. **Soil erosion and conservation**. London: Longman Scientific and Technical, 1986. 289 p.

MOTA, S. **Introdução à engenharia ambiental**. São Paulo: ABES, 1997. 292 p.

NOGAMI, J. S.; VILLIBOR, D. F. Soil characterization of mapping units for highway purposes in a tropical area. **Bulletin of the International Association of Engineering Geology**, v. 19, p. 196-199, 1979.

OLIVEIRA, C. H. **Análise de padrões e processos no uso do solo, vegetação, crescimento e adensamento urbano**: estudo de caso: Município de Luiz Antônio (SP). 2001. 101 p. Tese (Doutorado em Ecologia) - Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos.

OLIVEIRA, H. H. **Proposta de criação da área de proteção ambiental de Descalvado-SP**. 1995. 140 p. Dissertação (Mestrado em Ecologia) - Universidade de São Paulo, São Paulo.

OLIVEIRA, J. B.; PRADO, H.; ALMEIDA, C. L. F. **Carta pedológica semi-detalhada do Estado de São Paulo**: Quadrícula de Descalvado. Campinas: IAC, 1982. 1 mapa. Escala 1:100.000.

OLIVEIRA, J. B.; PRADO, H. **Levantamento pedológico semidetalhado do Estado de São Paulo**: Quadrícula de São Carlos. II. Memorial Descritivo. Campinas: IAC. 1984. 188 p. il. (Boletim Técnico, 98).

OLIVEIRA, J. B.; CAMARGO, M. N.; CALDERANO FILHO, B. **Mapa pedológico do Estado de São Paulo**: legenda expandida. Campinas: IA; Rio de Janeiro: EMBRAPA-Solos, 1999, 64 p. mapa.

OLIVEIRA, M. A. T. **Morphologie des versants et ravinements: héritages et morphogénèse actuelle dans une région de socle tropical. Le cas de Bananal, São Paulo, Brésil**. 1992, 401 p. Tese de (Doutorado em Geomorfologia) - Universidad de Paris IV, Sorbonne.

ÖNAL, H. et al. Economically efficient watershed management with environmental impact and income distribution goals. **Journal of Environmental Management**, v. 53, p. 241-253, 1998.

PECCOL, E. et al. GIS as a toll for assessing the Influence of countryside designations and planning policies on landscape change. **Journal of Environmental Management**, v. 47, p. 355-367, 1996.

PEIXOTO, M. N. O. et al. Comportamento morfodinâmico de bacias de drenagem como base ao diagnóstico e previsão de processos erosivos no médio vale do Rio Paraíba do Sul(RJ). In: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSÃO, 5., 1995, Bauru. **Anais...** São Paulo: ABGE/UNESP/DAEE, 1995. p. 175-177.

PEJON, O. J. **Mapeamento geotécnico da folha de Piracicaba 1:100.000**: estudos dos aspectos geotécnicos, de caracterização e de apresentação de atributos. 1992. Tese (Doutorado em Engenharia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

PEJON, O. J.; ZUQUETTE, L. V. Importância do estabelecimento de cartas de potencial ao escoamento superficial para definição de risco a erosão acelerada. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 37., 1992, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ABGE, 1992.

PIRES, J. S. R.; SANTOS, J. E. Bacias hidrográficas: integração entre o meio ambiente e desenvolvimento. **Ciência Hoje**, v. 19, p. 40-45, 1995.

PISSARRA, T. C. T. et al. Avaliação da erosão acelerada do solo por fotointerpretação: contribuição ao planejamento ambiental de bacias hidrográficas no município de Taquaritinga, SP. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSÃO, 7. 2001, Goiânia. **Anais...** São Paulo: ABGE, 2001. 1 CD.

POLITANO, W. **Manual do emprego de imagens aéreas na avaliação do terreno**. Jaboticabal: FUNEP/FCAV/UNESP, 1994. 33 p.

POLITANO, W.; PISSARRA, T. C. T. Erosão acelerada do solo em microbacias hidrográficas: influência da posição da microbacia no sistema natural de drenagem. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 28., 1999, Pelotas, **Anais...** Pelotas: SBEA, 1999. 1 CD.

PRANDI, E. C. **Aspectos evolutivos de erosões lineares (ravinas e boçorocas) na erosão de Marília-SP**. 1996. 379 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

PRATO, T. Multiple attribute evaluation of landscape management. **Journal of Environmental Management**, v. 60, p. 325-337, 2000.

RENFRO, W. Use of erosion equations and sediment delivery ratios for predicting sediment yields. In: **Present and prospective technology for predicting sediment yields and sources**. Washington: USDA-ARS, 1975. p. 33-45 (Handbook, S-40).

RESENDE, M. **Pedologia e fertilidade do solo**: interações e aplicações. Brasília: Ministério da Educação; Lavras:ESAL; Piracicaba:POTAFOS, 1988. 81 p.

ROCHA, R. S. Proposta de definição de uma projeção cartográfica para mapeamento sistemático em grande escala para o Estado do Rio Grande do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA, 17, Salvador, 1995. **Anais...** Salvador: SBC, 1995. v.3, p. 1178-1189.

ROSS, J. L. S. **Geomorfologia**: ambiente e planejamento. São Paulo: Contexto, 1991.

ROSS, J. L. S.; MOROZ, I. C. (Coord.). **Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo**. São Paulo: FFLCH/USP-IPT-FAPESP, 1997. 64 p. + 1 mapa color. 79 cm x 95 cm. Escala 1:500.000.

RUHE, R. V. **Geomorphology**: geomorphic process and surficial geology. Boston: Houghton Mifflin, 1975.

SALOMÃO, F. X. T. et al. **Controle de erosão**: bases conceituais e técnicas, diretrizes para o planejamento urbano e regional, orientações para o controle de boçorocas urbanas. São Paulo: DAEE/IPT, 1990.

SANDERSON, J.; HARIS, L. D. **Landscape ecology**: a top-down approach. New York: Lewis Publishers, 2000. 246 p.

SÃO PAULO (Estado)-CERH Conselho Estadual de Recursos Hídricos. **Relatório de situação dos recursos hídricos do Estado de São Paulo**. São Paulo: CCPERH, 2000.

SÃO PAULO (Estado)-CERH. **Plano estadual de recursos hídricos**. Síntese. São Paulo: CCPERH, 1990. 97 p.

SCHWAB, G. O. et al. **Soil and water conservation engineering**. New York: John Wiley & Sons. 1993, 508 p.

SILVA, A.M. **Aplicações de técnicas de geoprocessamento no estudo das relações entre os processos erosivos e sedimentológicos de bacia hidrográfica**. 1999. 249 p. Tese (Doutorado em Engenharia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

SMITH, C. S.; MCDONALD, G. T. Assessing the sustainability of agriculture at the planning stage. **Journal of Environmental Management**, v. 52, p. 15-37, 1998.

SOUZA, M. L. **Estudos geológico-geotécnicos de feições erosivas voltados à tomada de procedimentos de decisões quanto a medidas corretivas, mitigadoras e preventivas: aplicação no município de Umuarama (PR)**. 2000. 284 p. Tese (Doutorado em Geociências) - Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro.

SOUZA, C. R. G. A importância da Geomorfologia no estudo da gênese dos processos erosivos. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSÃO, 5., 1995, Bauru. **Anais...** São Paulo: ABGE/UNESP/DAEE, 1995. p.141-143.

SUDO, H. O. Conceito de sistema e a estrutura físico-antrópica dos processos erosivos. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSÃO, 6., 1998, Presidente Prudente. **Anais...** São Paulo: ABGE, 1998. 1 CD.

TARDELLI FILHO, J. **Fundamentos e metodologia de proteção aos mananciais através do disciplinamento do uso e ocupação do solo**. 1987. 260 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

THOMAS, M. F. **Geomorphology in the tropics: a study of weathering and denudation in low latitudes**. Winchester, England: John Wiley & Sons, 1994.

TOREZAN, F. E. **Análise ambiental da bacia do Rio Bonito (Descalvado, SP) com ênfase nas atividades de exploração mineral de areia**. 2000. 165 p. Dissertação (Mestrado em Ecologia) - Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos.

TORRESAN, F. E. et al. **Carta de potencial ao escoamento superficial e infiltração da bacia do Rio Bonito (Brasil) como subsídio à seleção de áreas adequadas à implantação de aterros sanitários**. 2002. Submetido.

TORRESAN, F. E.; LORANDI, R. Carta de risco potencial à erosão acelerada da bacia do Rio Bonito, Descalvado (SP): escala 1:50.000. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSIÃO, 7., 2001, Goiânia. **Anais...** São Paulo: ABGE, 2001. 1 CD.

VAL MELUS, J. Factores que controlan los procesos de erosion-sedimentacion .In: AYALA CARCEDO, F. J.; DURAN VALSERO, J.J .; PEINADO PARRA, T. (Coord). **Riesgos geologicos**. 1987. p. 153-161. (Serie Geologia Ambiental).

VILAR, O. M. Modelo matemático para a erosão dos solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 13 p. 381-385, 1989.

VILLAR, O. M.; PRANDI, E. C. Erosão dos solos. In: **Solos do interior de São Paulo**. São Carlos: ABMS/EESC-USP, 1993. p. 177-206.

WAYNE, M. G. et al.. Application of aerial photography and photogrammetry in environment forensic investigations. **Journal of Environmental Forensics**, v. 1, p. 121-129, 2000.

WEILL, M. A. M.; ROCHA, J. V.; LAMPARELLI, R. A. Potencial natural de erosão e riscos de degradação na bacia hidrográfica do Rio Mogi-guaçu (SP). In: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSIÃO, 7., 2001, Goiânia. **Anais...** São Paulo: ABGE, 2001. 1 CD.

WISCHMEIR, W. H.; SMITH, D. D. **Predicting rainfall erosion losses: a guide planning**. Washington: USDA, 1978. 58 p. (Handbook, 537).

XU; J. X. Benggang erosion: the influencing factors. **Catena**, v.27, p. 249-263, 1996.

YOUNG, R. A.; MUTCHLER, C. K. Soil movement on irregular slopes. **Water Research**, v. 5, n. 5, p. 1084-1089, 1969.

ZUQUETTE, L. V. et al. Carta de riscos potenciais de erosão - Cidade de Franca (SP) - Escala 1:25.000 (Brasil). In: SIMPÓSIO LATINOAMERICANO SOBRE RIESGOS GEOLOGICOS URBANOS, 3., 1994, Cochabamba. **Anais...** Cochabamba: CREAMOS/AGID, 1994.

GLOSSÁRIO

Classificação supervisionada do uso da terra: (SIG) Classificação é o processo de extração de informação em imagens para reconhecer padrões e objetos homogêneos. Os métodos de classificação são usados para mapear áreas da superfície terrestre que apresentam um mesmo significado em imagens digitais. Quando existem regiões da imagem em que o usuário dispõe de informações que permitem a identificação de uma classe de interesse, o tratamento é dito supervisionado.

Feição erosiva: (Geotecnia) Forma de relevo onde ocorre erosão por sulcos ou voçorocas.

Fotomosaico: (Fotogrametria) conjunto de fotografias aéreas, em que as fotos são montadas e ajustadas sistematicamente umas às outras, através dos detalhes do terreno, possibilitando uma visão completa da região fotografada.

Impacto ambiental: (Ecologia) Toda ação ou atividade, natural ou antrópica, que produz alterações bruscas em todo o ambiente ou apenas em alguns dos seus componentes.

Material inconsolidado: (Solo - Geotecnia) Produto do intemperismo físico ou químico das rochas, situado na porção superficial do manto de intemperismo. Constitui-se de material rochoso desintegrado e decomposto.

Pedoambiente: (Pedologia) Designação para o conjunto de condições e fenômenos que determinam o processo de formação de um solo, por transformações decorrentes da decomposição *in situ* da rocha matriz ou de depósitos de materiais erodidos ou redepositados.

Relevo dissecado: (Geomorfologia) Parte emersa da crosta terrestre sulcada com grande vigor pela rede hidrográfica. Essa dissecação da paisagem física de uma região pode estar ligada à erosão diferencial, às variações do nível do mar ou do regime climático, à estrutura, à isostasia etc.

Saprolito: Termo utilizado para caracterizar a rocha completa, ou parcialmente intemperizada, *in situ*.

Surgência: (Geologia) Afloramento natural de água subterrânea, que pode estar relacionado a fatores topográficos, geomorfológicos, litológicos e estruturais.