

**PREDIÇÃO DE EROSÃO E CAPACIDADE DE USO DO SOLO
NUMA MICROBACIA DO OESTE PAULISTA COM
SUPORTE DE GEOPROCESSAMENTO**

ALBERTO KAZUTOSHI FUJIHARA

Dissertação apresentada à Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Mestre em Ciências. Área de concentração: Ciências Florestais.

PIRACICABA
Estado de São Paulo – Brasil
Fevereiro – 2002

**PREDIÇÃO DE EROSÃO E CAPACIDADE DE USO DO SOLO
NUMA MICROBACIA DO OESTE PAULISTA COM
SUPORTE DE GEOPROCESSAMENTO**

ALBERTO KAZUTOSHI FUJIHARA

Engenheiro Florestal

Orientador: Prof. Dr. **LUIZ CARLOS ESTRAVIZ RODRIGUEZ**

Dissertação apresentada à Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Mestre em Ciências. Área de concentração: Ciências Florestais.

PIRACICABA
Estado de São Paulo - Brasil
Fevereiro - 2002

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - ESALQ/USP

Fujihara, Alberto Kazutoshi

Predição de erosão e capacidade de uso do solo numa microbacia do oeste paulista com suporte de geoprocessamento / Alberto Kazutoshi Fujihara. - - Piracicaba, 2002.

118 p. : il.

Dissertação (mestrado) - - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2002.

Bibliografia.

1. Bacia hidrográfica 2. Erosão 3. Geoprocessamento 4. Mapa de uso da terra 5. Risco ambiental 6. Uso do solo I. Título

CDD 551.302

“Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor”

Dedico este trabalho ao meu filho, Yuiti e a minha esposa, Tatiana;
a minha mãe, Chizuko;
aos meus irmãos, Yuko, Yuji, Yoko, Daniel, Junko, e a seus
familiares;
ao amigo Paulo.

"Toda sabedoria vem do Senhor e está com ele para sempre.

... a sabedoria foi criada antes de todas as coisas, e a inteligência prudente foi criada
antes dos séculos...

... Ele a repartiu entre os seres vivos, conforme a sua generosidade, e a concedeu a
todos aqueles que o amam...

... Deus viu e enumerou a sabedoria, fazendo chover a ciência e a inteligência,
exaltando a honra daqueles que a possuem. A raiz da sabedoria é temer ao
Senhor, e seus ramos são vida longa."

(Eclesiástico 1:1)

AGRADECIMENTOS

Ao professor Luiz Carlos Estraviz Rodriguez, pela amizade, apoio, sugestões e muita paciência durante o desenvolvimento do trabalho;

À Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de mestrado;

Ao Departamento de Ciências Florestais da ESALQ/USP, em nome do professor José Otávio Brito, pela oportunidade da realização do mestrado;

Aos professores Ricardo A. de Arruda Veiga e Carlos Marchesi de Carvalho, do Departamento de Recursos Naturais, UNESP, Botucatu, pela oportunidade de desenvolver o trabalho;

Ao professor Luiz Alberto Blanco Jorge, do Departamento de Recursos Naturais, UNESP, Botucatu, pela amizade e ensinamentos em SIG;

Ao pesquisador Francisco Lombardi Neto, do Centro de Solos e Recursos Agroambientais do IAC, Campinas;

À consultora Maria José Brito Zakia do IPF pelas sugestões e inspiração;

Aos amigos Maurício Scorsatto Sartori, Ricardo Marques Barreiro, Viviana Kyoko Oki, Luiz Carlos de Faria, Vitor Gonzaga Barchet, Marcelino Carneiro Guedes, Luciano Mendez Vaz, Carla Daniela Câmara, Ezer Dias de Oliveira e Ciro Koichi Matsukuma;

Aos amigos do LMQ/LCF: Maurício R. Gorenstain, Fabiano A. Rodrigues, Mário J. C. dos Santos, Flaviana M. de Souza, Paulo Pompermayer Neto e Gustavo S. Betini;

Aos amigos do Departamento de Ciências Florestais e IPEF: Maria de Fátima Durrer Juliani, Marialice Metzker Poggiani, Margarete Zandoná Pinese, Jefferson Lordello Polizel, Rogério Oliveira Naressi, José Martins Oliveira, Alexandre, Ivo, Danilo e Erivelton;

Às bibliotecárias da Biblioteca Central da ESALQ/USP: Eliana Maria Garcia; Silvia Maria Zinsly pela dedicação nas correções;

Ao técnico Edson Ferreira apoio nos trabalhos de campo;

Ao Yuji pela incentivo, paciência, sugestões e orientações;

Ao Paes, Yuri, vó Laly e toda família Nogueira Pinto que me acolheram;

A todos os meus familiares pelo confiança, incentivo e apoio.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE FIGURAS.....	viii
LISTA DE TABELAS.....	x
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS.....	xiii
RESUMO.....	xiv
SUMMARY.....	xvi
1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Objetivos e hipóteses.....	3
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	5
2.1 Desenvolvimento agrícola sustentado.....	5
2.2 Histórico de ocupação do oeste do Estado de São Paulo.....	8
2.2.1 Sistema produtivo da pecuária.....	11
2.2.2 Reflorestamento.....	12
2.3 Conservação dos recursos naturais no Estado de São Paulo.....	13
2.4 Critérios de avaliação de terras.....	14
2.4.1 Estimativa de perda de solo e predição do risco de erosão.....	15
2.4.2 Capacidade de uso da terra.....	19
2.5 Importância do geoprocessamento no planejamento ambiental.....	21
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	27
3.1 Área de estudo.....	27
3.2 Material e equipamentos.....	28
3.3 Geração da base de dados.....	29
3.3.1 Clima.....	30

3.3.2 Geologia e geomorfologia.....	30
3.3.3 Dados topográficos.....	31
3.3.4 Modelo digital de elevação (MDE).....	32
3.3.5 Setorização da microbacia.....	33
3.3.5.1 Subdivisão da microbacia.....	33
3.3.5.2 Estrutura fundiária.....	34
3.3.6 Declividade.....	34
3.3.7 Pedologia.....	35
3.3.7.1 Método de trabalho de escritório.....	35
3.3.7.2 Método de trabalho de campo.....	36
3.3.7.3 Métodos analíticos.....	37
3.3.7.3.1 Composição granulométrica.....	37
3.3.7.3.2 Composição química.....	37
3.3.7.4 Cálculos.....	38
3.3.7.5 Explicações sobre termos utilizados na descrição dos solos.....	38
3.4 Critérios para avaliação da adequabilidade do uso da terra.....	39
3.4.1 Identificação das áreas de risco de erosão.....	39
3.4.1.1 A Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS) e o risco de erosão natural.....	40
3.4.1.2 Risco de erosão simulado.....	42
3.4.1.3 Expectativa de erosão.....	43
3.4.1.4 Fatores da EUPS.....	44
3.4.1.4.1 Erosividade da chuva (R)	44
3.4.1.4.2 Erodibilidade do solo (K) e Tolerância de perda de solo ($A_{\text{tolerável}}$).....	45
3.4.1.4.3 Fator topográfico (LS).....	46
3.4.1.4.4 Fator uso e manejo (C).....	49
3.4.1.4.5 Fator prática conservacionista (P).....	50
3.4.2 Capacidade de uso da terra.....	50
3.4.2.1 Fatores limitantes considerados.....	53
3.3 Validação dos modelos de estimativa de erosão.....	56

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	57
4.1 Caracterização do meio físico da microbacia.....	57
4.1.1 Clima.....	57
4.1.2 Geologia e geomorfologia..	60
4.1.3 Caracterização topográfica.....	61
4.1.4 Modelo digital de elevação.....	64
4.1.5 Setorização da microbacia.....	67
4.1.6 Declividade.....	71
4.1.7 Pedologia.....	73
4.2 Diagnóstico das limitações e potencial de uso.....	79
4.2.1 Risco potencial de erosão.....	79
4.2.1.1 Erosividade da chuva.....	79
4.2.1.2 Fator topográfico.....	80
4.2.1.3 Análise do Fator C.....	85
4.2.1.4 Diagnóstico do risco de erosão.....	87
4.2.2 Capacidade de uso das terras.....	93
4.3 Validação dos modelos de identificação do risco de erosão.....	95
5 CONCLUSÕES.....	106
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	108

LISTA DE FIGURAS

	Página
1 Localização da microbacia do ribeirão Itambi.....	27
2 Balanço hídrico mensal para a região da microbacia de Itambi.....	59
3 Mapa geológico e geomorfológico da microbacia do córrego Itambi.....	61
4 Topografia da microbacia do Ribeirão Itambi.....	63
5 Comparativo dos modelos de representação da topografia da microbacia através das cotas obtidas a partir dos MDE's.....	65
6 Representações do relevo da microbacia gerados com o MDE.....	66
7 Distribuição das propriedades na microbacia do ribeirão Itambi.....	68
8 Setorização da microbacia do ribeirão Itambi.....	70
9 Mapa de declividade.....	71
10 Mapa de solos da microbacia do ribeirão Itambi.....	74
11 Comprimento de rampa e o fator topográfico (LS) resultante.....	80
12 Influência do comprimento de rampa e da declividade na variação do fator LS determinado pela equação desenvolvida por Bertoni.....	81
13 Fator topográfico estimado com LS-USLE2D, utilizando o algoritmo de "decomposição do fluxo" e a opção "Govers".....	83
14 Distribuição das classes de LS na microbacia do ribeirão Itambi, utilizando-se os métodos de rampas (Rocha et al. 1997) e automatizado (USLE-2D).....	84

15 Risco de erosão natural na microbacia do ribeirão Itambi, com fator LS estimado com USLE-2D.....	89
16 Risco de erosão simulado para condições de pastagem com baixo nível de manejo (LS estimado pelo método de rampas).....	90
17 Risco de erosão simulado para condições de pastagem com baixo nível de manejo (LS estimado com USLE-2D).....	91
18 Capacidade de uso das terras da microbacia do ribeirão Itambi.....	94
19 Mapa de localização das erosões existentes no setor 12 da microbacia do ribeirão Itambi.....	96
20 Uso atual da terra no setor 12 da microbacia.....	98
21 Topografia do setor representado pelo modelo digital do terreno (MDE) e pelo perfil vertical do corte transversal.....	99
22 Mapa de declividade do setor 12 da microbacia do ribeirão Itambi.....	100
23 Fator topográfico (LS) do setor 12 da microbacia do ribeirão Itambi, utilizando o método de cálculo automatizado.....	101
24 Mapa de solos do setor 12 da microbacia do ribeirão Itambi.....	102
25 Risco de erosão simulado (es) no setor 12 da microbacia do ribeirão Itambi utilizando fator LS obtido pelos métodos de rampa (a) e automatizado (b).....	105

LISTA DE TABELAS

	Página
1. Solos do Grupo Bauru no oeste do Estado de São Paulo e suas relações com relevo, litologia e suscetibilidade à erosão.....	31
2. Classificação do relevo em relação às classes de declividade.....	35
3. Classes de textura de solo.....	37
4. Classificação do risco de erosão natural (e).....	42
5. Classificação do risco de erosão.....	43
6. Classificação da expectativa de erosão.....	44
7. Valores de erodibilidade (K) e tolerância anual à perda de solos ($A_{\text{tolerável}}$) para as unidades de solos encontradas na Microbacia de Itambi.....	46
8. Valor de P para algumas práticas conservacionistas.....	50
9. de julgamento das classes de capacidade de uso.....	52
10. Classes de atribuição de nota para os valores de pH.....	53
11. Atribuição de nota para as classes de V%.....	53
12. Atribuição de nota para as classes de CTC.....	53
13. Atribuição de nota para as classes de teor de MO.....	54
14. Relação entre a fertilidade aparente e a classe de capacidade de uso.....	54
15. Atribuição de nota para a contribuição do tipo de solo no deflúvio.....	55
16. Atribuição de nota para a contribuição da declividade no deflúvio.....	55

17. Relação entre o deflúvio e a classe de capacidade de uso.....	55
18. Classificação da capacidade de uso da terra relacionada com o risco de erosão natural (e).....	56
19. Precipitação pluviométrica média e sua porcentagem de distribuição ao longo do ano para a região de Panorama.....	57
20. Variação média dos atributos climáticos na Estação Meteorológica de Presidente Prudente no período de 1969 a 1976.....	58
21. Balanço hídrico de “Thornthwaite & Mather - 1955” para a região da microbacia de Itambi.....	59
22. Características físicas da microbacia.....	62
23. Comparativo dos resultados dos MDE gerados para a microbacia do ribeirão Itambi.....	64
24. Distribuição das propriedades por classe de tamanho e a área correspondente na microbacia.....	67
25. Divisão da microbacia em setores.....	69
26. Declividade média e máxima nos setores da microbacia e a distribuição em classes de declive.....	72
27. Distribuição de solos na microbacia do ribeirão Itambi segundo a classificação de solos da Embrapa (1999).....	75
28. Atributos físicos e químicos da camada “a” dos solos da microbacia do ribeirão Itambi.....	76
29. Atributos físicos e químicos da camada “b” dos solos da microbacia do ribeirão Itambi.....	77
30. Erosividade e sua porcentagem de distribuição ao longo do ano para a Região de Panorama.....	79
31. Variação do potencial natural de erosão (PNE) em função dos diferentes valores de LS e dos solos da microbacia do ribeirão Itambi.....	85

32. Variação dos valores de uso e manejo, fator C, para os diferentes usos.....	86
33. Valores de $C_{\text{tolerável}}$ resultantes da variação do PNE e do tipo de solo da microbacia, considerando-se o fator P igual a 1,0.....	86
34. Distribuição das áreas de risco de erosão natural na microbacia.....	87
35. Comparativo da distribuição das áreas de risco simulado estimado para os dois métodos de determinação do fator LS.....	88
36. Risco de erosão nos setores da microbacia do ribeirão Itambi.....	92
37. Distribuição da capacidade de uso da terra (CUT) na microbacia do ribeirão Itambi.....	93
38. Distribuição das áreas em função do uso atual.....	97
39. Distribuição de solos no setor 12 da microbacia do ribeirão Itambi....	103

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

CBH-AP	Comitê das Bacias Hidrográficas dos rios Aguapeí e Peixe
DWG	formato residente do programa Autocad
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EUPS	Equação Universal de Perdas de Solo
FAO	Food and Agriculture Organization (United Nations)
FEPAF	Fundação de Estudos e Pesquisas Agrícolas e Florestais
Gi	Gleissolo indiscriminado
GIS	Geographic Information System
GPS	NAVSTAR/GPS: NAVigation System with Time And Ranging / Global Positioning System - Sistema de Posicionamento Global por satélite
IDW	interpolador Inverse Distance Weighting
IG/SP	Instituto Geológico de São Paulo (antigo Instituto Geográfico e Geológico)
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas
LS	fator topográfico
LVA _d	Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico típico A moderado textura média
LVA _e	Latossolo Vermelho Amarelo Eutrófico típico A moderado textura média
LV _d	Latossolo Vermelho Distrófico típico A moderado textura média
LV _e	Latossolo Vermelho Eutrófico típico A moderado textura média
MDE	Modelo Digital de Elevação
MNT	Modelo Numérico do Terreno
MUSLE	Modified Universal Soil Loss Equation
PI	Plano de Informação
PNE	Potencial Natural de Erosão
PV _{Ad}	Argissolo Vermelho Amarelo Distrófico arênico A moderado textura arenosa/média
PV _d	Argissolo Vermelho Distrófico arênico A moderado textura arenosa/média
PV _{e1}	Argissolo Vermelho Eutrófico arênico A moderado textura arenosa/média
PV _{e2}	Argissolo Vermelho Eutrófico abrupto típico A moderado textura arenosa/média
RQ _g	Neossolo Quartzarênico Hidromórfico
RQ _o	Neossolo Quartzarênico Órtico
RUSLE2	Revised Universal Soil Loss Equation versão 2000
SIG	Sistema de Informação Geográfica
TIN	interpolador " Triangular Irregular Network"
UGRHI	Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos
USLE	Universal Soil Loss Equation
USLE-2D	programa de cálculo do fator topográfico LS
UTM	Universal Transverse Mercator
WCED	World Commission on Environment and Development

PREDIÇÃO DE EROSÃO E CAPACIDADE DE USO DO SOLO NUMA MICROBACIA DO OESTE PAULISTA COM SUPORTE DE GEOPROCESSAMENTO

Autor: Alberto Kazutoshi Fujihara

Orientador: Prof. Dr. Luiz Carlos Estraviz Rodriguez

RESUMO

O mapeamento do risco de erosão é uma ferramenta essencial para o planejamento de uso da terra. Este trabalho testa quatro modelos de predição do risco de erosão e capacidade de uso da terra: Risco de Erosão Natural, Risco de Erosão Simulado, Expectativa de Erosão e Capacidade de Uso da Terra. Esses modelos permitem diagnosticar as áreas potenciais e restritas ao uso agrícola em uma microbacia hidrográfica localizada na região do oeste paulista, utilizando recursos de geoprocessamento. O trabalho envolveu as seguintes etapas: i) caracterização da microbacia através de um banco de dados de atributos físicos construído com o auxílio de três sistemas de informações geográficas (SIG): Idrisi, Ilwis e ArcView; ii) elaboração dos mapas de risco de erosão gerados através dos três modelos derivados da Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS) e da Capacidade de Uso da Terra; iii) validação do modelo de risco de erosão através da análise comparativa das erosões com os fatores erosivos e o grau de risco indicado pelo modelo. Foram definidos 33 setores para identificar e classificar as áreas mais críticas da

microbacia. O risco de erosão foi analisado por 3 índices: de erosão natural (e), de erosão simulado (es) e expectativa de erosão (ee). Foi constatado que o índice de expectativa de erosão não é sensível a valores altos de potencial natural de erosão (PNE). Na microbacia há predomínio das classes de risco de erosão natural moderado a alto em 65,7% da área (3.649,2ha). Para condições simuladas de pastagem degradada, a área da microbacia que apresenta perda de solo em níveis toleráveis corresponde a 65,4% da área (3.634,6ha) para fator topográfico (LS) obtido pelo método das rampas e 83,1% (4.623,2ha) para o método automatizado. A estimativa de perda de solo média anual por setor variou de 7 a 40 toneladas por hectare para as condições simuladas e considerando-se os valores de LS do método automatizado. O uso com pastagem e reflorestamento é indicado como o mais adequado para 90,1% (5.022,7ha) da microbacia, segundo a classificação de Capacidade de Uso da Terra e 0,3% (16,0ha) da área total é recomendada para fins de preservação da vida silvestre. O modelo de risco de erosão simulado, utilizando valores de LS automatizado, foi o que apresentou a melhor correlação visual com os processos erosivos levantados na microbacia com equipamento GPS. As terras ocupadas com pastagem encontram-se em intenso estado de degradação devido a interação entre as condições naturais favoráveis e ao manejo inadequado. A ocorrência de erosões lineares (sulcos, ravinas e voçorocas) estão relacionadas ao caminhamento do gado e dimensionamento incorreto dos terraços, que intensificaram os efeitos erosivos da concentração do escoamento superficial. Os setores 28 e 12 foram os que apresentaram o nível mais crítico de risco de erosão. Os recursos de geoprocessamento, especificamente o SIG, foram importantes ferramentas de diagnóstico para o planejamento ambiental, simulando e analisando diversos cenários com agilidade.

PREDICTION OF EROSION AND LAND USE CAPABILITY WITH GEOPROCESSING SUPPORT IN A WATERSHED LOCATED ON A WESTERN PART OF THE STATE OF SÃO PAULO

Author: Alberto Kazutoshi Fujihara

Adviser: Prof. Dr. Luiz Carlos Estraviz Rodriguez

SUMMARY

The mapping of the erosion risk is an essential tool for the planning of land use. This work tests four models to predict erosion risk and land use capacity: Natural Erosion Risk, Simulated Risk of Erosion, Erosion Expectation and Land Use Capability. These models allowed the mapping of potential and restricted areas for agricultural use in a watershed located in the west side of the State of São Paulo, using geoprocessing resources. The work involved the following phases: i) characterization of the watershed based on a database of physical attributes constructed with the aid of three geographic information systems (GIS): Idrisi, Ilwis and ArcView; II) elaboration of the maps of erosion risk based on three models derived from the Universal Soil Loss Equation (USLE) and the Capability of Land Use; III) validation of the model of erosion risk through the comparative analysis of the erosions with the erosion factors and the level indicated in the erosion risk model. Thirty three sectors were defined to identify and to classify the most critical areas in the watershed. The

erosion risk was analyzed by 3 indexes: natural erosion risk (e), simulated erosion risk (es) and erosion expectation (ee). It was observed that the index of erosion expectation does not respond to high values of natural potential of erosion (PNE). In the watershed prevailed moderate to high categories of natural erosion risk in 65,7% of the area (3.649,2ha). For simulated conditions of degraded pasture, the area of the watershed that presents soil loss tolerance in tolerable levels corresponds 65,4% of the area (3.634,6ha) for topographical factor (LS) calculated by the manual method and 83,1% (4.623,2ha) for the automatic method (USLE-2D). The estimate of annual soil loss average for each sector varied from 7 to 40 tons per hectare on the simulated conditions and considering the LS-values of automatic method. Pasture and reforestation is the most indicated use suitable in 90.1% (5.022,7ha) of the watershed, according to the Capacity of Use of Land indicator, and 0,3% (16,0ha) of the total area are assigned to the preservation of the wildlife. The simulated erosion risk model, using automatized LS-values, presented the best visual correlation with the erosion processes surveyed on the field with GPS. The lands used with pasture present high degree of degradation due to the interaction of favorable natural conditions and inadequate management. The occurrence of linear erosions (rill and gully) is related to the cattle tracking and incorrect dimensioning of the terraces, that had intensified the erosive effect of the concentrated flow. Sectors 28 and 12 were the ones with the most critical level of erosion risk. The geoprocessing resources, specifically GIS proved to be an important tool to generate environmentally adequate plans simulating and analyzing different scenarios with agility.

1 INTRODUÇÃO

A natureza exerce papel fundamental na existência da humanidade, visto que o suprimento das necessidades básicas do homem provém dos recursos naturais, tanto no aspecto fisiológico, com o consumo de ar, água e alimentos, como nos mecanismos de proteção, que incluem vestimenta, habitação e medicamentos.

A natureza também é a fonte de inspiração na criação, desenvolvimento e aperfeiçoamento dos produtos gerados pelo homem, que incluem desde os simples utensílios aos complexos sistemas. A convivência do homem com a natureza, portanto, deveria ser harmoniosa devido a sua relação de dependência, mas processos históricos de ocupação podem ajudar a compreender a atual situação de degradação dos recursos ambientais e naturais.

O desenvolvimento agrícola no oeste do Estado de São Paulo ocorreu com a expansão da atividade cafeeira ao longo das ferrovias no início do século XX. A crise no mercado internacional em 1929 e a crescente importância da industrialização na economia, tornaram a cafeicultura pouco atrativa, sendo substituída por outras atividades como plantio da cana-de-açúcar e algodão, e atualmente, predomina a pecuária bovina de corte. Neste último caso, o sistema produtivo adotado foi o sistema extensivo, baseado em pastagens que ocupam extensas áreas de terras.

No processo de ocupação, foram nítidas as alterações ocasionadas ao meio ambiente, inicialmente com a retirada sistemática da vegetação nativa e posteriormente pela formação e crescimento dos centros urbanos. Esse desmatamento foi feito de modo desordenado, não levando em consideração a capacidade de uso das terras e sim fatores de ordem econômica.

Essa ocupação inadequada associada às condições naturais de solo e clima da região oeste do estado, provocou a aceleração dos processos erosivos que resultaram na degradação do solo e da água, com reflexos nos aspectos ambientais e sócio-econômicos. Essas mudanças vêm trazendo conseqüências que persistem até o presente momento, entre as quais podemos citar a alteração na produção e na qualidade da água, nas condições mesoclimáticas, redução dos nichos ecológicos e da biodiversidade de espécies, diminuição da capacidade produtiva dos solos, redução da área produtiva, desvalorização da propriedade e a descapitalização dos proprietários.

A situação atual de perturbação do meio ambiente tende a piorar, visto que o crescimento populacional é o fator que mais pressiona a demanda por alimentos e outros recursos naturais, levando o homem a buscar novas soluções para atingir os níveis de produção requeridos. A população mundial de aproximadamente 1 bilhão de habitantes em 1800, dobrou sucessivamente nas décadas de 20 e 70 do século XX, atingindo 6 bilhões em 2000. As estimativas indicam que o planeta terá entre 8 a 9 bilhões de habitantes em 2025, ou seja, devem ocorrer mudanças na sociedade para suprir essa demanda futura tanto no sistemas produtivos como na concepção de novos produtos, na distribuição de alimentos, racionalização do uso e reciclagem.

O aumento da produção agrícola no Estado de São Paulo ocorreu inicialmente com a expansão de novas fronteiras agrícolas e, posteriormente com aumentos de produtividade por área plantada com a intensificação do uso de insumos e equipamentos através da revolução verde ocorrida na década de 70. Atualmente, o maior enfoque na pesquisa científica, tanto para o aumento como para a manutenção dos níveis produtivos é o desenvolvimento de

variedades melhoradas, através da biotecnologia. Essas variedades por mais melhoradas que sejam, continuarão a depender das condições de clima, da água e do solo para viabilizar o seu ciclo biológico e obter os ganhos esperados.

Portanto, para garantirmos tanto a oferta de alimentos e água como das condições climáticas para nossa sobrevivência, torna-se necessário recuperar as áreas degradadas e adequar as propriedades rurais com a adoção de técnicas e metodologias que visem o desenvolvimento agrícola sustentável.

O manejo ambiental que melhor se adapta ao desenvolvimento agrícola sustentável é a abordagem do manejo ambiental da microbacia hidrográfica, que implica numa visão integrada ou ecossistêmica de manejo dos recursos naturais, a qual abrange interesses multidisciplinares.

Este trabalho procura dar subsídios ao planejamento voltado ao desenvolvimento agrícola sustentado de uma microbacia, com enfoque nas propriedades em escala meso, através da utilização dos recursos de geoprocessamento.

1.1 Objetivos e hipóteses

O presente trabalho tem como objetivo principal testar modelos empíricos de risco de erosão e capacidade de uso da terra para o planejamento de uso nas propriedades, localizadas em uma microbacia hidrográfica do oeste paulista, utilizando geoprocessamento.

Para isto serão realizados:

- A. Caracterização do meio físico da microbacia hidrográfica;
- B. Determinação das potencialidades e limitações de uso agrícola na microbacia através de modelos de predição do risco de erosão e capacidade de uso da terra;

- C. Identificar os setores, definidos pelas sub-bacias, que apresentam maior criticidade em relação aos processos erosivos;
- D. Validar o modelo de predição de risco de erosão através do levantamento do uso atual e do grau de degradação dos solos em um dos setores críticos da microbacia.

Associadas com esses quatro objetivos definem-se hipóteses de trabalho, para as quais procuram-se evidências para corroborá-las ou não. As hipóteses são as seguintes:

- a) As informações disponíveis são suficientes para a elaboração de um planejamento local de uma microbacia;
- b) O uso dos recursos da microbacia pode ser ordenada em função da identificação das áreas de risco de erosão e da capacidade de uso da terra;
- c) O uso e manejo da terra predominante nas propriedades estão inadequados às condições naturais, gerando impactos ambientais;

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Desenvolvimento agrícola sustentado

“O verdadeiro desafio enfrentado pelo desenvolvimento agrícola é manter aumentos sustentados e progressivos da produção e, ao mesmo tempo, garantir a sustentabilidade dos recursos de produção e prevenir sua degradação” (Maalouf, 2000).

Segundo a definição do World Commission on Environment and Development (WCED), “desenvolvimento sustentável é o desenvolvimento que atende as necessidades das gerações presentes sem comprometer a capacidade das gerações futuras de satisfazerem as suas próprias necessidades” (Maalouf, 2000; Daniel, 2000).

Para Daniel (2000), essa definição de desenvolvimento sustentável, dada pelo WCED¹, possui o mérito de estimular a integração e a equidade inter e intra-regional, mas não é o ideal, pois é de difícil interpretação, preferindo o entendimento do desenvolvimento sustentável como promotor da sustentabilidade, no qual, a sustentabilidade é conceituada como a habilidade de um sistema em manter sua produtividade quando este se encontra sujeito a intenso esforço ou alterações (Daniel, 2000).

¹ WORLD COMMISSION ON ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT. **Our common future**. Oxford: Oxford University Press, 1987. 400p.

Baseado na definição da WCED, o Conselho de Alimentos e Organização Agrícola das Nações Unidas (Council of Food and Agriculture Organization of the United Nations – FAO) adotou a seguinte definição para desenvolvimento agrícola sustentado: “é o gerenciamento e conservação da base dos recursos naturais e a orientação da mudança tecnológica e institucional, assegurando a realização e satisfação continuada das necessidades humanas para gerações presentes e futuras. Esse desenvolvimento sustentado (nos setores agrícola, florestal e pesqueiro) conserva os recursos genéticos da terra, água, vegetação e animal, não degrada o meio ambiente, é apropriado tecnicamente, viável economicamente e aceitável socialmente” (Maalouf, 2000).

Maalouf (2000), considerando a definição acima, citou a importância do envolvimento humano no desenvolvimento agrícola sustentado para a conservação dos recursos naturais. Dentro desta conjuntura, para implantação dos projetos de desenvolvimento agrícola sustentável, deve-se assegurar tanto a viabilidade econômica como o apoio e envolvimento da comunidade rural diretamente envolvida.

Segundo Flores & Macêdo (1999), a estratégia de ação das políticas públicas para os novos rumos do desenvolvimento rural é o desenvolvimento rural ao âmbito local, onde realmente ocorrem as relações sociais de produção. Para os autores, o ponto principal é a mudança de prioridade do enfoque produtivista-reducionista para o enfoque da sustentabilidade, um conceito holístico cuja abrangência envolve os condicionantes ambientais, históricos, sociais, políticos e econômicos, dentre outros.

As causas básicas da insustentabilidade estão relacionadas com a escassez de recursos naturais, degradação do solo, disponibilidade limitada de água, crescimento rápido da população, diminuição da força de trabalho agrícola, a falência dos sistemas produtivos tradicionais, ao sistema agrícola patronal e a pobreza generalizada nas áreas rurais – ligados a diversos fatores como a falta de recursos financeiros, saúde precária, limitações de

conhecimentos e técnicas (Silva, 1994; Veiga, 1995; Maalouf, 2000; Flores & Macêdo, 2001).

Segundo Dupas (2000), o grande problema no capitalismo atual, regido pela globalização e inovações tecnológicas, é que o saber atual encontra-se a serviço do capital, que visa o máximo retorno do seu investimento e não tem compromisso com a preservação da Terra e, menos ainda, com o bem-estar da humanidade. Para o autor, o fascínio pela novidade tecnológica e a ausência total de valores éticos, que definem limites e rumos, poderão tanto estar encubando novos deuses, que conduzirão a Humanidade à sua redenção, como serpentes cujos venenos ameaçarão sua própria sobrevivência.

O padrão tecnológico vigente, baseado na utilização de insumos químicos, motomecanização e da biotecnologia, apesar de ter assegurado alimentação básica de uma parte da população, é um sistema depredador e direcionada para a insustentabilidade (Veiga, 1995). Para o autor, o modelo não perderá força enquanto não houver uma solução viável que garanta a segurança alimentar aos países. A transição para a agricultura sustentável depende do avanço do conhecimento agroecológico e das ciências correlatas, e da difusão dos conhecimentos que a ciência já produziu no ensino básico, na formação profissional do agricultor, e na assistência técnica e extensão rural (Veiga, 1995).

A dissociação entre o homem e a natureza decorre de profundas transformações que a sociedade passa, explicadas pela passagem de um período de intenso tecnicismo para um período de especialização e dissociação das atividades humanas com a natureza, no qual os critérios puramente econômicos e tecnológicos foram impostos (Miklós, 2001).

A implantação de um programa racional de utilização e manejo de recursos naturais deve considerar a participação direta das comunidades rurais, conjugando os interesses de todos os segmentos no que se refere à elevação de renda e do bem-estar social em harmonia (Assad et al. 1998). Deste modo, para que cada participante da comunidade tenha oportunidade de democratizar

seu conhecimento e sua percepção particular, ao mesmo tempo em que politiza sua problemática pessoal, é importante que receba informações sobre o diagnóstico do seu ambiente (Arruda, 1999).

Segundo Câmara et al. (2001), o conceito de desenvolvimento sustentado, consagrado na Rio-92, estabeleceu que as ações de ocupação do território devem ser precedidas de uma análise abrangente de seus impactos no ambiente, a curto, médio e longo prazo. Na perspectiva moderna de gestão do território, toda ação de planejamento, ordenação ou monitoramento do espaço deve incluir a análise dos diferentes componentes do ambiente, incluindo o meio físico-biótico, a ocupação humana, e seu inter-relacionamento.

Algumas medidas legais e políticas refletem a mudança de comportamento da sociedade com relação ao desenvolvimento sustentável, fazendo parte das pautas de discussão dos planejadores devido à obrigatoriedade de Estudos e Relatórios de Impacto Ambiental (EIA/RIMA), como condição prévia para novos projetos de ocupação do espaço, como rodovias, indústrias e hidroelétricas, e aos Programas de Zoneamento Ecológico-Econômico para disciplinar o desenvolvimento regional (Câmara et al., 2001).

2.2 Histórico de ocupação do oeste do Estado de São Paulo

A complexidade e a diversidade dos sistemas agrários, segundo Garcia Filho (s.d.), decorrem das formas de uso do espaço que evoluem ao longo da história devido aos fatores ecológicos (mudanças climáticas, desmatamento, depauperação do solo, etc.), técnicos (surgimento de novas tecnologias ou variedades, introdução de novas culturas) e econômicos (variação de preços, mudanças nas políticas agrícolas, desenvolvimento ou declínio de agroindústrias, surgimento de oportunidades comerciais, etc.).

A história de ocupação do oeste paulista se relaciona com a história da expansão agrícola do estado. Essa ocupação iniciou-se a partir do litoral (Santos/São Vicente), passando pelos campos da borda do planalto (São Paulo/São Bernardo do Campo) e, finalmente, expandindo-se para todo o interior do estado, utilizando, inicialmente, os caminhos naturais e as trilhas indígenas pré-cabralinas e, posteriormente, as estradas construídas (Comitê das Bacias Hidrográficas dos rios Aguapeí e Peixe - CBH-AP, 1997).

O início da interiorização do estado ocorreu somente no século XVIII, de forma incipiente e esparsa, principalmente com a criação de gado, no Vale do Ribeira, e algumas tentativas de cultivo da cana-de-açúcar, entre os rios Mogi-Guaçu e Piracicaba (CBH-AP, 1997).

No final do século XVIII, o café surgiu para alavancar a ocupação territorial em todo o estado. A cafeicultura, proveniente do Rio de Janeiro, foi implantada inicialmente no Vale do Ribeira e, progressivamente, nas regiões com solos mais férteis em direção à capital. Entre o final do século XIX e início do século XX, iniciou-se a corrida para a região oeste, em busca de novas terras férteis para o cultivo do café (Victor, s.d; CBH-AP, 1997).

No Estado de São Paulo, a área originalmente existente de florestas naturais correspondia a 81,8% de sua área total, ou seja, cerca de 20,4 milhões de hectares. Em 1935, já havia sido reduzida drasticamente a 26,2% da área do estado, concentradas principalmente no extremo oeste e na faixa litorânea. Estima-se que atualmente existam apenas 2,4 milhões de hectares de matas naturais, sendo que 1,1 milhões de hectares estão localizados na Serra do Mar (Victor, s.d.; Toledo, 1997).

O desmatamento na região oeste do Estado de São Paulo ocorreu mais intensamente a partir da década de 20, através do avanço das estradas de ferro que facilitaram o acesso à região e promoveram a formação dos núcleos urbanos. Além da cafeicultura, implantada nas áreas de solos mais férteis, geralmente localizadas nas regiões dos espigões, surgiram as grandes

fazendas de criação de gado ocupando as faixas marginais de solos (Victor, s.d.; CBH-AP, 1997).

Com a crise econômica internacional de 1929, o café foi sendo parcial e sucessivamente substituído pelas culturas de algodão, amendoim, cana-de-açúcar e citrus. As culturas implantadas foram selecionadas principalmente em função das demandas e preços do mercado internacional. Contudo, a implementação das culturas de ciclo mais curto intensificou os problemas erosivos e esgotou paulatinamente os solos naturalmente pobres do estado, levando, conseqüentemente, a formação predominante de extensos campos de pastagem no oeste paulista (CBH-AP, 1997).

O processo de modernização da agricultura brasileira tomou grande impulso a partir da década de 60 com o uso de máquinas, equipamentos e insumos. Essa mudança gerou inegáveis aumentos de produção e produtividade, mas o uso inadequado dos equipamentos para as condições locais de solo, relevo e clima, aumentou o ritmo de degradação dos solos pela erosão (CBH-AP, 1997).

Segundo Flores & Macêdo (1999), a década de 70 foi caracterizada pelo milagre econômico brasileiro, cujas relações capitalistas no setor agropecuário foram intensificadas e a acumulação de riquezas constituiu-se na agenda do modelo vigente. Segundo os autores, as políticas de desenvolvimento da agricultura foram conduzidas pelo paradigma de crescimento linear da produtividade agropecuária a partir da substituição de fatores de produção ditos tradicionais (mão-de-obra e terra), por fatores modernos e intensivos de capital (máquinas, irrigação e fertilizantes químicos).

Na década de 80, as políticas de desenvolvimento rural no Brasil continuaram a trilhar os moldes da Revolução Verde, mesmo com o predomínio das crises e recessões econômicas, exacerbando a concentração de terras e de riquezas em pequenas parcelas da população. Portanto, o aumento da produção e da produtividade das lavouras e criações acontecia a partir de

cultivares de alto rendimento e dependentes de insumos intensivos em capital (Flores & Macêdo, 1999).

2.2.1 Sistema produtivo da pecuária

As antigas regiões agrícolas de Presidente Prudente e Araçatuba, região oeste do Estado de São Paulo, são conhecidas como importantes praças do boi gordo e na região de São José do Rio Preto, a pecuária bovina se destaca como atividade predominante apesar do avanço das culturas da laranja e da cana-de-açúcar (Hasegawa, 1995).

A engorda de bovinos para abate exige tempo relativamente longo por se tratar de ruminantes de grande porte. O processo consiste, basicamente, na conversão do nitrogênio nas suas formas mineralizadas em proteínas e para isso são necessários cerca de quatro anos nos países de pecuária mais atrasada e extensiva, e a metade deste tempo nos países desenvolvidos (IGREJA, 1987).

Uma característica básica, comum à pecuária de corte em todas as regiões do mundo, diz respeito ao atendimento das necessidades alimentares dos rebanhos, que exige a utilização das áreas relativamente extensas de terra, as quais tanto podem ser mantidas sob a forma de pastagens (cultivadas ou nativas), como ocorre nos países onde o preço relativo da terra é menor, como plantadas com alimentos que irão compor os concentrados fornecidos para os animais. Acrescente-se ainda que a mobilização de recursos para alimentação dos rebanhos extrapola, não raras vezes, as fronteiras nacionais, principalmente dos países desenvolvidos com a importação de farelo de soja (IGREJA, 1987).

Nas pastagens extensivas, sistema corrente nas regiões oeste e noroeste do Estado de São Paulo (Araçatuba, Presidente Prudente e São José

do Rio Preto), os problemas de erosão estão vinculados ao manejo do pasto, onde a baixa cobertura vegetal favorece não só a erosão, mas também a degradação precoce do próprio pasto, competição com invasoras, compactação do solo, etc (São Paulo, s.d.).

O processo de degradação de pastagens na Amazônia não ocorre devido à erosão, pois o relevo é quase todo plano ou levemente ondulado. A erosão ocorre como consequência da degradação das pastagens que ocorre devido aos problemas de deficiência de nutrientes, geralmente de fósforo disponível às forrageiras (Dias Filho² citado por Menck, 1993).

2.2.2 Reflorestamento

Apesar do fato da legislação exigir a presença de árvore na propriedade agrícola, na grande maioria dos casos, o produtor não têm tido muito interesse em reservar área de sua propriedade para reflorestar. Esse fato decorre do modelo europeu de agricultura que foi adotado no Brasil na época da colonização, na qual o agricultor derruba a floresta com o objetivo de preparar a terra para o plantio (Ferretti, 2000).

A adoção de sistemas florestais e agroflorestais nas propriedades rurais é opção que têm grande potencial para diminuir a degradação ambiental, oferecer uma fonte de renda alternativa, atender as exigências legais, além de fornecer lenha e madeira para diversos fins na propriedade.

O setor florestal brasileiro teve um grande crescimento a partir da política de incentivos fiscais na década de 70. Após este período, o fomento florestal passou a ter grande importância pelo seu potencial de mitigar alguns equívocos

² DIAS FILHO, M.B. Espécies forrageiras e estabelecimento de pastagens na Amazônia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PASTAGENS, Piracicaba, 1986. **Pastagens na Amazônia**, Piracicaba: FEALQ, 1986. p.27-54.

cometidos durante a vigência dos incentivos fiscais, tais como a formação de grandes maciços florestais homogêneos e a exclusão do produtor rural da atividade florestal (Passos, 1996 citado por Ferretti, 2000).

Ferretti (2000) concluiu que o principal motivo que levou os produtores rurais a participar do fomento florestal da CESP foi a questão legal aliada ao temor da ação das diversas instituições ligadas ao setor de meio ambiente.

2.3 Conservação dos recursos naturais no Estado de São Paulo

A preocupação com a conservação do solo, e com ele o combate à erosão e o assoreamento dos rios, é bastante antiga e ao mesmo tempo atual em São Paulo. Antiga, pelo fato de que já em 1939 ter sido criado o Serviço de Terraceamento no Estado de São Paulo e atual também visto que a lei nº 6171, que dispõe sobre o uso, a conservação e a preservação do solo agrícola no Estado de São Paulo, aprovada em julho de 1988, foi regulamentada em 16 de abril de 1997, pelo decreto no 41.719, no dia seguinte à comemoração do Dia Mundial da Conservação do Solo. Além disso, o ano de 1998 foi eleito o Ano da Conservação do Solo no Estado de São Paulo pela Secretaria de Agricultura e Abastecimento.

O problema do escasseamento dos recursos hídricos tem merecido destaque na preocupação tanto dos órgãos governamentais como da sociedade com a criação de 20 Comitês de Bacias Hidrográficas (CBH) para gerenciar as 22 Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI) do Estado de São Paulo.

Os esforços do governo do Estado de São Paulo para controlar, em níveis aceitáveis, a erosão das terras cultivadas não geraram resultados muito satisfatórios, devido à intensificação do uso do solo e da mecanização agrícola. Estima-se que cerca de 80% da área cultivada do Estado esteja sofrendo

processo erosivo além dos limites de tolerância, causando perdas de 194.000.000 toneladas de terra por ano, sendo que 48.500.000 toneladas/ano chegam aos mananciais em formas de sedimentos transportados, causando assoreamento e poluição dos mesmos (Bellinazi et al., 1981 citado por São Paulo, s.d.).

A erosividade da chuva no Estado de São Paulo varia de 5.000 a 10.000 MJ.mm/ha, sendo que a distribuição concentra-se de 74 a 94% no período coincidente com o de mobilização do solo, em que o mesmo fica menos protegido pela vegetação e mais desagregado, portanto mais vulnerável ao processo erosivo (São Paulo, s.d.). O autor ressaltou que esse fato salienta a necessidade de se prover o solo de uma maior cobertura vegetal adequada e/ou reduzir a sua mobilização no referido período, tornando o efeito erosivo da chuva menos intenso.

No Estado de São Paulo, as áreas localizadas na região oeste do estado são, predominantemente, mais prejudicadas na comparação de rendimento agrícola com outras regiões do estado, uma vez que enfrentam maiores restrições, especialmente decorrentes dos problemas causados por erosão e perda de fertilidade, advindos das características dos solos, na sua maioria podzolizados, e do uso agrícola no sentido do manejo inadequado dos recursos naturais, este último generalizado em todo o Estado com os efeitos indesejados, sendo maiores nessas regiões mais suscetíveis (São Paulo, s.d.). Outro fator que vem acentuar a situação de perdas de solo nessa região é o fato de estar localizado na região do Estado de São Paulo com ocorrência de chuvas de maior intensidade diária do estado (Boin, 2001).

2.4 Critérios de avaliação de terras

2.4.1 Estimativa de perda de solo e predição do risco de erosão

O solo representa uma tênue camada superficial da crosta terrestre, porém é a fonte de energia responsável pelo grande drama da vida, e possui uma complexa estrutura composta de partículas de rochas em diferentes estágios de desagregação, água e substâncias químicas em dissolução, ar, organismos vivos e matéria orgânica em diferentes fases de decomposição (Bertoni & Lombardi Neto, 1990; Marques, 1995). O conceito moderno de solo define-o como um corpo natural dinâmico e contínuo em equilíbrio com o seu desenvolvimento (Vieira et al., 1996).

A formação dos solos decorre de atividades destrutivas de intemperismo químico e físico, e forças biológicas construtivas. Os principais fatores de influência da pedogênese são clima, biota, material parental, topografia e tempo (Kellog, 1936 citado por Vieira et. al, 1996; Vieira et al., 1996).

Concomitantemente a formação do solo, ocorre a erosão do solo com a remoção de suas partículas pela atuação de forças exógenas, principalmente pela ação da água e do vento (Vieira et al., 1996). A força motriz da erosão é a energia cinética dos agentes erosivos, que com diminuição progressiva da energia, ocorre a deposição dos sedimentos originado do material erodido (Weill, 1999). Os depósitos de sedimentos, efêmeros ou não, podem se formar em qualquer posição de uma vertente, mas preferencialmente nas áreas mais planas como sopés ou depressões do terreno (Cerri, 1999).

A erosão hídrica é ocasionada pela ação das águas da chuva ou irrigação, que atuam desagregando as partículas do solo, através do impacto direto das gotas, e transportando as partículas por arrastamento (Marques, 1995). O processo erosivo, quando presente em ambientes com cobertura vegetal natural e sem pressão de fatores antrópicos, é denominado erosão natural ou geológica, e se manifesta de forma muito lenta, sendo perceptível somente com o decorrer de longos períodos de atividade (Bertoni & Lombardi Neto, 1990; Marques, 1995).

A erosão antrópica ou acelerada é resultante da ocupação inadequada dos solos por atividades agrícolas ou urbanas, que aceleram e intensificam os processos erosivos devido as condições induzidas ou modificadas pelo homem ao solo. As condições mais favoráveis estão presentes em solos sem cobertura vegetal, compactados e recentemente movimentados através do preparo mecanizado, trazendo como efeitos o aumento na desagregação do solo, diminuição da capacidade de infiltração de água no solo, e conseqüentemente aumento do escoamento superficial (Bertoni & Lombardi Neto, 1990; Marques, 1995).

Existem vários tipos de erosão quanto ao grau de intensidade, sendo que os principais são erosão laminar e erosão linear, esta última causada por concentração das linhas de fluxo das águas de escoamento superficial, resultando em incisões na superfície do terreno na forma de sulcos, ravinas e boçorocas e solapamento de margens de canal (Bertoni & Lombardi Neto, 1990; CBH-AP, 1997).

Na erosão laminar o solo é removido com certa uniformidade em camadas delgadas sobre toda uma área, sendo pouco visíveis sinais no solo, mas perceptível com o aumento da turbidez da água do rio (Bertoni & Lombardi Neto, 1990).

A erosão em sulcos resulta de pequenas irregularidades na declividade do terreno que faz com que a enxurrada, concentrando-se em alguns pontos do terreno, atinja volume e velocidade suficientes para formar riscos mais ou menos profundos. Enquanto os sulcos são rasos, geralmente inferior a 50cm, que possa ser desfeito com operações convencionais de preparo do solo, os agricultores não notarão sua presença (Bertoni & Lombardi Neto, 1990; CBH-AP, 1997).

As ravinas são feições de maior porte, com profundidade variável, de forma alongada e não atingem o nível d'água subterrânea, onde atuam mecanismos de desprendimento de material dos taludes laterais e transporte de partículas do solo (CBH-AP, 1997). A erosão em ravina ocorre quando a água

se concentra em maior volume formando canais mais profundos que os sulcos e por solapamento ou escavação descendente formam as ravinas (Cerri, 1999).

Voçoroca, ou boçoroca em tupi, é a forma espetacular da erosão, ocasionada por grandes concentrações de enxurrada que passam, ano após ano, no mesmo sulco, que vai se ampliando, pelo deslocamento de grandes massas de solo, e formando grandes cavidades em extensão e em profundidade (Bertoni & Lombardi Neto, 1990).

A estimativa de perda de solo por erosão para uma determinada área é o princípio para planejar ações corretivas, contudo, existem dificuldades para se avaliar de forma exata e precisa a extensão, magnitude e taxas da erosão acelerada, assim como os seus impactos ambientais e econômicos. Além das dificuldades técnicas, a pesquisa em erosão é cara e morosa, pois os processos erosivos variam no tempo e espaço sobre a ação de numerosas variáveis físicas e de manejo que determinam as condições específicas de um local (Weill, 1999).

Os fatores erosivos mais importantes, ou seja, condições naturais ou antrópicas que exercem grande influência no aparecimento, desenvolvimento e resultado dos processos erosivos, incluem condições naturais de climáticas, hidrológicas, topográficas, geológicas, pedológicas e de vegetação, assim como das condições econômica, técnica e sócio-econômica da sociedade humana (Dvořák & Novák, 1994). A construção de modelos com fatores erosivos mais significativos têm sido desenvolvidos para estimar a perda de solo em condições atuais e simuladas para prever e controlar o risco de erosão.

O modelo empírico, mais utilizado em todo o mundo na atualidade, corresponde a Equação Universal de Perdas de Solo - EUPS, também conhecida por USLE (*Universal Soil Loss Equation*). A EUPS foi desenvolvida em 1954 no *National Runoff and Soil Loss Data Center* pela *Agricultural Research Service* em colaboração com a Universidade de Perdue (USA) e, posteriormente, revisada por Wischmeier & Smith (1965) e Wischmeier & Smith

(1978), sendo esta última, a mais difundida (Wischmeier & Smith, 1978; Weill, 1999).

Devido as limitações do modelo original, a EUPS vem sofrendo modificações (MUSLE, WATEM, etc) e revisões (RUSLE2), além de servir de base para a criação de novos modelos como CREAMS (*Chemicals, Runoff and Erosion from Agricultural Management Systems Model*) e WEPP (*Water Erosion Prediction Project*). O projeto WEPP começou a ser desenvolvido por várias agências federais e estaduais americanas a partir de 1985, e constitui-se de um modelo físico de simulação da erosão e da produção de sedimentos, que inclui os componentes de: simulação de clima; hidrologia, para simular infiltração de água, balanço hídrico diário, escoamento superficial e percolação profunda; crescimento da cultura; solos; erosão, laminar e em sulco, e deposição; e irrigação (Chaves, 1994; Weill, 1999).

A EUPS ainda que apresente limitações, têm como vantagem ser uma equação bastante conhecida e estudada, e que exige um número de requerimentos relativamente pequeno, quando comparado ao exigido para aplicação de modelos empíricos mais complexos (Weill, 1999).

Para melhor compreendermos as limitações e potencialidades da EUPS, devemos rever o histórico de seu desenvolvimento. Segundo Wischmeier & Smith (1978), a primeira equação conhecida para se estimar a perda de solos foi publicado por Zingg³, que relacionava a perda de solo com a declividade e o comprimento da vertente. Nos anos seguintes foram acrescentados fatores de influência da cobertura do solo e de práticas conservacionistas, e definiram um conceito de limite de perda de solo. Seguiram-se a adição dos fatores de solo e de manejo, e quando finalmente foi incluído o fator de chuva, foi largamente utilizada e sendo conhecida por Equação de Musgrave. Com a publicação do trabalho de Wischmeier & Smith (1965), a equação passou a ser denominada

³ ZINGG, R.W. Degree and length of land slope as it affects soil loss in runoff. **Agricultural Engineering**. n.21, p.59-64, 1940.

EUPS (Wischmeier & Smith, 1978; Ferrari et al., 1996) e utilizada mundialmente com adaptações regionais, inclusive no Brasil.

No Brasil, as variáveis da EUPS foram adaptadas para o Estado de São Paulo pelo Instituto Agrônomo de Campinas, e aplicado pioneiramente em um estudo regional realizado pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo, no desenvolvimento do projeto "Orientações para o combate à erosão no Estado de São Paulo - Bacia do Peixe-Paranapanema" (Ferrari et al., 1996).

2.4.2 Capacidade de uso da terra

O sistema de capacidade de uso da terra é uma classificação técnico-interpretativa, originalmente estruturado pelo Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos, para agrupar solos em classes de capacidade de uso, o qual foi adaptado para as condições do Brasil por Lepsch (1991), estando na sua quarta aproximação revisada (Lepsch, 1991; Cavalieri, 1998).

O sistema visa identificar as limitações permanentes e possibilidades de uso das terras, através da sistematização das informações de uma determinada área para definir a máxima capacidade de uso, sem que esta corra o risco de degradação do solo, especialmente no que diz respeito à erosão acelerada (Lepsch, 1991).

As classes de capacidade de uso são caracterizadas, em termos gerais, apenas do ponto de vista das condições físicas da terra, ou seja, das condições locais de solo, clima e relevo e do resultado de suas interações (drenagem, erosão, inundação, etc), sem considerar a localização ou as características econômicas da terra (Bertoni & Lombardi Neto, 1990; Lepsch, 1991).

A classificação da capacidade de uso é constituída de quatro níveis hierárquicos estruturadas em quatro categoria: grupos, classes, subclasses e unidades. Quanto maior o nível da categoria, a classificação indicará

possibilidade de uso mais intensivo, ou então de menor restrição para a área (Lepsch, 1991).

O sistema de classificação da capacidade de uso, descrito por Lepsch (1991), pode ser visto resumidamente a seguir.

- a) Grupos: estabelecem o grau de intensidade de uso das terras (A, B ou C);
- b) Classes: definem o grau de limitação do uso (I, II, III, IV, V, VI, VII e VIII);
- c) Subclasses: distinguem a natureza da limitação de uso (classe seguido por letras minúsculas, "e", "s", "a" e "c", que identificam as limitações, ex. IIe);
- d) Unidades: utiliza-se numeral arábico após a subclasse IIe-1, IIe-2);
- e) Grupos de manejo: representam grupamentos de terra que deverão receber idêntico manejo agrícola.

Os grupos consideram o ordenamento das culturas agropecuárias, por ordem decrescente de intensidade de uso, em culturas anuais, perenes, pastagens/reflorestamento e vida silvestre.

O grupo A identifica terras passíveis de qualquer utilização, seguindo se as indicações das classes I a IV, que indicam as restrições quanto as práticas de conservação.

As terras do grupo B são impróprias para cultivos intensivos, mas ainda adequadas para pastagens, reflorestamento e vida silvestre, com as devidas restrições indicadas pelas classes V a VII.

O grupo C comporta somente a classe VIII e indicam terras impróprias para qualquer tipo de cultivo, destinadas apenas para proteção e abrigo da fauna e flora silvestre, para fins de recreação e turismo ou de armazenamento de água.

As áreas que não possibilitam o desenvolvimento de vegetação, são denominadas tipos de terreno e, não são classificadas em nenhuma das oito classes de capacidade de uso, enquadrando-se afloramentos de rochas, areias de praias, áreas escavadas pelo homem, etc (Lepsch, 1991).

A metodologia, atualmente, tem sido utilizada para verificar a adequabilidade entre o uso atual e a capacidade de uso da terra (Donzelli et al., 1992; Cavalieri, 1998; Ribeiro & Campos, 1999; Rodrigues et al., 2001)

2.5 Importância do geoprocessamento no planejamento ambiental

Planejamento pode ser descrito pela definição de Carvalho (2000): “Em um sentido amplo, planejamento é um método de aplicação, contínuo e permanente, destinado a resolver, racionalmente, os problemas que afetam uma sociedade situada em determinado espaço, em determinada época, através de uma previsão ordenada capaz de antecipar suas ulteriores conseqüências.”

Os planejamentos ambientais são elaborados como sistemas estruturados que envolvem as etapas de: a) definição dos objetivos; b) diagnóstico; c) prognóstico e identificação de alternativas; d) tomada de decisão e d) formulação de diretrizes, metas e políticas (Santos et al., 1997).

O processo de tomada de decisão de um planejamento é uma tentativa racional de escolher as melhores alternativas, sustentadas tecnicamente pelas informações geradas através dos dados disponíveis e dos modelos adotados, para atingir o objetivo proposto.

O planejamento deve ser um processo contínuo e dinâmico para ser implantado com sucesso, o qual deve ser auto-avaliado através de mecanismos de realimentação de dados que permitam revisar os planos de execução (Klemperer, 1996; Santos et al., 1997).

A tomada de decisões em planejamentos com objetivos múltiplos necessita de um processo participativo, pois, deve avaliar tanto a capacidade produtiva de um ecossistema em termos de bens e serviços não tradicionais,

como determinar os níveis ou taxas às quais esses serviços podem ser obtidos sem destruir a capacidade de proporcionar no longo prazo produtos agrícolas tradicionais (Klemperer, 1996 e Rodrigues, 1999).

A popularização e o barateamento dos computadores pessoais a partir da década de 80, difundiram o uso e desenvolvimento de Tecnologia da Informação (TI)⁴, provocando grandes mudanças em toda a sociedade (Beal, 2001). Segundo o mesmo autor, atualmente existe um consenso entre os especialistas das mais diversas áreas de que as organizações bem-sucedidas no século XXI serão aquelas centradas no conhecimento, intenso fluxo de informações e pessoas treinadas participando de decisões.

O uso da TI no planejamento ambiental tornou-se uma importante ferramenta nas análises espaciais, principalmente com a evolução do geoprocessamento, especificamente dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG).

Segundo Fator GIS (s.d.), geoprocessamento pode ser definido como o conjunto de tecnologias relacionadas ao tratamento da informação espacial, que englobam técnicas de:

- a) *coleta de informação espacial*: cartografia, sensoriamento remoto, Sistema de Posicionamento Global por Satélite (GPS), topografia convencional, fotogrametria e levantamento de dados alfanuméricos;
- b) *armazenamento de informação espacial*: banco de dados do tipo orientado a objetos, relacional, hierárquico, etc;
- c) *tratamento e análise de informação espacial*: modelagem de dados, aritmética lógica, reclassificação, geoestatística, funções topológicas e análise de redes;

⁴ Tecnologia da Informação é a expressão que substituiu o termo informática nos últimos anos, sendo designada para o conjunto de recursos tecnológicos e computacionais (“software” e metodologias) para a geração e uso da informação (Beal, 2001).

- d) uso integrado de informação espacial: Sistema de Informação Geográfica (SIG), “Land Information System (LIS)”, “Automated Mapping/Facilities Management (AM/FM)” e “Computer Aided Drafting and Design (CADD)”.

Dentre os sistemas desenvolvidos para uso integrado de informação espacial, os SIG's têm evoluído e ampliado a sua aplicação para variados estudos agro-ambientais (Assad & Sano, 1998).

Segundo Câmara et al. (2001), podem ser apontados pelo menos quatro grandes dimensões dos problemas ligados aos estudos ambientais, onde é grande o impacto do uso da tecnologia de SIG: mapeamento temático, diagnóstico ambiental, avaliação de impacto ambiental, ordenamento territorial e os prognósticos ambientais.

Segundo esta concepção, Câmara et al. (2001) descreveu que os estudos de mapeamento temático visam a caracterizar e entender a organização do espaço, como base para o estabelecimento das bases para ações e estudos futuros. A área de diagnóstico ambiental objetiva estabelecer estudos específicos sobre regiões de interesse, com vistas a projetos de ocupação ou preservação. Os projetos de avaliação de impacto ambiental envolvem o monitoramento dos resultados da intervenção humana sobre o ambiente. Os trabalhos de ordenamento territorial objetivam normatizar a ocupação do espaço, buscando racionalizar a gestão do território, com vistas a um processo de desenvolvimento sustentado.

Todos estes estudos tem como característica básica a interdisciplinaridade, decorrente da convicção de que não é possível compreender perfeitamente os fenômenos ambientais sem analisar todos os seus componentes e as relações entre eles, estes projetos buscam sempre uma visão integrada da questão ambiental em conjunto com a questão social (Câmara et al., 2001).

Segundo Teixeira et al. (1995), existem muitas definições para o termo SIG, podendo ser classificadas em duas abordagens, a primeira sob o ponto de

vista de software, é relacionado a questões como modelos de dados, facilidade de uso, ambientes operacionais, módulos e comandos existentes. A segunda abordagem, mais abrangente, considera o SIG um sistema que integra diversos elementos, inclusive o software.

Utilizando a segunda abordagem, Teixeira et al. (1995) sintetizaram várias definições de SIG e propuseram: “SIG é o conjunto de programas, equipamentos, metodologias, dados e pessoas, perfeitamente integrados, de forma a tornar possível a coleta, o armazenamento, o processamento e a análise de dados georreferenciados, bem como a produção de informação derivada de sua aplicação”.

Podemos observar que a definição de SIG engloba vários aspectos abordados na definição de geoprocessamento, porém ao SIG, são incluídos os aspectos institucional, de recursos humanos ("peopleware") e principalmente a aplicação específica a que se destina (Fator GIS, s.d.).

Os programas de SIG se diferenciam de outros programas pela capacidade de associar um banco de dados geográficos com banco de informações cadastrais, na qual estão integradas tecnologias de coleta e tratamento de informações espaciais e análise de dados (Câmara et al., 2001). Os procedimentos de análise dos dados encontrados em muitos SIG's podem ser generalizados em quatro categorias: funções cartométricas, comparação e sobreposição, ordenação e classificação, análise estatística e modelagem (Kimerling, s.d.).

No SIG, as fases de aquisição, geração e armazenamento de dados são consideradas as mais onerosas, portanto, é importante que as informações essenciais e indicadores do ambiente sejam identificadas previamente, assim como verificada a disponibilidade de informações e dados que sejam confiáveis e consistentes. Como o desenvolvimento de um banco de dados para SIG é elevado, o investimento só será compensador com o uso repetido do banco de dados. O banco de dados, por essa razão deve ser modelado para ter

proporções suficientes para que seja eficaz e tenha custo reduzido (Kimerling, s.d.; Santos et al., 1997; Cavaliere, 1998; Rodriguez, 1999).

Os modelos são simplificações ou abstrações da realidade e o processo de modelagem é o processo de impor uma estrutura ao conhecimento, dispondo-o em uma forma estruturada mais acessível (Overton, 1977). A redução de informações deve ser feita com muito critério pois decisões baseadas em uma pequena base de dados podem, muitas vezes, levar a conclusões distorcidas da realidade (Rykiel⁵ et al. citado por Santos et al., 1997).

A modelagem do banco de dados de um SIG consiste, principalmente, em definir os planos de informação (PI), também denominados de níveis ou camadas (“layers”), que irão compor o projeto. Os PI’s variam em número, tipos de formatos e de temas, conforme as necessidades de cada tarefa ou estudo (Assad & Sano, 1998; Câmara et al., 2001).

A adoção do “paradigma dos quatro universos” descrita por Gomes & Velho⁶ é particularmente apropriada no processo de modelagem no geoprocessamento (Câmara & Medeiros, 1998; Câmara et. al., 2001), e são diferenciados em:

- universo do mundo real, que inclui as entidades da realidade a serem modeladas no sistema;
- universo matemático ou conceitual, que inclui uma definição matemática das entidades a serem incluídas no modelo;
- universo de representação, onde as diversas entidades formais são mapeadas para representações geométricas; e

⁵ RYKIEL Jr., E.J.; SAUNDERS, M.C.; WAGNER, T.L. et al. Computer-aided decision making and information accessing in pest management systems. **Journal of Economic Entomology**. n.77, p.1073-1082, 1984.

⁶ GOMES, J.M.; VELHO, L. **Computação visual**: imagens. Rio de Janeiro: IBM, 1995.

- universo de implementação, onde as estruturas de dados e os algoritmos são escolhidos, baseados em considerações como desempenho, capacidade do equipamento e tamanho da massa de dados.

As técnicas de geoprocessamento, incluindo sensoriamento remoto, são importantes ferramentas de geração e manipulação de grandes volumes de informações, visto que as mesmas reduzem consideravelmente o tempo de processamento em relação aos métodos tradicionais (Ito, 1998). Elas possibilitam a coleta e análise de informações temáticas e oferecem subsídios ao planejamento agrícola e ambiental (Valério Filho, 1994).

Os trabalhos de planejamento e diagnóstico, baseados nas metodologias de conservação do solo utilizando Sistemas de Informações Geográficas (SIG) são elaborados, em geral, para um planejamento regional (Donzeli et al., 1992; Menck, 1993; Valério Filho, 1994; Ferrari, 1996; Cavalieri, 1998; Ito, 1998; Nascimento, 1998; Weill, 1999; Cerri, 1999; Milward & Mersey, 1999).

Na visão de manejo sustentável ou integrado, o planejamento da produção deve considerar o princípio da manutenção da integridade do ecossistema, ou seja dos valores da microbacia hidrográfica, que deve evoluir desde uma escala micro até macro. As preocupações do planejamento na escala micro podem ser a própria característica da superfície do solo, que afeta a infiltração da água no solo, na escala macro, os sistemas operacionais, como preparo do solo e locação de estradas e carreadores, e finalmente, na escala macro, do sistema de produção no contexto do meio biogeográfico, de sua flora e fauna, de sua vocação natural, e da interação destas características todas com o homem (Lima & Zakia, 1998).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Área de estudo

A microbacia do ribeirão Itambi localiza-se nos municípios de Ouro Verde e Panorama, entre os paralelos 21°23' e 21°30' latitude sul e os meridianos 51°43' e 51°49' longitude oeste de Greenwich, abrangendo uma área de 5.558 hectares. O ribeirão Itambi deságua no ribeirão das Marrecas, o qual é afluente direto do rio Paraná (Figura 1). O ribeirão Marrecas pertence a UGRHI da bacia do rio Aguapeí e gerenciada pelo CBH-AP.



Figura 1 – Localização da microbacia do ribeirão Itambi.

A região oeste do estado de São Paulo situa-se em uma zona de transição climática, compartilhada pelos sistemas atmosféricos inter e extratropicais, nela ocorre conflito das massas de ar Tropical Atlântica e Tropical Continental com a massa Polar Atlântica, havendo ainda participação esporádica da massa Equatorial Continental (Boin, 2000). A massa Polar Atlântica é a responsável pela ocorrência da maior quantidade de precipitações na região, enquanto as massas tropicais setentrionais, correntes oriundas da Amazônia, são as responsáveis pelas instabilidades climáticas que provocam chuvas intensas de curta duração com alta capacidade erosiva (Comitê das Bacias Hidrográficas dos rios Aguapeí e Peixe - CBH-AP, 1997).

O clima da região é do tipo tropical caracterizado pela presença de um período chuvoso no verão, influenciado pelos sistemas tropicais, e um período seco no inverno, sob influência predominante dos sistemas polares. A precipitação média anual varia entre 1.200 a 1.500mm e a temperatura média anual é superior a 22°C. O mês mais chuvoso é janeiro, com precipitação média de 200mm, e o mais seco é julho, com precipitação média de 25mm (CBH-AP, 1997; Boin, 2000).

A estrutura geológica da região oeste do Estado de São Paulo é formada por rochas areníticas do Grupo Bauru, dividida entre as formações Caiuá (Kc), Santo Anastácio (Ksa) e Adamantina (Ka).

CBH-AP (1997) analisando o risco de erosão na Bacia Hidrográfica dos rios Aguapeí e Peixe, segundo critérios baseados na frequência de erosões, identificou que a sub-bacia do ribeirão Marrecas apresenta alto risco e é uma das mais críticas da bacia.

3.2 Material e equipamentos

Para a realização do trabalho foram necessários os seguintes materiais e equipamentos:

- Cartas topográficas do Instituto Geográfico e Geológico de São Paulo (IG/SP), folhas de Panorama (SF-22-I-I-3) e Dracena (SF-22-I-I-4) na escala 1:50.000;
- Imagem do satélite Landsat7 TM+, órbita número 223-75, bandas 1, 2, 3, 4, 5, 7 e pancromática, de 29/07/1999, escala 1:30.000;
- Fotos aéreas do Instituto Brasileiro de Café (IBC) de 1974, escala aproximada de 1:25.000;
- Micromputador PC AMD Athlon 600MHz, 128Mb de memória RAM;
- Equipamento de Sistema de Posicionamento Global (GPS) do fabricante Trimble, modelo PRO-XR;
- “Scanner” de mesa;
- Programas computacionais: ILWIS 2.23, ArcView 3.2a, IDRISI 32, Pathfinder Office 2.51 e USLE-2D.

3.3 Geração da base de dados

As informações geográficas da microbacia foram estruturadas em um sistema de informações geográficas (SIG) baseado na organização em projetos, no qual cada projeto foi composto por planos de informação (PI), também conhecidos como níveis ou camadas de informação, cada uma representando uma informação diferente (Câmara et al., 2001).

Os planos de informação foram elaborados na escala 1:25.000 adotando-se o sistema de coordenadas UTM (Universal Transverse Mercator) zona 22 sul, correspondente ao meridiano central -51° , e datum de referência Córrego Alegre.

Para os planos de informações geradas no formato “raster”, adotaram-se como limites as coordenadas 416.654 a 426.414 metros e 7.622.552 a 7.635.692 metros para os eixos X e Y respectivamente, com uma resolução espacial de 10 metros, resultando em arquivos de 976 colunas e 1314 linhas.

3.3.1 Clima

A base de dados de precipitação utilizada foi proveniente do posto pluviométrico Panorama, código C8-019, do Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE), localizado no município de Panorama (SP), nas coordenadas 21°21' de latitude Sul, 52°51' de longitude oeste e altitude de 265 metros. O período abrangido pela série de dados foi de 1983 a 2000.

A caracterização das variações de temperatura para a microbacia do Ribeirão Itambi baseou-se nos dados da Estação Meteorológica de Presidente Prudente, localizada na latitude de 22°30' e longitude de 52°56' a uma altitude de 335 metros, publicado em Companhia Energética de São Paulo (1992).

O balanço hídrico é um método climatológico que permite contabilizar a quantidade de água no solo disponível às plantas, indicando os períodos muito úmidos ou considerados secos. O método leva em consideração a precipitação ou a irrigação como entrada de água no sistema e a evapotranspiração como saída. O balanço hídrico médio foi estimado pelo método de “Thonthwaite & Mather - 1955” descrito por Camargo (1978), a partir dos dados climáticos acima, e considerando capacidade de retenção de água igual a 75mm.

3.3.2 Geologia e geomorfologia

O conhecimento da geologia e da geomorfologia é essencial, pois uma microbacia constitui uma unidade geomorfológica natural, cujo sistema de drenagem reflete principalmente a estrutura geológica local (Lima, 1996) e devido aos solos do oeste paulista apresentarem relações geológicas e

geomorfológicas que indicam sua suscetibilidade aos processos erosivos, como pode ser observado através da Tabela 1 (Salomão, 1994 e Boin, 2000).

Os PIs de estrutura geológica e geomorfológica foram baseadas no mapa publicado no formato digital (.dwg) apresentados no relatório do Comitê das Bacias Hidrográficas dos rios Aguapeí e Peixe (CBH-AP, 1997).

Tabela 1. Solos do Grupo Bauru no oeste do Estado de São Paulo e suas relações com relevo, litologia e suscetibilidade à erosão.

SOLO ¹	RELEVO	LITOLOGIA (formações do Grupo Bauru)	SUSCEPTIBILIDADE À EROÇÃO	
			laminar	ravina e voçoroca
LE	colinas amplas e topos de colinas médias	diversas formações, especialmente Adamantina.	baixa	moderada
PE	colinas amplas e colinas médias	Santo Anastácio e Caiuá	moderada	moderada a alta ²
PV1	colinas amplas e colinas médias	Adamantina	moderada	moderada a alta ²
PV2	colinas média e morrotes alongados	Marília e Adamantina	alta	alta ³
Raso	escarpa	Marília e Adamantina	alta	- alta para ravina; - não susceptível para voçoroca
H	fundo de vale	todas as formações	não suscetível em áreas de várzea	não suscetível em áreas de várzea

Fonte: Adaptado de Salomão, 1994.

1 – Classes de solo: LE = Latossolo vermelho escuro, textura média; PE = Podzólico Vermelho Escuro, textura arenosa/média e média (não abrupto); PV1 = Podzólico Vermelho Amarelo, textura arenosa/média e média (não abrupto); PV2 = Podzólico Vermelho Amarelo, textura arenosa/média (abrupto) ; Rasos = litólicos, cambissolos, brunizen e afloramentos de rocha; e H = Hidromórfico;

2 – Ocorre ravina em locais de grande concentração de águas superficiais e voçoroca quando intercepta lençol freático, principalmente em cabeceiras de drenagem e junto aos fundos de vales;

3 – Ocorre ravina mesmo em locais de pequena concentração de águas superficiais.

3.3.3 Dados topográficos

As informações das cotas planialtimétricas, rede viária e hidrografia foram extraídas das folhas topográficas do Instituto Geográfico e Geológico de São Paulo (IG/SP), folhas de Panorama (SF-22-I-I-3) e Dracena (SF-22-I-I-4).

As feições das cartas foram obtidas através do processo de “digitalização via tela”, que consistiu em três etapas:

- a) digitalização das cartas utilizando um “scanner” de mesa;
- b) georreferenciamento através do registro das cartas digitais;
- c) transformação dos dados matriciais em vetoriais através da vetorização manual das ortocartas.

As informações da rede viária e da hidrografia para a elaboração dos respectivos PIs foram atualizadas através de dados de reconhecimento de campo coletados com equipamento GPS, os quais foram corrigidos por pós-processamento utilizando o programa “Pathfinder Office” da Trimble.

A partir das informações topográficas, a microbacia foi caracterizada através de dois parâmetros físicos descritos no trabalho de Lima (1996), densidade de drenagem e fator de forma.

3.3.4 Modelo digital de elevação (MDE)

Felgueiras (2001) define o modelo numérico de terreno (MNT) como uma representação matemática computacional da distribuição de um fenômeno espacial que ocorre dentro de uma região da superfície terrestre. Adotou-se a denominação de modelo digital de elevação (MDE) ao MNT que representa as altitudes da microbacia.

O MDE foi gerado, na resolução espacial de 10 metros, através da interpolação do PI de cotas planialtimétricas com equidistância vertical de 10 metros. Devido a existência de diferentes métodos de interpolação, foram gerados vários MDEs e selecionado o que apresentou maior ajuste visual nos valores intermediários e maior correspondência com as cotas originais. A seguir

são descritos os métodos de interpolação utilizados no trabalho, TIN do Idrisi e IDW e Spline do ArcView:

- a) IDW (Inverso da potência da distância): corresponde à interpolação por média ponderada, na qual se assume que cada ponto sofre uma influência local que diminui com a distância.
- b) Spline: é um interpolador de uso geral que ajusta uma superfície de curvatura mínima aos pontos amostrais;
- c) TIN: interpolação por triangulação de Delaunay com restrições, na qual primeiro se consideram as características topográficas e depois o critério do circuncírculo de Delaunay, na qual se maximizam os ângulos mínimos de cada triângulo.

3.3.5 Setorização da microbacia

A microbacia hidrográfica foi dividida em setores com a finalidade de definir áreas mais homogêneas em relação a solo e relevo para facilitar na identificação das causas do processo erosivo e sua localização aproximada nas propriedades. Os setores foram definidos considerando-se além dos limites naturais das sub-bacias, o número de propriedades e uma área máxima para cada setor.

3.3.5.1 Subdivisão da microbacia

A subdivisão em microbacias menores foi realizada de forma semi-automática através de planos de informação derivados do MDE. A microbacia foi delimitada automaticamente, e posteriormente, foram escolhidos os limites

mais adequados quanto ao tamanho do setor, número de propriedades, localização e ao plano de informação da rede de drenagem.

A rede de drenagem foi obtida a partir da classificação das informações de escoamento superficial geradas nos módulos “runoff” do “Idrisi” e “flow accumulation” do “ArcView”.

A microbacia foi delimitada utilizando-se os mapas gerados automaticamente no módulo “watershed” do “Idrisi” e “ArcView”, considerando-se tamanhos diferentes na definição de área mínima para as microbacias.

3.3.5.2 Estrutura fundiária

As divisas das propriedades foram levantadas com equipamento GPS, orientando-se com a delimitação prévia das divisas identificadas com o auxílio de fotos aéreas e da imagem de satélite Landsat7, banda pancromática. Os limites foram definidos utilizando-se os dados do GPS corrigidos por pós-processamento e com a imagem de satélite georreferenciada.

3.3.6 Declividade

A declividade é informação básica de topografia utilizada nas metodologias de identificação de áreas potenciais aos processos de erosão e nos sistemas de avaliação do planejamento de uso da terra. O plano de informação de declividade foi gerado no ArcView a partir das informações do MDE.

A caracterização do relevo foi realizada com a classificação da declividade definida na Tabela 2, conforme Assad & Sano (1998).

Tabela 2. Classificação do relevo em relação às classes de declividade.

CLASSE DE DECLIVE (%)	CLASSES DE RELEVO
0 a 3,0	plano
3,1 a 8,0	suave ondulado
8,0 a 20,0	ondulado
20,0 a 45,0	forte ondulado

Fonte: Assad & Sano (1998)

3.3.7 Pedologia

As unidades de solo foram caracterizadas através de um levantamento semidetalhado dos solos, realizado pela Fundação de Estudos e Pesquisas Agrícolas e Florestais (FEPAF) utilizando-se a metodologia descrita em Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA (1997) para análise de solos e EMBRAPA (1999) para classificação de solos.

3.3.7.1 Método de trabalho de escritório

Foi realizada uma fotointerpretação preliminar da área utilizando-se fotos aéreas, na escala aproximada de 1:25.000, na qual foram separadas as principais unidades de solos através das análises de padrões, fisiográfica e dos elementos, considerando-se as variações de relevo, rede de drenagem superficial, tonalidades de foto aérea, vegetação natural, uso atual processos de erosão. Em seguida foram demarcados os locais percorridos durante a etapa da legenda preliminar e posteriormente durante a prospecção sistemática, fase em que se fizeram observações de solos compatível com o levantamento pedológico no nível de semidetalhe.

No final do trabalho de escritório foram feitos ajustes dos limites das unidades de mapeamento, os quais haviam sido traçados na fotointerpretação preliminar, que tiveram como objetivo agrupar os solos de classes semelhantes.

Na geração do plano de informação de solos, seguiram-se as etapas: a) digitalização das fotos; b) montagem de um mosaico utilizando as imagens processadas das áreas úteis das fotos; c) geração da ortofoto através do georreferenciamento; d) delimitação dos solos a partir das fotos aéreas e das informações dos pontos de amostragem coletados com equipamento GPS; e e) transformação do formato vetorial para “raster” na resolução de 10 metros.

3.3.7.2 Método de trabalho de campo

O trabalho de campo iniciou-se com a elaboração da legenda preliminar, onde se percorrem as principais estradas da área em estudo para melhor conhecer os solos existentes, objetivando identificar e distinguir as principais “manchas de solos” (unidades de mapeamento).

Procurou-se observar as correlações entre as características dos solos e seus fatores de formação (relevo, material de origem e vegetação natural), além de declividade de terreno, do grau de erosão, do uso agrícola e da altitude local. As amostras de solo foram coletadas basicamente nas profundidades: 0-20cm e 80-100cm, sendo que em alguns pontos foram amostrados nas profundidades de 40-60cm ou 60-80cm, conforme a variação percebida no teor de argila. Os locais amostrados foram anotados no mapa e georreferenciados utilizando o equipamento GPS com correção diferencial por pós-processamento.

As descrições morfológicas foram baseadas no “Manual de descrição e coleta de solo no campo” de Lemos & Santos (1996).

3.3.7.3 Métodos analíticos

3.3.7.3.1 Composição granulométrica

O método utilizado para determinar a composição granulométrica foi a da pipeta e da dispersão com hexametáfosfato de sódio e NaOH. A classificação textural do solo utilizada é apresentada na Tabela 3.

Tabela 3. Classes de textura de solo.

Escala textural (mm)	Classe
2,0 - 0,02	Areia
0,02 - 0,002	Silte
Inferior a 0,002	Argila

Fonte: EMBRAPA (1997)

3.3.7.3.2 Composição química

A composição química realizou-se com as seguintes análises:

- a) pH em água, cloreto de cálcio e cloreto de potássio: utilizando-se respectivamente água destilada, CaCl₂ 0,01M e KCl 1N e determinação potenciométrica após uma hora de repouso (relação solo-líquido 1: 2,5);
- b) Alumínio trocável: extração em KCl 1N e determinação do alumínio por titulometria com NaOH 0,025N;
- c) Cálcio, magnésio, fósforo e potássio: extração e determinação pelo método de resina trocadora de íons;
- d) Acidez potencial (H⁺ + Al³⁺): avaliação de acidez potencial dos solos pela depressão causada no pH de solução tampão mediante curva de correlação entre valores de pH da solução tampão e valores de acidez potencial determinados em solos pelo método do acetato de cálcio.

3.3.7.4 Cálculos

Os cálculos aplicados aos resultados da análise como soma de bases (SB), capacidade de troca de cátions (CTC), saturação por bases (V) e saturação por alumínio (m) foram obtidos a partir das descrições abaixo.

- a) Soma de bases (SB): somatório das bases trocáveis Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^{2+} ;
- b) Capacidade de troca de cátions (CTC): somatório de SB, Al^{3+} e H^{+} ;
- c) Saturação por bases (V): relação entre SB e CTC, em porcentagem;
- d) Saturação por alumínio (m): porcentagem de Al^{3+} na SB com Al^{3+} .

3.3.7.5 Explicações sobre termos utilizados na descrição dos solos

- Solos eutróficos: quando o valor de saturação por bases (V) for maior que 50% e o da soma de bases (SB) superior a 15 mmol/dm^3 de solo no horizonte B;
- Solos distróficos: quando o valor de saturação por bases (V) variar até 30% além do valor de saturação por alumínio (m) e ser menor que 50% no horizonte B;
- Solos arênicos: solos com textura arenosa desde a superfície do solo até o início do horizonte B textural, que ocorre entre 50 e 100cm;
- A moderado: horizonte A, em geral, moderadamente espesso (menor que 25cm) e/ou com teores médios de matéria orgânica;
- Textura arenosa: quando o teor da soma de argila e silte for menor ou igual a 15%;

- Textura média: quando o teor da soma de argila e silte for maior que 15% e o teor de argila for menor que 35%;
- Relevo plano: declive menor que 3%;
- Relevo suave ondulado: declive entre 3 e 8%;
- Relevo ondulado: declive entre 8 e 20%; e
- Relevo forte ondulado: declive entre 20 e 45%.

3.4 Critérios para avaliação da adequabilidade do uso da terra

No trabalho foram utilizados dois critérios para avaliação dos níveis de utilização da terra. Os critérios se baseiam na identificação do risco natural de erosão e capacidade de uso da terra.

3.4.1 Identificação das áreas de risco de erosão

Existem vários estudos para identificar o risco de erosão (Donzelli et al., 1992; Menck, 1993; Cavalieri, 1998; Ito, 1998; Weill, 1999; Cerri, 1999), isto considerando-se apenas os modelos derivados da Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS). Além disso, não há uma convenção na nomenclatura dos índices utilizados para classificar o risco de erosão.

Neste trabalho, as áreas de risco potencial à erosão foram classificadas segundo três modelos de identificação: i) risco de erosão natural (e); ii) risco de erosão simulado (es); e iii) expectativa de erosão (ee).

A identificação dos setores mais críticos foi realizada com a soma dos valores de posicionamento dos setores segundo o ordenamento utilizando os indicadores do risco de erosão ("e", "es" e "ee") e a perda de solo média. Os setores mais críticos são os que apresentaram os menores valores da soma de posicionamento.

3.4.1.1 A Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS) e o risco de erosão natural

A EUPS foi proposta por Wischmeier & Smith (1978) e estima as perdas anuais de solo ocasionadas por erosão, sendo representada pela eq. (1).

$$A = R K L S C P \quad (1)$$

onde:

A = perda de solo ($t \text{ ha}^{-1}$)

R = fator erosividade da chuva ($\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$)

K = fator erodibilidade do solo ($t \text{ h MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$)

L = fator comprimento de rampa (adimensional)

S = fator grau de declive (adimensional)

C = fator uso e manejo (adimensional)

P = fator prática conservacionista (adimensional)

O potencial natural de erosão (PNE) foi definido através dos termos da EUPS, considerando-se apenas os fatores que representam os parâmetros do meio físico, correspondendo às estimativas de perdas de terras em áreas destituídas de cobertura vegetal e sem qualquer intervenção antrópica. Donzeli et al. (1992) citaram vários trabalhos que caracterizaram o PNE, definido pela eq. (2).

$$\text{PNE} = R K L S \quad (2)$$

onde:

PNE = potencial natural de erosão ($t \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$)

R = fator erosividade da chuva ($\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$)

K = fator erodibilidade do solo ($\text{t h MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$)

L = fator comprimento de rampa (adimensional)

S = fator grau de declive (adimensional)

Apesar do PNE estimar a perda máxima dos solos, a sua utilização, com o objetivo de avaliar o grau de risco de erosão, não é apropriada, pois não são consideradas as perdas toleradas para cada classe de solo.

Donzelli et al. (1992) utilizaram o índice de risco de erosão ou capacidade de uso-manejo permissível (UMP) para classificar o risco de erosão, o qual relaciona o PNE com a tolerância de perda de cada solo. A classificação da UMP, baseada nos valores do fator C da EUPS, foi modificada posteriormente por Nogueira (2000), que ajustou os parâmetros de cada classe de risco de erosão, e alterou a denominação para índice “e”. No presente trabalho, esse índice foi convencionado **risco de erosão natural (e)**. O risco de erosão natural foi obtido a partir da EUPS, inicialmente colocando-se o fator C em evidência e posteriormente substituindo-se os fatores R, K, L e S por PNE, conforme expresso pela eq. (3).

$$C = \frac{A}{\text{PNE } P} \quad (3)$$

Na eq. (3), adotando-se para o valor da perda de solo (A) o valor da perda de solo tolerável ($A_{\text{tolerável}}$), o fator C refletirá os valores permissíveis para o uso e manejo, resultando no índice “e”, descrito pela eq. (4).

$$\text{risco de erosão natural (e)} = C_{\text{permissível}} = \frac{A_{\text{tolerável}}}{\text{PNE } P} \quad (4)$$

onde:

e = risco de erosão natural (relacionado ao uso e manejo permissível);

$A_{\text{tolerável}}$ = tolerância de perda de solo ($t\ ha^{-1}\ ano^{-1}$);

PNE = potencial natural de erosão ($t\ ha^{-1}\ ano^{-1}$);

P = fator prática conservacionista.

Os valores de risco de erosão natural foram classificados segundo a Tabela 4 e associados a uma indicação geral de uso e manejo permitido para a área.

Tabela 4. Classificação do risco de erosão natural (e).

Grau	risco de erosão (e)	indicação geral de uso e manejo
Muito Alto	$> 0,0010$	manutenção da cobertura natural
Alto	$0,0011$ a $0,0170$	pastagem com manejo, reflorestamento
Moderado	$0,0171$ a $0,0880$	pastagem sem manejo
Baixo	$0,0881$ a $0,2000$	cultura perene e semi-perene com manejo
Muito Baixo	$> 0,2001$	cultura anual

Fonte: Nogueira (2000)

3.4.1.2 Risco de erosão simulado

O risco de erosão, definido por Cavalieri (1998), representa a razão entre a perda de solo e a perda tolerável de solo. A perda de solo pode ser estimada em função das condições de uso e manejo atuais ou simulada. Neste trabalho, o risco de erosão foi estimado para uma situação simulada e convencionado de **risco de erosão simulado (es)**, conforme descrito pela eq. (5).

$$es = \frac{A}{A_{\text{tolerável}}} \quad (5)$$

onde:

es = risco de erosão simulado;

A = perda de solo ($t\ ha^{-1}\ ano^{-1}$);

$A_{\text{tolerável}}$ = tolerância de perda de solo ($t\ ha^{-1}\ ano^{-1}$).

O grau de risco de erosão foi posteriormente classificado de acordo com a Tabela 5.

Tabela 5. Classificação do risco de erosão.

Classe de Risco de erosão	Valor de Risco de erosão
1 – perda de solo tolerável	0,0 a 1,0
2 – perda de 1 a 2 vezes acima do limite tolerável	1,1 a 2,0
3 – perda de 2 a 5 vezes acima do limite tolerável	2,1 a 5,0
4 – perda de 5 a 10 vezes acima do limite tolerável	5,1 a 10,0
5 – perda maior que 10 vezes acima do limite tolerável	> 10,0

Fonte: Cavalieri (1998)

3.4.1.3 Expectativa de erosão

A expectativa de erosão indica qual o grau de erosão que se espera em um determinado local (São Paulo, 1989; Donzeli et al., 1992; Valério Filho, 1994). A expectativa de erosão foi obtida pela diferença entre a estimativa dos valores experimentais da condição atual de uso e manejo e práticas conservacionistas (CP) e o índice de perdas de solo máximo admissível (CP tolerável), representada pela eq. (6).

$$\text{Expectativa de erosão} = \text{CP} - \text{CP}_{\text{tolerável}} \quad (6)$$

onde:

CP = condição de uso e manejo e práticas conservacionistas

CP_{tolerável} = índice de perdas de solo máximo admissível

Os valores obtidos de expectativa de erosão são classificados segundo a Tabela 6, descrita por Donzeli et al. (1992). Os valores negativos são classificados como ausente, significando que o uso atual não está provocando perdas acima do limite tolerável.

Tabela 6. Classificação da expectativa de erosão.

Classe de Expectativa de erosão	Valor de Expectativa de erosão
Ausente	≤ 0
Baixa	0,01 a 0,05
Média	0,06 a 0,50
Alta	$> 0,51$

Fonte: Donzelli et al. (1992)

3.4.1.4 Fatores da EUPS

3.4.1.4.1 Erosividade da chuva (R)

O fator erosividade da chuva (R) é um índice numérico que expressa a capacidade da chuva esperada, em uma certa localidade, de causar erosão em área sem proteção. As perdas de solo, segundo Bertoni & Lombardi Neto (1990), são diretamente proporcionais ao produto da energia cinética total da chuva pela sua intensidade máxima em 30 minutos. Esse produto mensura a interação do processo de transporte das partículas do solo que ocorre entre a enxurrada e a erosão por impacto, salpico e turbulência. Os autores citaram que o índice de erosão, produto da energia cinética pela intensidade da chuva, foi considerado por Wischmeier⁷ como a melhor relação para medir a potencialidade erosiva da chuva.

A variação do potencial erosivo ao longo do ano é importante para o planejamento das práticas conservacionistas a serem implementadas em uma microbacia, principalmente para estimar as perdas de solo e calcular o fator uso e manejo da Equação Universal de Perdas de Solo (Bertoni e Lombardi Neto, 1990).

⁷ WISCHMEIER, W.H. A rainfall erosion index for a universal soil loss equation. **Soil Sci. Soc. Amer. Proc.**, Madison, v.23, p.246-249, 1959.

A análise da distribuição do fator erosividade da chuva (R) ao longo do ano foi determinada através da eq. (7), proposta por Lombardi Neto & Moldenhauer (1992), onde R é a somatória das médias mensais do índice de erosão (EI). Foram utilizados os dados do posto pluviométrico de Panorama, conforme citados no item 3.3.1.

$$EI = 89,823 \left(\frac{r^2}{P} \right)^{0,759} \quad (7)$$

onde:

EI = erosividade média mensal do mês i ($\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$);

r = precipitação média mensal do mês i (mm);

P = precipitação média anual (mm).

Para a aplicação na EUPS na microbacia, o valor do fator R foi determinado através da média dos valores obtidos na base de dados do programa “Sistema para cálculo da erosividade da chuva para o Estado de São Paulo”. O programa informa o fator R para qualquer localidade através da interpolação dos valores de R dos postos pluviométricos do Estado de São Paulo calculados pela eq. (7).

3.4.1.4.2 Erodibilidade do solo (K) e Tolerância de perda de solo ($A_{\text{tolerável}}$)

A erodibilidade do solo é a sua vulnerabilidade ou suscetibilidade à erosão, que é a recíproca da sua resistência à erosão. A erodibilidade de um solo pela água é determinada pelas suas propriedades intrínsecas que afetam a velocidade de infiltração da água do solo, permeabilidade e a capacidade de absorção da água; e as que conferem resistência à dispersão, ao salpicamento,

à abrasão e as forças de transporte da chuva e enxurrada (Bertoni & Lombardi Neto, 1990).

A tolerância de perdas de solo ($A_{\text{tolerável}}$) expressa a quantidade média de sedimentos que um solo pode perder anualmente, representando a intensidade máxima de erosão que ainda permitirá a sua posterior utilização, mantendo-se econômica com um alto nível de produtividade (Bertoni & Lombardi Neto, 1990).

Os valores de K e $A_{\text{tolerável}}$, Tabela 7, foram obtidos através da associação dos valores encontrados por Bertoni & Lombardi Neto (1990) e comentários de Lombardi Neto⁸ para as diferentes unidades pedológicas ocorrentes na área de estudo.

Tabela 7. Valores de erodibilidade (K) e tolerância anual à perda de solos ($A_{\text{tolerável}}$) para as unidades de solos encontradas na Microbacia de Itambi.

Unidade de Solo	Fator K (MJ.mm.ha ⁻¹ .h ⁻¹ .ano ⁻¹)	$A_{\text{tolerável}}$ (t.ha ⁻¹ .ano ⁻¹)
Argissolos	0,0350	4,5
Latossolos	0,0175	15,0
Neossolo Quartzênico	0,0296 *	6,8 *
Gleissolos e Hidromórficos	0,0000	0,0

Fonte: Adaptado de Bertoni & Lombardi Neto (1990) e * Lombardi Neto (comunicação pessoal).

3.4.1.4.3 Fator topográfico (LS)

A intensidade da erosão hídrica é variável dependendo da rampa⁹ que a água percorre, através de suas características comprimento (L) e grau de declive (S). Esses dois efeitos são pesquisados separadamente, mas para aplicação na EUPS, são analisados conjuntamente, constituindo o fator topográfico (LS). O fator LS representa a relação esperada de perdas de solo por unidade de área em um declive qualquer, comparada às perdas de solo

⁸ LOMBARDI NETO, F. (CSRA, IAC, Campinas, SP). Comunicação pessoal, 2001.

⁹ Rampa é definida por Rocha et al. (1997) como uma área com mesmo grau de declividade e mesma face (aspecto) em relação ao norte.

correspondentes em uma parcela unitária padrão de 25 metros de comprimento com 9% de declividade (Bertoni & Lombardi Neto, 1990).

O fator LS é um dos fatores mais importantes da EUPS, porém é o que apresenta maiores dificuldades para a sua obtenção, especialmente quando se deseja estimar a perda de solo de uma microbacia (Desmet & Govers, 1996; Rocha et al., 1997; Weill, 1999; Milward & Mersey, 1999; Silva & Schulz, 2001). A dificuldade se explica pela complexidade do perfil do relevo, na qual o declive pode ser reto, côncavo, convexo ou uma combinação dos formatos. Dvořák & Novák (1994) citam que diferentes áreas podem ter a mesma declividade média, mas dependendo do formato, influenciam o processo de erosão hídrica de modo específico.

Foram utilizados dois procedimentos de cálculo do fator LS, o primeiro foi baseado na divisão da microbacia em rampas, descrito por Rocha et al. (1997), e o segundo através do programa "USLE-2D", o qual é composto por vários algoritmos computacionais de cálculo automatizado.

O método descrito por Rocha et al. (1997) utiliza a equação apresentada por Bertoni & Lombardi Neto (1990), eq. (8), baseado na equação determinada por Bertoni (1959) para os principais tipos de solos do Estado de São Paulo e modificado para as condições padrões.

$$LS = 0,00984 C^{0,63} D^{1,18} \quad (8)$$

onde:

LS = fator topográfico (adimensional);

C = comprimento da rampa (m);

D = grau de declividade (%).

O procedimento para obtenção do comprimento de rampa consistiu inicialmente em identificar as rampas através dos planos de informações de declividade e aspecto classificados, onde aspecto é o ângulo de exposição das vertentes em relação ao norte. O aspecto, com variação entre 0 a 360°, foi

classificado em 8 classes com intervalos de 45° e o mapa de declividade em classes utilizadas em trabalhos de conservação de solos. A partir de cada rampa ou polígono, foram calculadas a declividade média e a diferença de altitude. O comprimento de rampa foi obtido através da eq. (9).

$$L = \frac{DH}{\text{sen}\alpha} \quad (9)$$

onde:

L = comprimento de rampa (m)

DH = diferença de altitude (m)

α = declividade média da rampa (graus)

Weill (1999) verificou que nas áreas onde a declividade média tende a zero ou quando a diferença de altitude é igual a zero, os valores de L deveriam ser corrigidas para prevenir distorções. A correção dos valores de L foi realizada utilizando-se o comprimento do lado de um quadrado calculado pela área do polígono correspondente, substituindo-se os valores quando o L calculado foi menor.

O segundo procedimento de obtenção do fator LS, foi a utilização dos algoritmos elaborados por Oost et al. (2000) e Desmet & Govers (1996) disponíveis no programa "LS-USLE2D" versão 4.1, para ambiente Windows e compatível com o software IDRISI 2.0. Os algoritmos são ampliações do modelo proposto por Foster & Wischmeier¹⁰, citado por Desmet & Govers (1996), utilizando-se o conceito de área de contribuição. O aplicativo requisita o arquivo do MDE da área de trabalho juntamente com um segundo arquivo o qual contém a área da parcela, definindo a microbacia. Dentre as opções existentes, utilizou-se os algoritmos "Flow Decomposition" para a área de

¹⁰ FOSTER, G.R.; WISCHMEIER, W.H. Evaluating irregular slopes for soil loss prediction. **Trans. ASAE**, v.17, p.305-309. 1974.

contribuição que consideram os fluxos convergentes, paralelo e divergente, e o algoritmo baseado no modelo “Govers (91)” para o cálculo do fator LS.

3.4.1.4.4 Fator uso e manejo (C)

As perdas de solo que ocorrem em uma área mantida continuamente descoberta podem ser estimadas pelo PNE. Entretanto, se a área estiver cultivada, tais perdas serão reduzidas devido à proteção que a cultura oferece ao solo (Bertoni & Lombardi Neto, 1990).

O fator uso e manejo (C) é a relação esperada entre as perdas de solo de um terreno cultivado em dadas condições e as perdas correspondentes de um terreno mantido continuamente descoberto e cultivado. O fator C mede o efeito combinado de todas as relações das variáveis de cobertura e manejo utilizadas, desde o plantio até a colheita, e influenciado pela época em que cada operação é realizada. Diferentes combinações dessas variáveis provavelmente apresentem diferentes efeitos nas perdas de solo.

Os efeitos das variáveis uso e manejo não podem ser avaliados independentemente, devido às diversas interações que ocorrem. Assim, uma cultura pode ser plantada continuamente em um mesmo local ou então em rotação com outras. Seus restos podem ser removidos, deixados na superfície, incorporados próximos à superfície ou totalmente enterrados com o preparo do solo. Quando deixados na superfície, podem ser cortados ou mantidos como foram colhidos.

Devido a grande variação nos valores para o fator C, mesmo considerando apenas uma determinada cultura, foram compilados os valores utilizados em diversos trabalhos (Donzeli et al., 1992; Menck, 1993; Cavalieri, 1998; Ito, 1998; Nascimento, 1998; Weill, 1999; Cerri, 1999) e analisados aos valores de $CP_{\text{tolerável}}$ encontrados para as condições da microbacia.

3.4.1.4.5 Fator prática conservacionista (P)

O fator P é a relação entre a intensidade de perdas de solo com uma determinada prática conservacionista e aquelas quando a cultura está plantada no sentido do declive, morro abaixo. Para áreas terraceadas, o comprimento do declive a usar na determinação de LS na equação é o intervalo do terraço. O valor de P para área terraceada, portanto, deverá ser o mesmo do plantio em contorno, uma vez que, reduzindo o comprimento do declive, reduzem-se as perdas de solo pela raiz quadrada do comprimento.

Os valores de P para a área de estudo são definidos segundo dados de Bertoni & Lombardi Neto (1990), apresentados na Tabela 8.

Tabela 8. Valor de P para algumas práticas conservacionistas.

Práticas conservacionistas	Valor de P
Plantio morro abaixo	1,0
Plantio em contorno / Terraços	0,5
Cordões de vegetação permanente	0,2

Fonte: Adaptado de Bertoni & Lombardi Neto (1990)

3.4.2 Capacidade de uso da terra

A capacidade de uso das terras é um sistema de avaliação da terra considerando-se os aspectos relacionados ao solo, topografia e processos erosivos determinado através dos dados levantados na caracterização do meio físico e das eventuais limitações existentes.

As classes de capacidade de uso da área de estudo foram determinadas de acordo com o sistema de classificação constante do Manual para Levantamento Utilitário do Meio Físico e Classificação de Terras no Sistema de

Capacidade de Uso (Lepsch , 1991). As categorias hierárquicas consideradas no trabalho foram:

- a) Grupos: A, B e C;
- b) Classes: I a VIII;
- c) Subclasses: e, s, a, c; e

A classificação baseou-se nos critérios constantes das tabela de julgamento apresentadas nos trabalhos de Lepsch (1991), Zimback & Rodrigues (1993), Ribeiro & Campos (1999) e Rodrigues et al (2001), sendo que as classes de capacidade de uso, devido às limitações por processos erosivos, foram definidas utilizando-se a classificação do risco de erosão proposta por Nogueira (2000).

A microbacia foi classificada no SIG através da análise integrada dos planos de informação gerados pela associação dos fatores limitantes às classes de capacidade de uso, apresentados na Tabela 9. As classes e subclasses foram determinadas pelo fator mais limitante de cada área definida inicialmente pelas classes de declive, solo e clima. O clima foi caracterizado pelo balanço hídrico apresentado no item 4.1.1.

Tabela 9. Tabela de julgamento das classes de capacidade de uso.

Limitação	Nível de limitação	Classes de capacidade de uso							
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Fertilidade Aparente	Muito alta	x							
	Alta	x							
	Média		x						
	Baixa			x					
Profundidade Efetiva	Muito Baixa						x		
	> 200 cm	x							
	100 – 200 cm	x							
	50 – 100 cm		x						
	25 – 50 cm				x				
Permeabilidade e Drenagem	< 50 cm						x		
	Excessiva		x						
	Boa	x							
	Moderada		x						
Deflúvio	Pobre			x					
	Muito pobre					x			
	Muito rápido				x				
	Rápido			x					
Risco de Inundação	Moderado		x						
	Lento	x							
	Muito lento		x						
	Sem risco	x							
Declividade	Ocasional			x					
	Freqüente					x			
	Muito freqüente								x
	0 - 3%	x							
	3 - 6%		x						
	6 – 12%			x					
Erosão	12 – 20%				x				
	20 – 40%						x		
	> 40%							x	
	não aparente	x							
	ligeira		x						
Erosão	moderada			x					
	severa						x		
	muito severa							x	
	extremamente severa								x

Fonte: Adaptado de Ribeiro & Campos (1999).

3.4.2.1 Fatores limitantes considerados

Para cada limitação considerada, foram atribuídas notas que possibilitaram caracterizar de forma menos abstrata a associação dos seus níveis com as classes do sistema (Zimback & Rodrigues, 1993) e Rodrigues et al, 2001). A classificação das limitações são descritas a seguir.

a) Fertilidade aparente: foi determinado pela somatória das notas atribuídas aos níveis de pH, teor de saturação por bases (V%), capacidade de troca catiônica (CTC) e matéria orgânica, definidas respectivamente nas Tabelas 10, 11, 12 e 13 para cada unidade de solo. Os valores resultantes foram classificados e associados a uma classe de capacidade de uso, conforme a Tabela 14.

Tabela 10. Classes de atribuição de nota para os valores de pH.

CLASSIFICAÇÃO	pH	NOTA
muito alta	> 6,01	5
alta	5,51 a 6,00	4
média	5,01 a 5,50	3
baixa	4,30 a 5,00	2
muito baixa	< 4,30	1

Fonte: Ribeiro & Campos (1999).

Tabela 11. Atribuição de nota para as classes de V%.

CLASSIFICAÇÃO	V %	NOTA
muito alta	> 90,1	5
alta	70,1 a 90,0	4
média	50,1 a 70,0	3
baixa	25,1 a 50,0	2
muito baixa	< 25,0	1

Fonte: Ribeiro & Campos (1999).

Tabela 12. Atribuição de nota para as classes de CTC.

CLASSIFICAÇÃO	CTC (meq 100g ⁻¹)	NOTA
alta	> 10,1	5
média	5,0 a 10,0	3
baixa	< 5,0	1

Fonte: Ribeiro & Campos (1999).

Tabela 13. Atribuição de nota para as classes de teor de MO.

CLASSIFICAÇÃO	CTC (meq 100g ⁻¹)	NOTA
alta	> 2,51	5
média	1,51 a 2,50	3
baixa	< 1,50	1

Fonte: Adaptado de Zimback & Rodrigues (1993), Ribeiro & Campos (1999) e Rodrigues et al. (2001).

Tabela 14. Relação entre a fertilidade aparente e a classe de capacidade de uso.

CLASSIFICAÇÃO	INTERVALOS DE ENQUADRAMENTO	CLASSE
muito alta	16,9 a 20,0	I
alta	13,7 a 16,8	I
média	10,5 a 13,6	II
baixa	7,3 a 10,4	III
muito baixa	4,0 a 7,2	VI

Fonte: Ribeiro & Campos (1999).

- b) Profundidade efetiva do solo: foi determinado conforme a descrição morfológica da cada unidade de solo, constante no levantamento pedológico.
- c) Permeabilidade e drenagem: foram estabelecidas a partir das propriedades físicas de cada tipo de solo, principalmente a textura, constantes das análises do levantamento pedológico.
- d) Deflúvio: foi determinado pela somatória das notas atribuídas à infiltração e à declividade, principais fatores que interferem na intensidade do deflúvio, definidas nas Tabelas 15 e 16 respectivamente, a qual foi classificada de acordo com a capacidade de uso correspondente conforme a Tabela 17. A infiltração varia com o tipo de solo, conseqüentemente quanto maior a infiltração menor a contribuição para o deflúvio. A declividade é diretamente proporcional a intensidade do deflúvio, de modo que quanto maior a declividade, maior será o deflúvio.

Tabela 15. Atribuição de nota para a contribuição do tipo de solo no deflúvio.

UNIDADE DE SOLO	NOTA
Neossolo	1
Latossolo	2
Argissolo	4
Hidromórficos	6

Fonte: Adaptado de Ribeiro & Campos (1999).

Tabela 16. Atribuição de nota para a contribuição da declividade no deflúvio.

Declividade (%)	NOTA
0 a 3	1
3 a 6	2
6 a 12	3
12 a 20	4
20 a 40	5
maior que 40	6

Fonte: Adaptado de Ribeiro & Campos (1999).

Tabela 17. Relação entre o deflúvio e a classe de capacidade de uso.

CLASSIFICAÇÃO	INTERVALOS DE ENQUADRAMENTO	CLASSE
muito lento	2 a 3	II
lento	4 a 5	I
moderado	6 a 7	II
rápido	8 a 9	III
muito rápido	10 a 12	IV

Fonte: Adaptado de Ribeiro & Campos (1999).

- e) O risco de inundação foi determinado a partir de observações de campo realizadas no levantamento pedológico.
- f) A declividade do terreno, classificada na Tabela 9, foi utilizada como critério diagnóstico para indicar a classe de capacidade de uso.
- g) O processo erosivo considerado para a definição das classes de capacidade de uso foi estimado através da classificação dos valores de risco de erosão natural, eq. (4). A classificação do risco de erosão, Tabela 18, originalmente foi apresentada por Donzelli et al. (1992) e posteriormente modificada por Nogueira (2000).

Tabela 18. Classificação da capacidade de uso da terra relacionada com o risco de erosão natural (e).

Classe	CP tolerável	CLASSE
Extremamente alto	< 0,0005	VIII
Muito Alto	0,0005 a 0,0010	VIIe
Alto	0,0010 a 0,0170	VIe
Moderado	0,0170 a 0,0880	IVe
Baixo	0,0880 a 0,2000	IIIe
Muito Baixo	> 0,2000	(I, II, III)e

Fonte: Adaptado de Nogueira (2000)

3.5 Validação dos modelos de risco de erosão

A validação dos modelos de identificação do risco de erosão foi realizada selecionando-se um dos setores indicados como mais crítico na microbacia. A validação foi realizada em três etapas: levantamento e caracterização das feições erosivas; associação das erosões com os fatores erosivos; e comparação das erosões com os modelos.

As informações das erosões existentes, assim como de relevo e uso atual, foram levantados e mapeados com auxílio de equipamento GPS. Com o objetivo de compreender melhor as causas do surgimento e desenvolvimento dos processos erosivos, foram entrevistados os responsáveis pelas propriedades inseridas no setor da microbacia para coletar informações sobre o histórico de ocupação e do sistema de produção vigente.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Caracterização do meio físico da microbacia

4.1.1 Clima

A precipitação anual na região de Panorama no período considerado foi de 1172 mm, apresentando uma estação chuvosa de outubro a março e uma estação seca de abril a setembro com precipitações totais de 881 mm e 281 mm (Tabela 19) respectivamente. O mês de janeiro apresentou a maior intensidade máxima pluviométrico no período de 24 horas correspondente a 149 mm.

Tabela 19. Precipitação pluviométrica média e sua porcentagem de distribuição ao longo do ano para a região de Panorama.

MÊS	PLUVIOSIDADE			
	Média (mm)	%	% Acumulada	Máxima 24h (mm)
Janeiro	206,2	18	18	149,2
Fevereiro	154,7	13	31	136,2
Março	126,8	11	42	98,3
Abril	73,8	6	48	91,2
Maio	67,1	6	54	84,0
Junho	37,2	3	57	65,5
Julho	27,3	2	59	60,6
Agosto	28,9	2	62	57,5
Setembro	56,2	5	66	52,3
Outubro	110,5	9	76	107,4
Novembro	119,8	10	86	96,6
Dezembro	163,0	14	100	113,1
TOTAL	1.171,7	100		1.111,9

Fonte: Departamento de Águas e Energia Elétrica, (2001)

As temperaturas médias mensais variaram entre 20,0 °C em janeiro e 18,3 °C em junho (Tabela 20). O mês de fevereiro foi o que apresentou a temperatura mais elevada com 30,7 °C, enquanto que a temperatura mais baixa foi observada no mês de julho com 13,2 °C.

Tabela 20. Variação média dos atributos climáticos na Estação Meteorológica de Presidente Prudente no período de 1969 a 1976.

MÊS	TEMPERATURA °C			UMIDADE RELATIVA (%)
	MÍNIMA	MÁXIMA	MÉDIA	
Janeiro	20,0	30,6	24,7	78
Fevereiro	20,0	30,7	24,8	77
Março	19,5	30,8	24,6	75
Abril	17,3	29,3	22,1	72
Mai	14,8	26,9	20,2	70
Junho	14,1	25,7	19,2	72
Julho	13,2	25,8	18,3	73
Agosto	14,8	27,8	20,6	61
Setembro	15,9	28,7	21,8	64
Outubro	16,6	28,6	22,4	70
Novembro	18,4	29,8	23,8	78
Dezembro	19,3	29,9	24,2	74
MÉDIA ANUAL	17,0	28,7	22,2	72

Fonte: Companhia Energética de São Paulo (1992)

Os resultados do balanço hídrico obtido pelo método de “Thornthwaite & Mather -1955” são apresentados na Figura 2 e Tabela 21, para uma capacidade de retenção de água igual a 75 mm.

De acordo com os dados de temperatura e precipitação utilizados, foi observada deficiência hídrica no mês de abril e no período de junho a setembro, atingindo a máxima em agosto com 22,4 mm. A partir de outubro, há um período de reposição de água no solo devido ao aumento da precipitação mensal, ocorrendo excedentes na retenção de água entre os meses de dezembro a fevereiro. Apesar da média mensal do período em que ocorre excedente ser de 11,2mm, o escoamento superficial deve ser mais intenso devido às chuvas torrenciais que ocorrem na região.

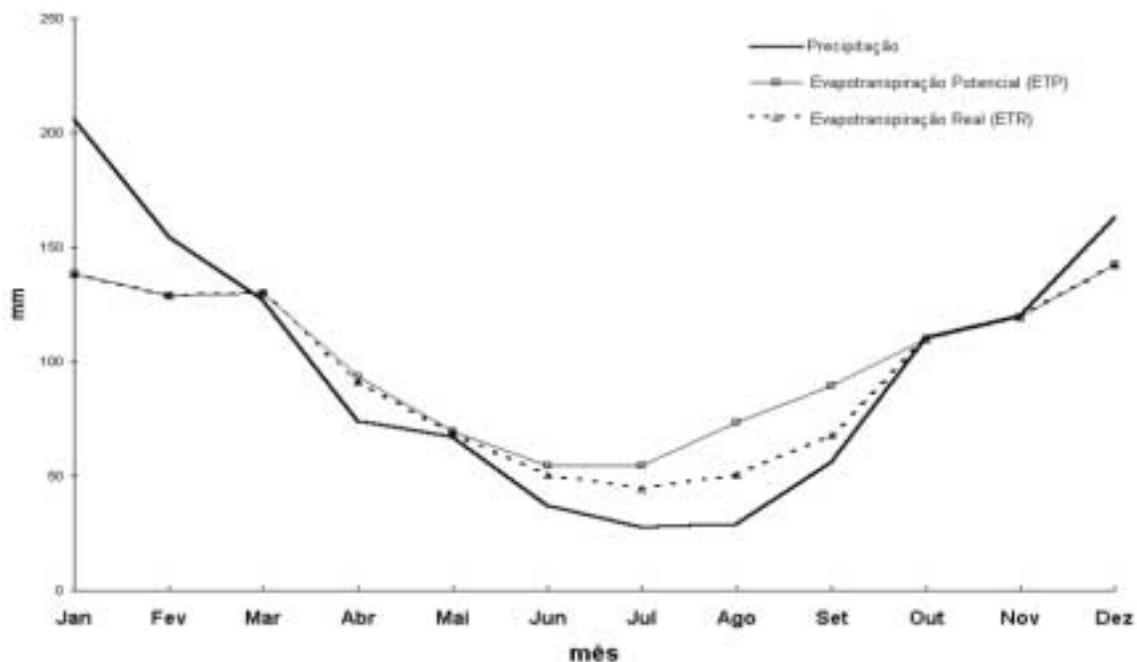


Figura 2 – Balanço hídrico mensal para a região da microbacia de Itambi.

Tabela 21. Balanço hídrico de “Thornthwaite & Mather - 1955” para a região da microbacia de Itambi.

MÊS	T (°C)	P (mm)	ETP (mm)	RET (mm)	ETR (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)
Janeiro	24,7	206,2	126,07	75,00	126,1	0,0	80,1
Fevereiro	24,8	154,7	116,07	75,00	116,1	0,0	38,6
Março	24,6	126,8	120,93	75,00	120,9	0,0	5,9
Abril	22,1	73,8	84,19	65,29	83,5	0,7	0,0
Maio	20,2	67,1	65,56	66,83	65,6	0,0	0,0
Junho	19,2	37,2	53,54	53,75	50,3	3,3	0,0
Julho	18,3	27,3	48,53	40,50	40,6	8,0	0,0
Agosto	20,6	28,9	67,70	24,15	45,3	22,4	0,0
Setembro	21,8	56,2	79,65	17,68	62,7	16,9	0,0
Outubro	22,4	110,5	93,05	35,17	93,0	0,0	0,0
Novembro	23,8	119,8	110,51	44,49	110,5	0,0	0,0
Dezembro	24,2	163,0	122,98	75,00	123,0	0,0	9,5
ANUAL	266,7	1171,6	1088,78	647,86	1037,5	51,3	134,1
MÉDIA	22,2	97,6	90,73	54,0	86,5	4,3	11,2

Nota: TEMP = Temperatura média; P = Precipitação; ETP = Evapotranspiração Potencial; ETR = Evapotranspiração Real, RET = Retenção; DEF = Deficiência; Exc = Excedente.

A ocorrência de déficit hídrico no período de junho a setembro na região da microbacia de Itambi, associada ao solo Neossolo Quartzarênico, de baixa retenção de água, pode causar problemas para culturas anuais e para as pastagens se estas não forem bem manejadas. A implementação de técnicas de manejo que possibilitem aumentar a capacidade de armazenamento de água no solo é um aspecto importante a ser considerado durante o planejamento de uso dessa microbacia.

A ocorrência de chuvas intensas no período de outubro a março constitui sério problema à estabilidade dos solos proporcionando maior risco de erosão.

4.1.2 Geologia e geomorfologia

A microbacia do ribeirão Itambi é constituído por arenitos do Grupo Bauru, representado por rochas sedimentares das formações Santo Anastácio (basicamente quartzo, de granulação fina a média) nas cotas mais baixas e Adamantina (arenitos finos e muito finos; basicamente quartzo em matriz argilosa) na parte superior (Figura 3). As informações de limite e detalhamento devem ser usadas apenas como indicativas de que a microbacia se encontra em uma zona de transição geológica, pois apesar de ser baseado no mapa digital em escala 1:250.000, essas informações foram obtidas da compilação do Mapa Geológico do Estado de São Paulo (IPT, 1981 citado CBH-AP, 1997), editado pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas, originalmente na escala 1:500.000.

A microbacia está inserida na província geomorfológica denominada Planalto Ocidental, que constitui a continuidade física do reverso das Cuestas Basálticas, onde são reconhecidos setores elevados de planalto, com níveis rebaixados por erosão e controlados estruturalmente.

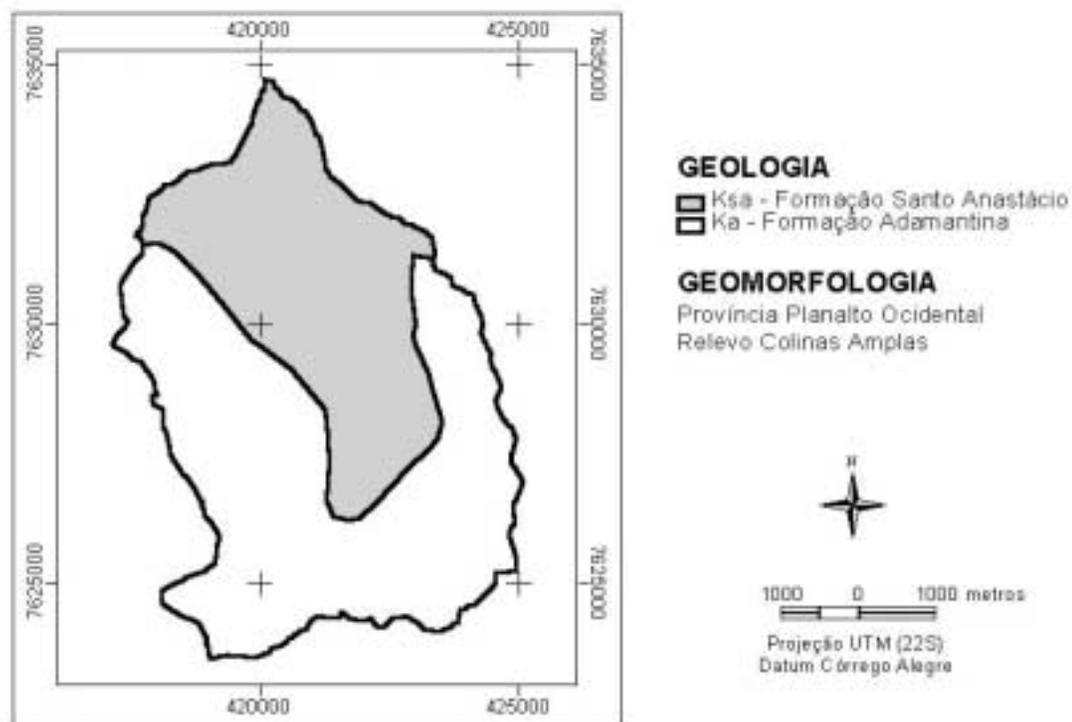


Figura 3 – Mapa geológico e geomorfológico da microbacia do córrego Itambi.

O relevo da área de estudo é caracterizado por colinas amplas que se constitui no sistema de relevo predominante nas bacias hidrográficas dos rios Peixe e Aguapeí. As colinas amplas se caracterizam por apresentar predomínio de interflúvios com área superior a 4 km², topos extensos e aplainados, vertentes com perfis retilíneos a convexos. Este relevo apresenta drenagem de baixa densidade, padrão subdendrítico, vales abertos e planícies aluviais interiores restritas.

4.1.3 Caracterização topográfica e física

A Figura 4 apresenta a cartografia básica da microbacia contendo as informações de altimetria, rede de drenagem e sistema viário. A carta fornece

elementos importantes para compreensão do aspecto fisiográfico da microbacia. A microbacia é formada uma vasta rede de drenagem mas com a ocorrência de apenas um curso d'água perene principal e de vários cursos d'água efêmeros, nos quais ocorrem fluxos de água somente durante as chuvas ou períodos chuvosos.

A microbacia é de primeira ordem, segundo a classificação de STRAHLER, caracterizada por possuir uma baixa densidade de drenagem ($0,26\text{km.km}^{-2}$) com a vertente principal orientada no sentido norte (Tabela 22).

Tabela 22. Características físicas da microbacia.

PARÂMETROS FÍSICOS	VALORES
área (km^2)	55,58
altitude média (m)	342
comprimento do canal principal (km)	10,7
densidade de drenagem (km.km^{-2})	0,26
perímetro (km)	34,8
fator de forma	0,44
orientação	Norte/Sul

A microbacia se localiza a cerca de dois quilômetros e meio do perímetro urbano da cidade de Ouro Verde, refletindo na existência de estradas pavimentadas ao seu redor, sendo que somente cerca de três quilômetros cortam a microbacia, na área situada próximo ao espigão.

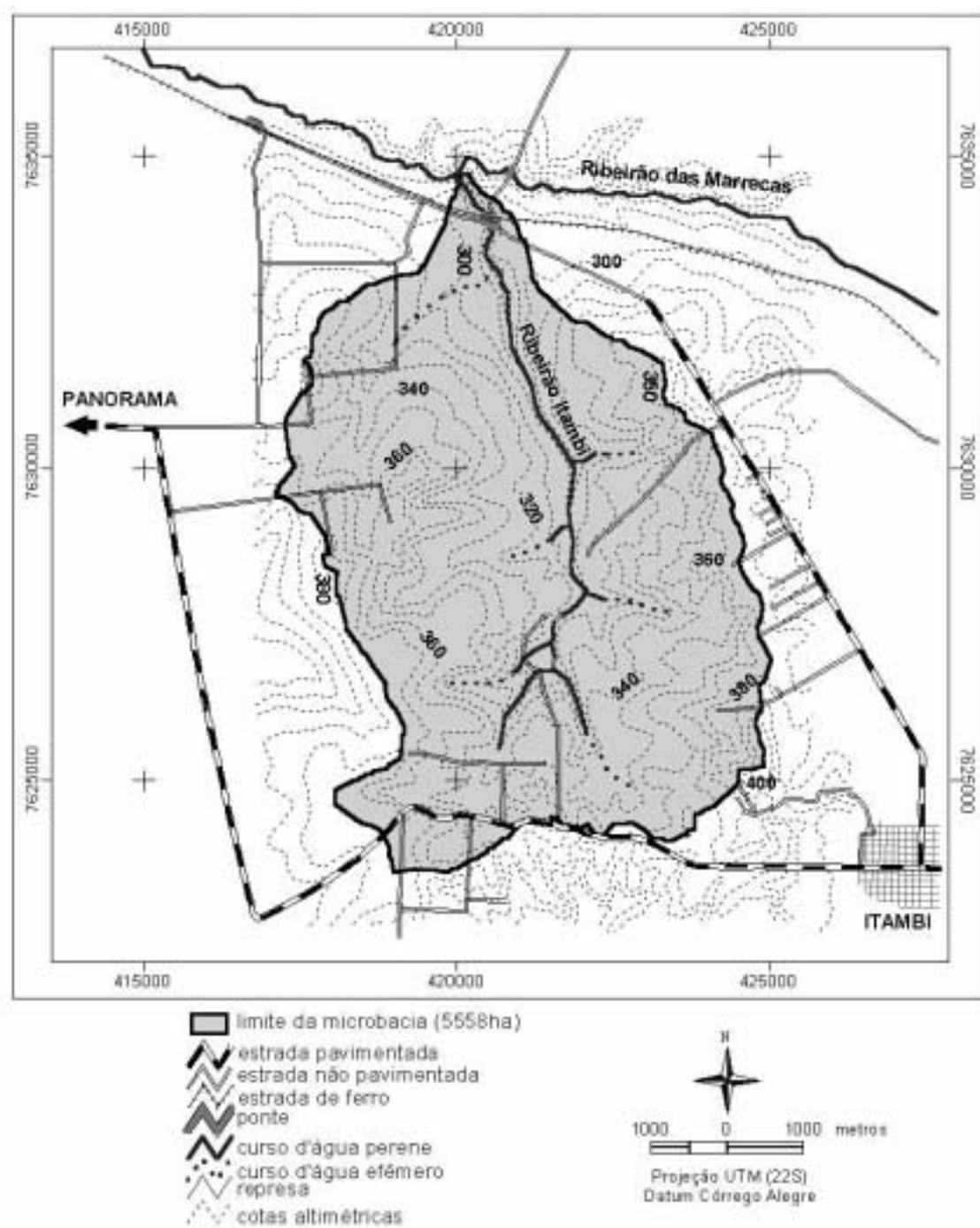


Figura 4 – Topografia da microbacia do Ribeirão Itambi.

4.1.4 Modelo digital de elevação

Os resultados das análises estatísticas dos MDE's utilizando-se os quatro modelos de interpolação e da distribuição da área por classes de declive, gerados com os MDE, são apresentados na Tabela 23.

Tabela 23. Comparativo dos resultados dos MDE gerados para a microbacia do ribeirão Itambi.

CARACTERÍSTICA	INTERPOLADOR			
	Spline	IDW	TIN	Intercon
altitude mínima (m)	264,6	270,0	264,5	270,0
altitude máxima (m)	407,0	406,9	406,8	406,8
altitude média (m)	341,5	341,1	341,5	341,2
declividade mínima (%)	0,0	0,0	0,01	0,0
declividade máxima (%)	41,5	35,9	45,0	134,3
declividade média (%)	3,6	3,4	3,8	3,9
área com declive 0% (ha)	9,8	368,2	0,0	440,3
área com declive 0 a 3% (ha)	2.596,3	2.561,0	2.366,2	2.200,3
área com declive 0 a 6% (ha)	2.136,5	1.670,2	2.448,2	1.941,5
área com declive 6 a 12% (ha)	774,2	899,6	706,2	839,2
área com declive 12 a 20% (ha)	36,2	56,5	32,0	94,3
área com declive 20 a 40% (ha)	4,8	2,2	5,0	36,7
área com declive 40 a 45% (ha)	0,03	0,00	0,03	4,90

Os quatro modelos não se diferenciaram quando analisados pelos critérios de altitude mínima, máxima e média, mas comparando as isolinhas extraídas dos modelos (Figura 5) e a distribuição das classes de declive geradas com os modelos, observa-se que os modelos gerados pelo interpolador de distância (IDW) e o linear (Intercon) apresentaram os piores resultados relacionados com a baixa correspondência com as cotas originais e a existência de áreas significativas com declividade 0%, mesmo utilizando uma alta densidade de pontos de amostragem.

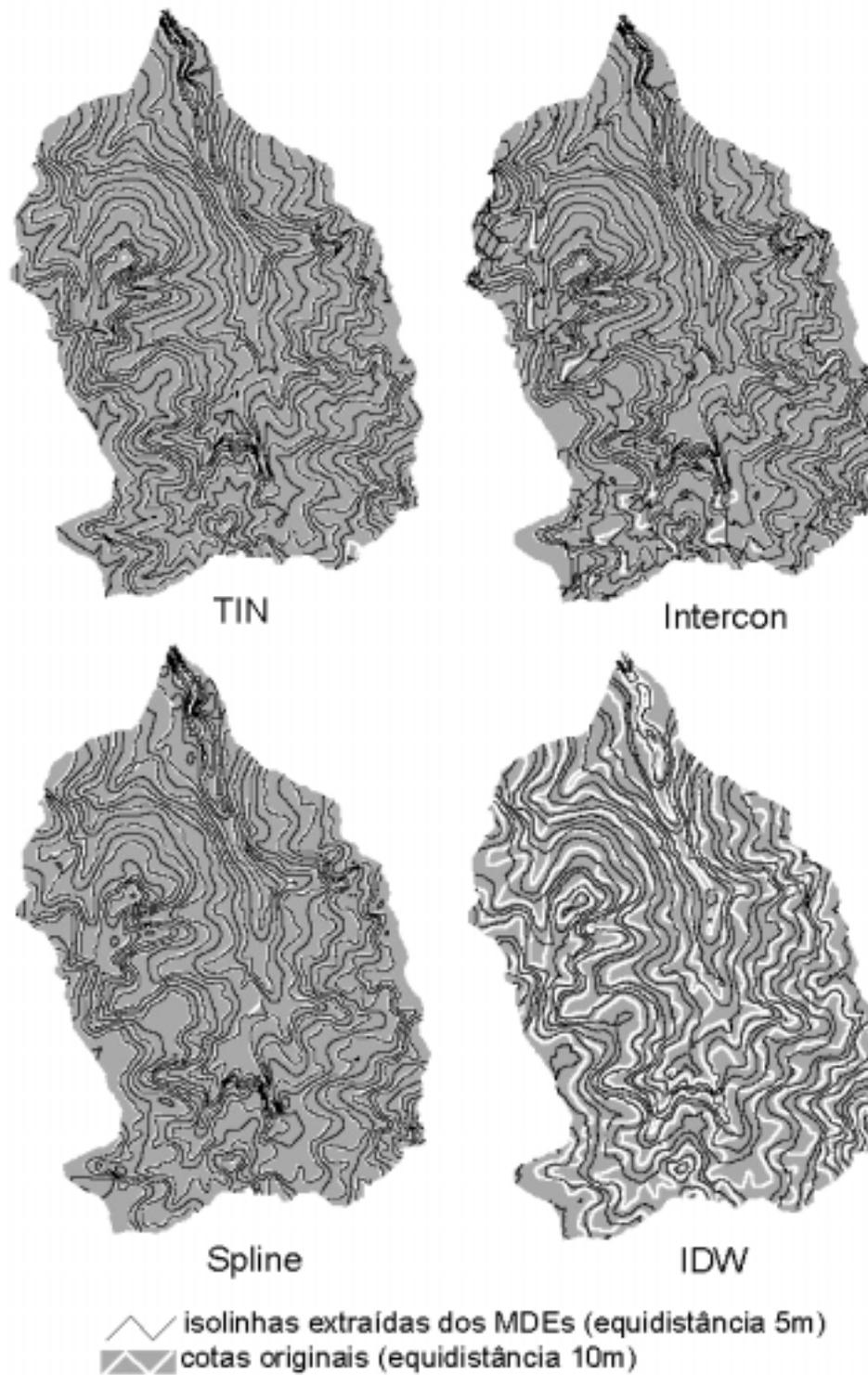


Figura 5 – Comparativo dos modelos de representação da topografia da microbacia através das cotas obtidas a partir dos MDE's.

Nos critérios citados anteriormente, os resultados dos outros dois modelos (TIN e Spline) se mostraram semelhantes, mas analisando visualmente as isolinhas, verifica-se que o modelo da triangulação (TIN) representou melhor as isolinhas intermediárias entre as cotas originais.

Cavalieri (1998) e Ito (1998) concluíram que o modelo que apresentou o melhor resultado, dentre os modelos gerados no programa “Surfer”, através da análise visual foi o interpolador de curvatura mínima. O interpolador TIN não foi citado nos trabalhos anteriores pois foi disponibilizado somente na versão mais recente do Idrisi, possuindo a vantagem sobre o interpolador de triangulação do Surfer de permitir a inclusão de restrições, descritos por Eastman (1999), que melhoram consideravelmente o resultado final do MDE.

O resultado pode ser visto pelas representações do relevo da microbacia obtidas com o MDE apresentadas na Figura 6.

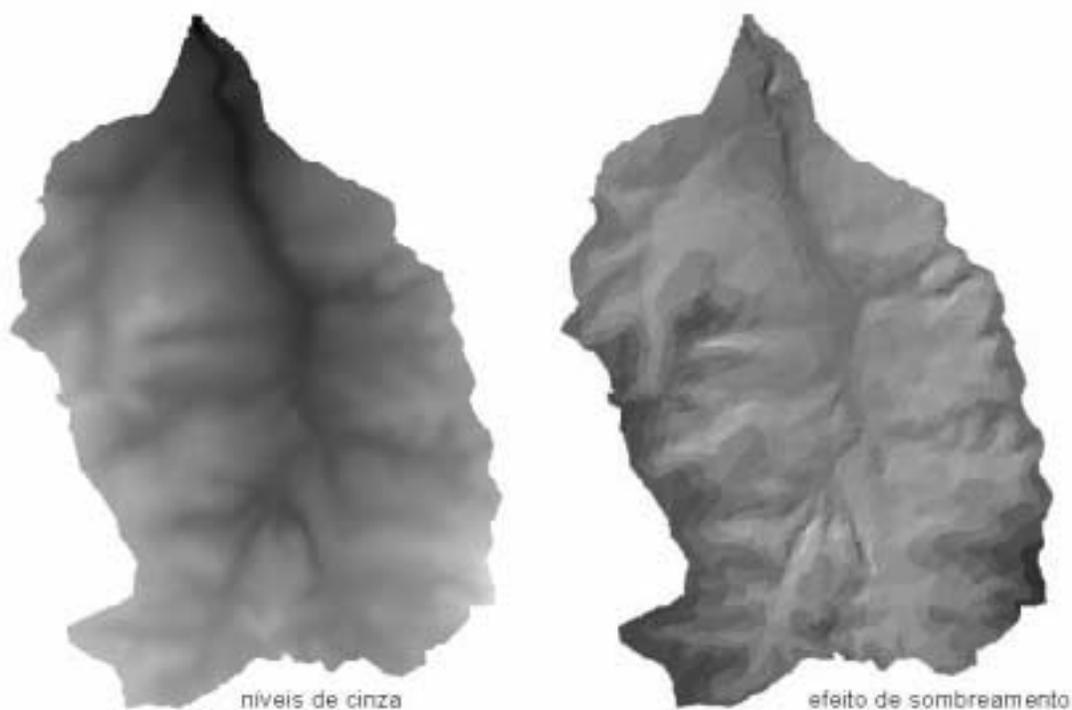


Figura 6 – Representações do relevo da microbacia gerados com o MDE.

4.1.5 Sub-bacias da microbacia

A microbacia é formada por áreas de sessenta e três propriedades com tamanhos variando entre 7 a 1372 hectares (Figura 7). A distribuição das propriedades por classe de tamanho e as respectivas áreas inseridas na microbacia são representadas na Tabela 24.

A distribuição mostra que 84% das propriedades possuem até 100ha, mas a área total destas propriedades representam apenas 1058ha da microbacia. As áreas destas propriedades, apesar de representarem apenas 19% da área total da microbacia, são importantes no planejamento pois estão concentradas em 4 loteamentos rurais e foram alocadas com o eixo de maior comprimento no sentido de maior declive. Esse fato é um potencial causador de processos erosivos devido à orientação das vias de acesso às propriedades e as cercas de divisa.

Tabela 24. Distribuição das propriedades por classe de tamanho e a área correspondente na microbacia.

CLASSE DE TAMANHO (ha)	NÚMERO DE PROPRIEDADES			ÁREA NA MICROBACIA	
	QT.	%		ha	%
		PARCIAL	ACUMULADA		
0 a 25	27	42,9	42,9	274,9	4,9
25 a 50	16	25,3	68,2	427,5	7,7
50 a 100	10	15,9	84,1	355,6	6,4
100 a 500	5	7,9	92,0	786,5	14,1
500 a 1.000	3	4,8	96,8	1.731,3	31,2
maior que 1.000	2	3,2	100,0	1.982,0	35,7
TOTAL	63	100,0		5.557,8	100,0

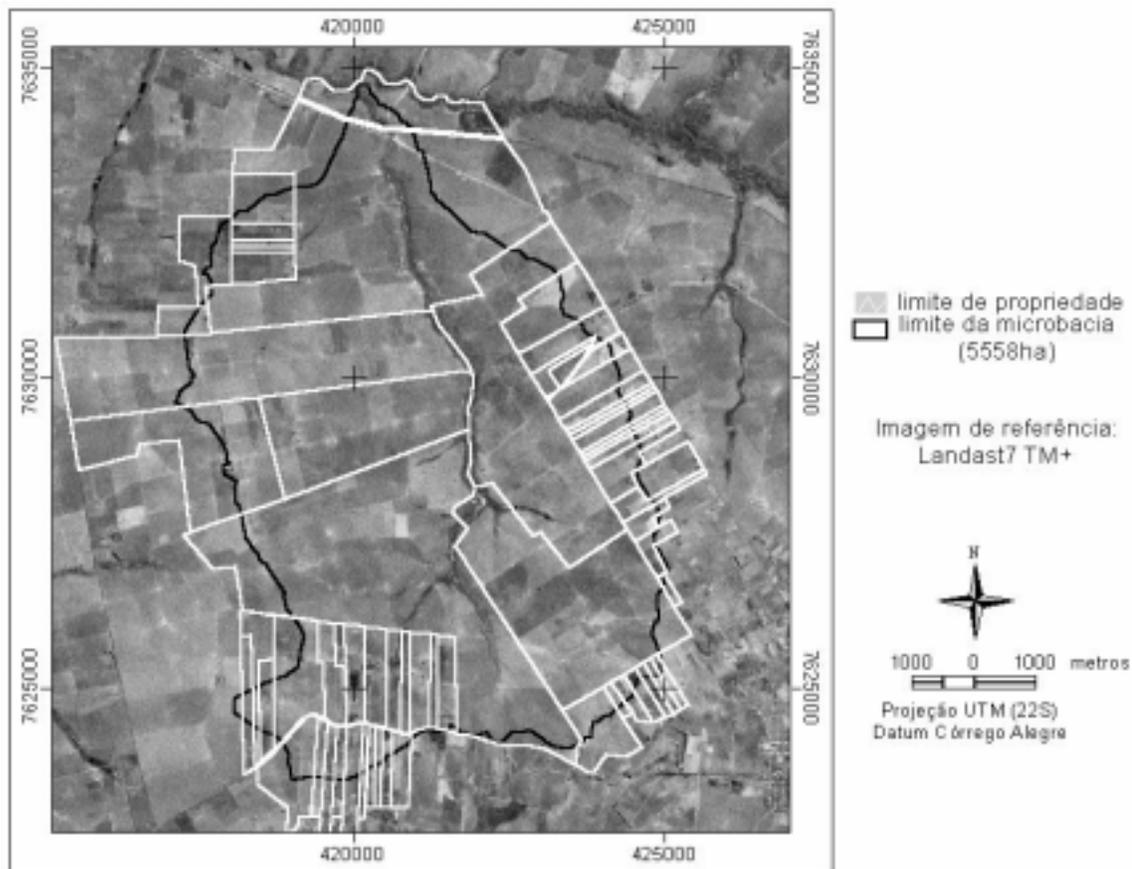


Figura 7 – Distribuição das propriedades na microbacia do ribeirão Itambi.

As informações sobre os limites das propriedades contidas nas fotos aéreas mostraram-se bastante desatualizadas, de 1974, únicas disponíveis para a região, tornando as informações da imagem do satélite Landsat7 muito úteis no reconhecimento e orientação do levantamento de campo com equipamento DGPS.

A setorização da microbacia, definida com a divisão da área realizada essencialmente sobre as microbacias menores, mas considerando o número de propriedades, posição na microbacia e uma limitação de área mínima e máxima, é representada pela Tabela 25 e Figura 8.

Foram definidos 33 setores com variação de área entre 74,5 a 466,5 hectares e de número de propriedades entre 1 a 12. Essa setorização, que não

é definitiva ou rigorosa, auxilia na orientação da elaboração dos planos, podendo a implantação ajustá-las de acordo com as restrições impostas pelos contextos social, econômico e institucional da região.

Tabela 25. Divisão da microbacia em setores.

SETOR	ÁREA (HA)	NÚMERO DE PROPRIEDADES
1	141,4	1
2	162,5	5
3	107,1	7
4	95,4	3
5	83,3	4
6	105,9	2
7	105,2	2
8	140,4	3
9	466,5	3
10	74,5	2
11	139,8	3
12	226,7	8
13	225,3	5
14	175,2	2
15	110,9	3
16	256,7	11
17	232,8	2
18	127,7	2
19	150,0	3
20	157,4	3
21	122,1	2
22	351,1	7
23	253,0	2
24	197,6	3
25	234,5	9
26	98,7	3
27	137,4	6
28	281,5	6
29	115,3	7
30	116,7	6
31	80,7	7
32	123,6	12
33	160,9	10

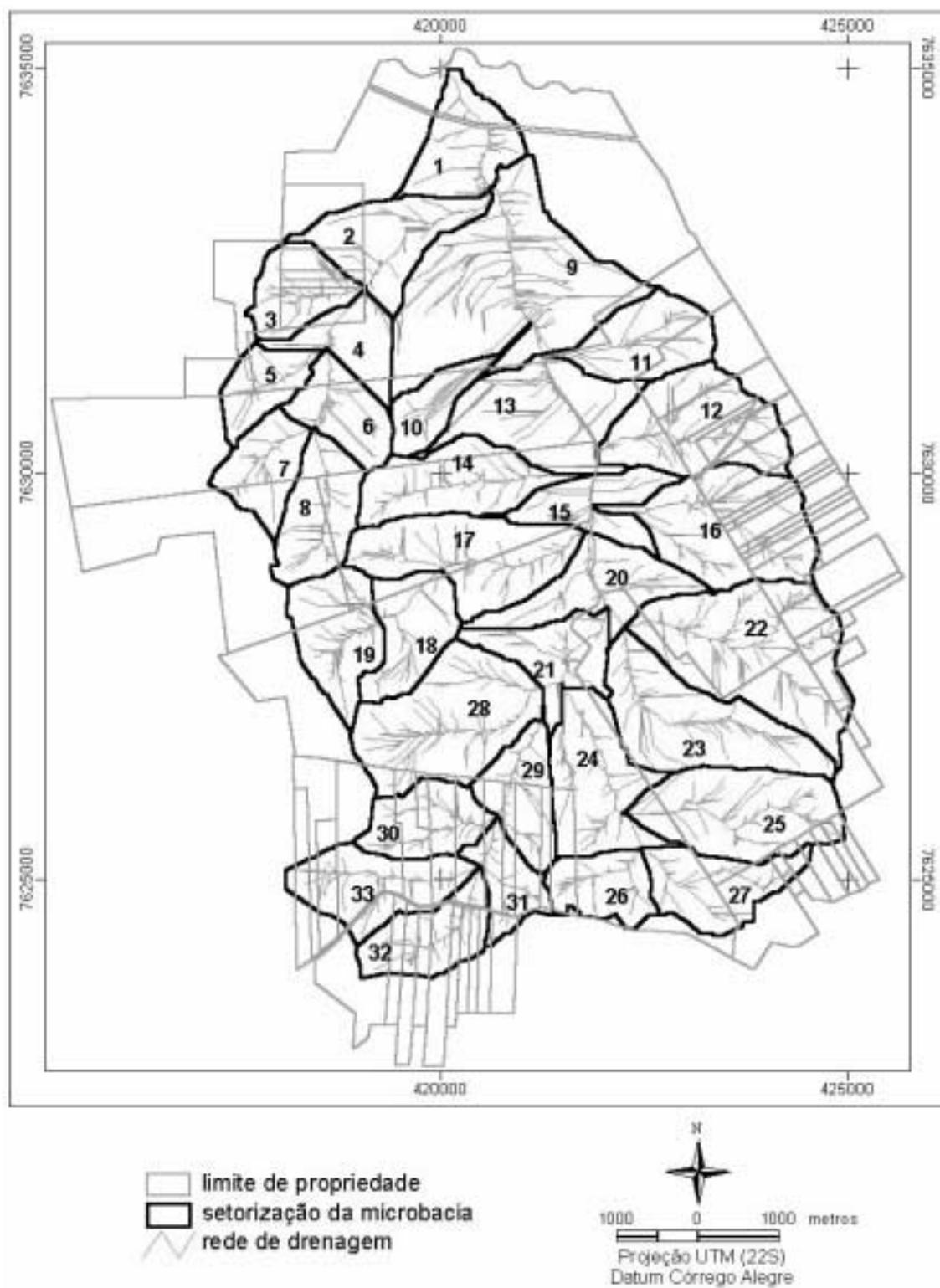


Figura 8 – Setorização da microbacia do ribeirão Itambi.

4.1.6 Declividade

A declividade da microbacia foi calculada a partir do MDE gerado com o interpolador TIN e posteriormente classificada de acordo com as classes apresentadas na Figura 9 e Tabela 26.

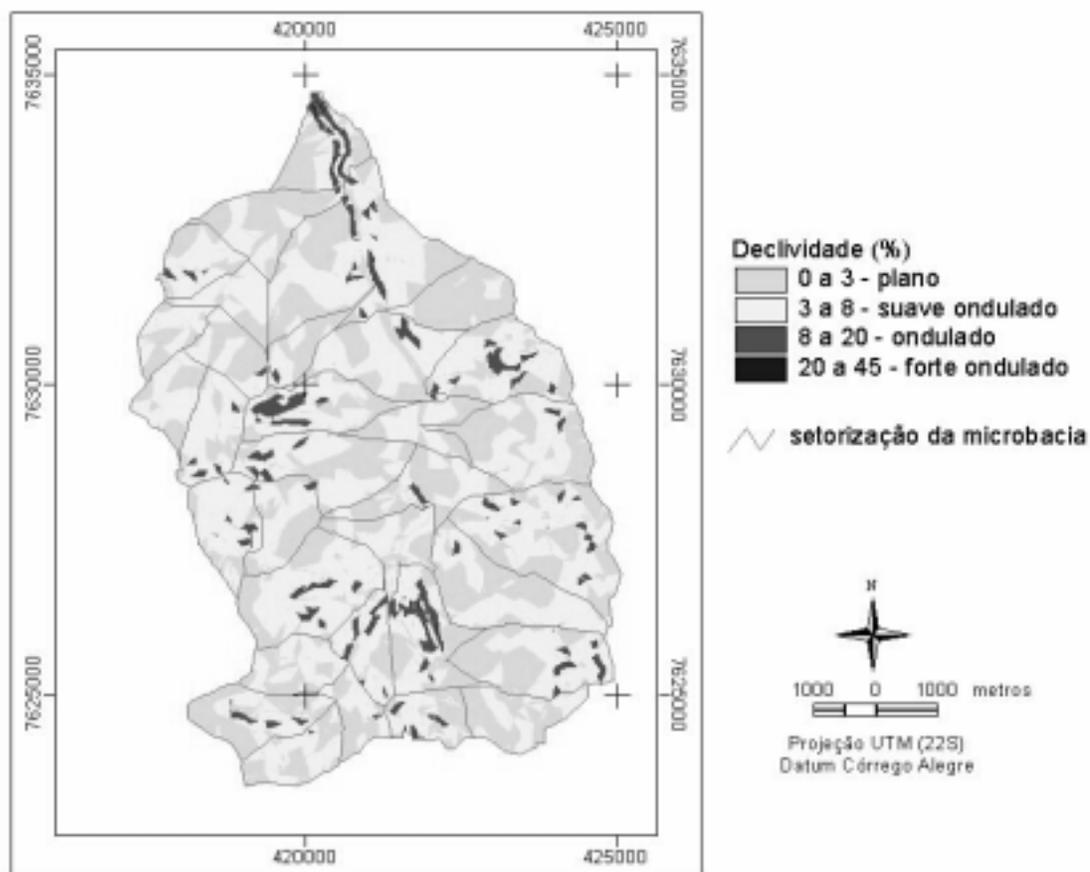


Figura 9 – Mapa de declividade.

Na microbacia do ribeirão Itambi, predomina-se o relevo plano a suave ondulado, representados pelas classes de declividade de 0 a 3% e 3 a 8%, as quais cobrem uma área de 5.305,4ha, correspondendo a 95,5% da área total. Os dados indicam que a declividade média em toda a microbacia é de 3,8%, com variação da média nos setores de 2,5% a 5,1%.

Tabela 26. Declividade média e máxima nos setores da microbacia e a distribuição em classes de declive.

SETOR	DECLIVE MÉDIO (%)	DECLIVE MÁXIMO (%)	DISTRIBUIÇÃO POR CLASSE DE DECLIVIDADE (HA)			
			0 a 3%	3 a 8%	8 a 20%	20 a 45%
1	5,1	45,0	65,1	47,7	25,5	3,1
2	2,9	9,6	104,4	57,2	0,8	0,0
3	4,0	17,4	35,1	67,6	4,4	0,0
4	3,5	7,8	27,1	68,5	0,0	0,0
5	3,0	7,9	35,8	47,3	0,0	0,0
6	3,4	13,8	54,5	49,7	1,8	0,0
7	3,5	7,7	42,7	62,4	0,0	0,0
8	4,5	10,2	34,2	100,8	5,4	0,0
9	3,9	13,9	191,6	252,6	22,4	0,0
10	3,2	9,5	42,7	30,0	1,8	0,0
11	2,5	7,3	123,1	16,5	0,0	0,0
12	4,6	19,2	69,5	136,5	20,6	0,0
13	4,0	12,4	75,5	141,5	8,3	0,0
14	4,9	15,7	51,7	97,1	26,5	0,0
15	3,1	7,8	55,0	55,9	0,0	0,0
16	3,3	20,2	126,6	126,3	3,6	0,1
17	3,8	13,9	87,0	134,3	11,5	0,0
18	3,6	10,8	60,6	64,7	2,4	0,0
19	4,6	11,2	28,4	114,6	7,1	0,0
20	3,2	9,8	93,3	60,0	4,1	0,0
21	3,2	8,2	54,5	67,8	0,01	0,0
22	4,0	12,1	137,7	198,4	14,8	0,0
23	3,6	9,4	117,5	133,9	1,8	0,0
24	4,9	36,2	75,0	91,0	30,0	1,4
25	3,8	11,5	106,9	115,1	12,4	0,0
26	4,0	14,3	41,3	49,9	7,5	0,0
27	2,8	10,2	81,3	56,1	0,1	0,0
28	4,3	15,0	81,8	186,0	13,9	0,0
29	5,1	32,4	27,1	75,5	12,3	0,4
30	3,4	7,7	49,0	67,7	0,0	0,0
31	3,3	8,3	43,5	36,5	0,7	0,0
32	3,4	8,3	55,9	67,2	0,5	0,0
33	3,6	17,9	90,9	62,7	7,3	0,0
TOTAL (ha)			2.366,3	2.939,1	247,4	5,0
TOTAL (%)			42,6	52,9	4,5	0,1

A maior classe de declive, de 20 a 45%, ocorre somente em 4 setores da microbacia, em áreas pequenas e restritas, representando 0,1% da área da microbacia (5,0ha), sendo que no setor 1, próximo à vertente da microbacia, ocorrem a maior média de declive (5,1%) e a declividade máxima (45%).

Apesar da classe de relevo ondulado (8 a 20%) ser a maior classe encontrada em 23 setores, o relevo suave ondulado (3 a 8%) é a mais freqüente.

4.1.7 Pedologia

Para o levantamento de solos foram definidos 86 pontos de amostragem, com coletas realizadas mediante tradagens, ou em barrancos de estrada, devidamente localizados nas coordenadas UTM com equipamento GPS, resultando em uma densidade de amostragem de 1,54 observações por quilômetro quadrado. Foram coletadas 209 amostras de solo nos horizontes A e B.

As unidades de mapeamento ou "manchas de solo", identificadas no levantamento pedológico, estão apresentadas no mapa da Figura 10, cuja simbologia e classificação estão relacionadas na Tabela 27.

O levantamento pedológico semi-detalhado (escala 1:50.000) indica a predominância dos latossolos, mapeados em 76,5% (4248,7ha) da área da microbacia, sendo que o latossolo vermelho distrófico está presente em mais da metade da microbacia, em torno de 56% (3132,6ha). Na microbacia, também foram identificadas áreas significativas de argissolos e neossolos, representando, respectivamente, 16,7% (923,5ha) e 6,8% (383,1ha) da área da microbacia. Uma pequena área de gleissolos foi mapeada, correspondendo a apenas 0,045% (2,5ha) da área da microbacia.

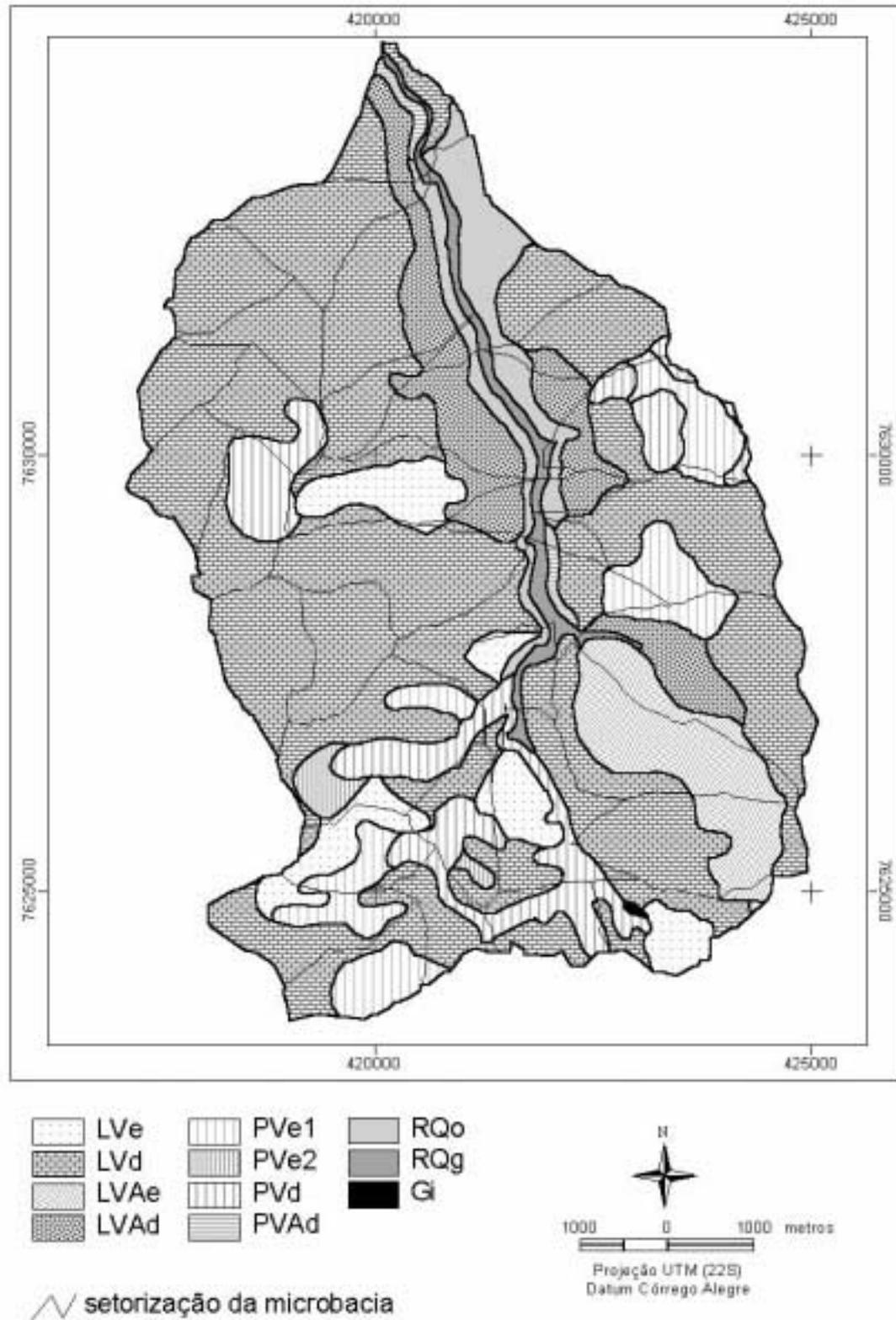


Figura 10 – Mapa de solos da microbacia do ribeirão Itambi.

Tabela 27. Distribuição de solos na microbacia do ribeirão Itambi segundo a classificação de solos da Embrapa (1999).

SOLO	DESCRIÇÃO DO SOLO	ÁREA	
		(HA)	(%)
PVAd	Argissolo Vermelho Amarelo Distrófico arênico A moderado textura arenosa/média	32,3	0,6
PVd	Argissolo Vermelho Distrófico arênico A moderado textura arenosa/média	462,5	8,4
PVe1	Argissolo Vermelho Eutrófico arênico A moderado textura arenosa/média	379,9	6,8
PVe2	Argissolo Vermelho Eutrófico abruptico típico A moderado textura arenosa/média	48,8	0,9
LVAd	Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico típico A moderado textura média	451,6	8,1
LVAe	Latossolo Vermelho Amarelo Eutrófico típico A moderado textura média	325,7	5,9
LVd	Latossolo Vermelho Distrófico típico A moderado textura média	3.132,6	56,4
LVe	Latossolo Vermelho Eutrófico típico A moderado textura média	338,8	6,1
RQo	Neossolo Quartzarênico Órtico	268,9	4,8
RQg	Neossolo Quartzarênico Hidromórfico	114,2	2,1
Gi	Gleissolo indiscriminado	2,5	0,04
ÁREA TOTAL		5.557,8	100,00

As Tabelas 28 e 29 mostram os valores médios dos atributos físicos e químicos dos solos da microbacia, considerando o conjunto de amostras das camadas "a" e "b" de cada solo.

A distribuição dos solos mostra uma porção significativa da área composta por latossolos e argissolos com baixa fertilidade natural devido ao caráter distrófico desses solos, indicando uma saturação por bases (V%) menor que 50%. Esses solos representam 73,4% (4079,3ha) da microbacia, estando incluídos as unidades de solos de caráter álico que totalizam 1086,2ha (19,5%). Essa inclusão ocorreu com a mais recente classificação de solos, o Sistema Brasileiro de Classificação de solos (EMBRAPA, 99), no qual os solos anteriormente classificados como álicos, quando apresentam saturação por

alumínio maior que 50% e teor de alumínio maior que $4\text{cmol}_c.\text{kg}^{-1}$, são identificados como tendo caráter alumínico, caso contrário como distróficos. Associado ao fato desses solos serem distróficos, verifica-se que eles são extremamente ácidos, com pH variando entre 3,9 a 4,7, resultando em uma baixa saturação por bases e alta saturação por alumínio, principalmente quando observados os valores da camada "b".

Os solos eutróficos apresentam valores médios de pH maiores que os distróficos, entre 4,7 a 5,3, refletindo na diminuição da saturação por alumínio e aumento da saturação por bases, mas mantendo os níveis baixos para os teores de matéria orgânica e principalmente de fósforo. Nos solos LVAe e LVe, podemos distinguir nitidamente essa situação, mesmo na camada "b", onde encontramos valores altos de teor de cálcio, acima de $10\text{meq}.\text{dm}^{-3}$, indicando uma intensa aplicação de corretivos, que elevou o pH e conseqüentemente a saturação por bases acima de 50% e reduziu a saturação por alumínio abaixo de 6%. As análises mostram elevados teores de fósforo na camada "a" do solo LVAe, mas se mantém baixo na camada "b" para os dois solos.

Tabela 28. Atributos físicos e químicos da camada "a" dos solos da microbacia do ribeirão Itambi.

SOLO	ARE	SIL	ARG	MO	pH	P	Al	Ca	Mg	K	SB	CTC	V	m
	----- % -----					$\text{mg}.\text{dm}^{-3}$	----- $\text{mmol}_c.\text{dm}^{-3}$ -----					-----	---- % ----	
Gi	89	1	13	0.9	4.5	2.0	2.5	8.0	2.0	1.2	11.0	28.5	41	23
LVA _d	86	2	12	1.4	4.6	2.0	2.8	6.3	3.5	1.9	11.5	33.3	35	19
LVA _e	87	3	11	2.5	5.1	17.0	0.5	13.0	6.0	4.1	23.0	45.0	51	2
LV _d	83	3	13	1.3	4.7	2.3	1.7	7.4	3.6	2.1	13.2	32.7	40	13
LV _e	87	2	11	1.5	5.0	4.0	0.9	11.9	5.0	1.7	18.6	34.4	53	6
PVA _d	81	4	15	1.4	4.4	2.0	2.0	7.0	5.0	1.7	14.0	34.0	41	13
PV _d	87	3	10	1.2	4.7	2.8	1.3	7.7	3.4	1.9	13.0	32.4	40	10
PV _{e1}	89	2	9	1.2	5.0	3.7	1.6	8.0	3.9	2.7	14.6	31.0	46	12
PV _{e2}	91	2	8	0.9	4.7	1.5	1.0	7.0	2.5	1.1	10.5	25.5	41	9
RQ _g	88	0	12	1.3	4.8	1.0	1.0	7.0	2.0	1.0	10.0	25.0	40	9
RQ _o	89	0	11	1.2	4.7	1.2	1.4	8.0	3.2	1.6	11.4	29.4	39	12

Símbolos: ARE=fração areia; SIL=fração silte; ARG=fração argila; MO=teor de matéria orgânica; pH=pH em CaCl_2 ; P=teor de fósforo extraído em resina; Al= teor de Al^{3+} ; Ca= teor de Ca^{2+} ; Mg=teor de Mg^{2+} ; K=teor de K^+ ; SB=soma de bases; CTC= capacidade de troca catiônica; V=saturação por bases; e m=saturação por alumínio.

Tabela 29. Atributos físicos e químicos da camada "b" dos solos da microbacia do ribeirão Itambi.

SOLO	ARE	SIL	ARG	MO	pH	P	Al	Ca	Mg	K	SB	CTC	V	m
	%					mg.dm ⁻³							mmolc.dm ⁻³	---
Gi	81	1	18	0.5	4.1	1.0	5.5	10.0	3.0	2.0	15.0	31.5	43	34
LVAd	77	3	20	1.0	4.4	0.5	7.0	6.3	2.5	1.0	9.8	36.0	28	40
LVAe	78	4	19	1.6	5.3	1.5	0.5	19.5	5.5	2.9	28.0	43.0	65	2
LVd	77	3	20	0.7	4.4	0.9	4.3	6.7	3.2	1.3	11.1	30.5	36	28
LVe	69	2	16	0.7	5.3	1.5	0.8	13.1	4.6	2.1	19.8	34.5	57	4
PVAd	66	6	28	0.6	3.9	1.0	13.0	3.0	3.0	1.4	7.0	40.0	18	65
PVd	74	4	22	0.5	4.2	0.9	8.7	5.1	3.3	1.1	9.5	31.7	30	45
PVe1	76	2	22	0.8	5.1	1.0	1.6	12.2	6.7	1.7	20.6	36.1	56	8
PVe2	75	2	23	0.5	5.2	1.0	1.0	17.5	12.0	1.4	31.0	47.0	66	3
RQg	90	1	9	1.8	5.0	2.0	1.0	7.0	2.0	2.3	11.0	27.0	41	8
RQo	89	2	12	0.9	4.7	0.8	4.2	5.5	3.0	2.7	11.6	30.4	38	28

Símbolos: ARE=fração areia; SIL=fração silte; ARG=fração argila; MO=teor de matéria orgânica; pH=pH em CaCl₂; P=teor de fósforo extraído em resina; Al= teor de Al³⁺; Ca= teor de Ca²⁺; Mg=teor de Mg²⁺; K=teor de K⁺; SB=soma de bases; CTC= capacidade de troca catiônica; V=saturação por bases; e m=saturação por alumínio.

Os latossolos e argissolo presentes na microbacia são profundos, refletindo em um grande volume de armazenamento de água, mas a textura arenosa colabora também para uma evaporação mais acentuada e em consequência, um menor volume total de água armazenada. Em termos de deficiência de água em períodos secos, isso significa que grande parte da área de estudo apresenta possibilidade de oferecer restrição ao desenvolvimento de culturas ou da pastagem, em virtude do baixo nível de microporosidade resultante de baixos teores de argila, o que condiciona uma reduzida retenção de umidade no perfil do solo após o período chuvoso.

As características apresentadas pelos solos da microbacia indicam uma correlação forte com a estrutura geológica, verificando-se que os solos originaram-se de arenitos do grupo Bauru, sendo que sobre a Formação Santo Anastácio (Ksa), constituída basicamente de quartzo de granulação fina a média, desenvolveram-se os neossolos quartzarênicos e os latossolos, enquanto que sobre a Formação Adamantina (Ka), constituída de arenitos finos e muito finos, basicamente quartzo em matriz argilosa, desenvolveram-se os argissolos e os latossolos.

As características gerais dos solos ao nível de ordem são apresentados a seguir.

- a) LATOSSOLOS: solos profundos, que possuem no mínimo 15% de argila no horizonte B, mantendo a uniformidade de textura no perfil. Por serem solos bastante intemperizados, apresentam ausência de minerais decomponíveis, sendo deficientes em bases trocáveis e em nutrientes disponíveis. Exibem uma estruturação granular de agregados, que lhe conferem a característica de serem solos bastante porosos e permeáveis, permitindo uma drenagem muito boa;
- b) ARGISSOLOS: presença de B textural, caracterizado pela concentração de argila iluvial em subsuperfície, oriunda de horizontes superiores com acidez elevada no processo de pedogênese. Apresentam relação textural variando de 1,5 a 1,8, dependendo do teor de argila do horizonte superficial. Essa variação pode ter caráter abrupto, quando o teor de argila no horizonte B for duas vezes ou mais o teor do horizonte imediatamente superior, para uma distância de até 7,5cm. A maior concentração de argila em subsuperfície oferece uma maior resistência à penetração de raízes e redução na velocidade de infiltração em relação aos horizontes superiores;
- c) NEOSSOLOS QUARTZARÊNICOS: solos que não exibem a presença de horizonte B, com teores de argila inferiores a 15% em todo o perfil, geralmente profundos, bastante permeáveis, porém com pouca coesão em suas partículas, em função dos baixos níveis de argila presente;
- d) GLEISSOLOS E HIDROMÓRFICOS: Solos formados em condições de presença constante de água, com a coloração acinzentada, característica dada pelo ferro na forma reduzida.

4.2 Diagnóstico das limitações e potencial de uso

4.2.1 Risco potencial de erosão

4.2.1.1 Erosividade da chuva

A distribuição da erosividade ao longo do ano calculada para o posto de Panorama, Tabela 30, indica que ocorre uma concentração do potencial erosivo na estação chuvosa, entre os meses de outubro a março, cuja erosividade correspondeu a aproximadamente 84% do total anual, enquanto no período seco, entre abril a setembro, esse valor foi de aproximadamente 16%.

Tabela 30. Erosividade e sua porcentagem de distribuição ao longo do ano para a Região de Panorama.

Mês	Erosividade		
	MJ.mm/ha.h	%	% acumulada
Janeiro	1.371	23	23
Fevereiro	887	15	38
Março	656	11	49
Abril	288	5	54
Maio	250	4	58
Junho	102	2	60
Julho	64	1	61
Agosto	70	1	62
Setembro	191	3	65
Outubro	532	9	74
Novembro	602	10	84
Dezembro	960	16	100
TOTAL	5.972	100	

O valor de R, definido no “Sistema para cálculo da erosividade da chuva para o Estado de São Paulo”, por interpolação, para o posto de Panorama é de $5994 \text{ MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}$, valor ligeiramente superior ao calculado no trabalho. Essa diferença pode ser explicada pelos diferentes períodos contemplados na análise, enquanto que no trabalho foi utilizado dados de 17 anos (1983 a 2000),

o sistema baseou-se no período de 29 anos (1961 a 1990). Para os locais em que não há registro de dados pluviométricos, o sistema calcula o valor através da interpolação dos valores de R calculados para os postos existentes, utilizando como fator de ponderação o inverso do quadrado da distância. O valor definido para as coordenadas da microbacia foi de $6.167 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$.

4.2.1.2 Fator topográfico

Os resultados da determinação do comprimento de rampa (L), desenvolvido através da metodologia descrita por Rocha et al. (1997), e do fator topográfico (LS) correspondente à aplicação da eq. (7) a esse plano de informação L, são apresentados na Figura 11.

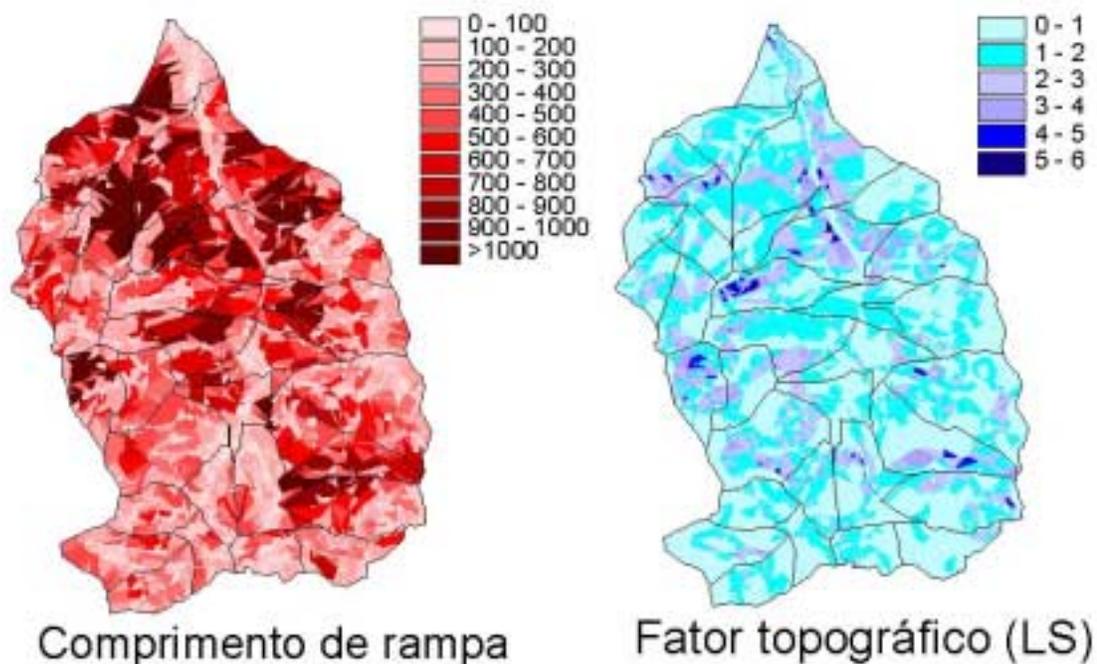


Figura 11 – Comprimento de rampa e o fator topográfico (LS) resultante.

A distribuição espacial do comprimento de rampa não ocorre de forma gradual, apesar da grande amplitude de variação, entre 8 a 1816,6 metros, devido à própria definição de rampa, obtidas através do cruzamento das informações de classes de declividade e de aspecto.

Comparado-se os dois mapas, verifica-se que as áreas com valores altos de comprimento de rampa resultaram em valores LS relativamente baixos, com variação de 0 a 6,1 e com valor médio igual a 1,6. Esse fato pode ser compreendido melhor com a visualização gráfica da equação, Figura 12, indicando que ela é mais sensível a variação da declividade do que a variação do comprimento de rampa.

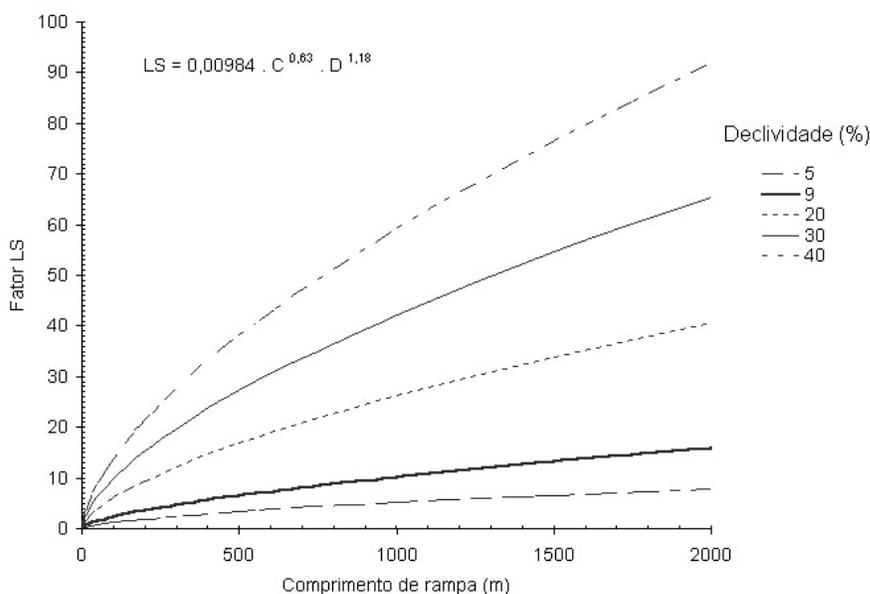


Figura 12 – Influência do comprimento de rampa e da declividade na variação do fator LS determinado pela equação desenvolvida por Bertoni.

No trabalho original de Bertoni (1959), o autor desenvolveu uma equação para demonstrar a influência do grau de declividade e do comprimento de rampa, trabalhando com dados experimentais com variações respectivas de 6,5 a 12% e de 25 a 100 metros, concluindo que o comprimento de rampa exercia uma influência maior na perda de solo do que a declividade, conforme mostrado

na eq. (10). O mesmo autor cita que as perdas de solo em função do comprimento de rampa, em solo arenoso da estação experimental de Pindorama, podem significar uma elevação de 14,6 toneladas por hectare, em áreas com comprimento de rampa igual a 25 metros, para 60,2 toneladas rampas com 100 metros de comprimento. Na região do oeste paulista, é comum encontrarmos extensas áreas com relevo de colinas amplas, cuja declividade é baixa, mas com comprimentos de rampa longos.

$$T = 0,018 \cdot D^{1,18} \cdot C^{1,63} \quad (10)$$

onde:

T = perda de terra em quilos por unidade de largura;

D = grau de declive (%);

C = comprimento de rampa (m).

Os resultados da determinação automatizada do fator LS através do programa USLE-2D, Figura 13, apresentam valores muito superiores aos encontrados na metodologia anterior, principalmente dos valores gerados pela equação desenvolvida por Govers (1991), específico para identificar áreas com risco de erosão em sulco.

O modelo gerado por essa equação, indica uma forte influência do fator topográfico, atingindo valores de até 782 vezes o padrão, definido para rampa de 25 metros e declividade de 9%. O fator LS médio para a microbacia ficou em 4,7. A distribuição espacial dos valores de LS apresenta uma tendência de aumentar no sentido do topo até a vertente de cada setor, encontrando-se valores altos nos locais em que há concentração do escoamento superficial. Isso decorre da utilização do conceito de área de contribuição no algoritmo do programa USLE-2D.

O trabalho de Zakia (1998) mostra a importância do conceito de área de contribuição, na qual a zona ripária pôde ser identificada através do uso de um modelo de reprodução do comportamento hidrológico que adota este conceito.

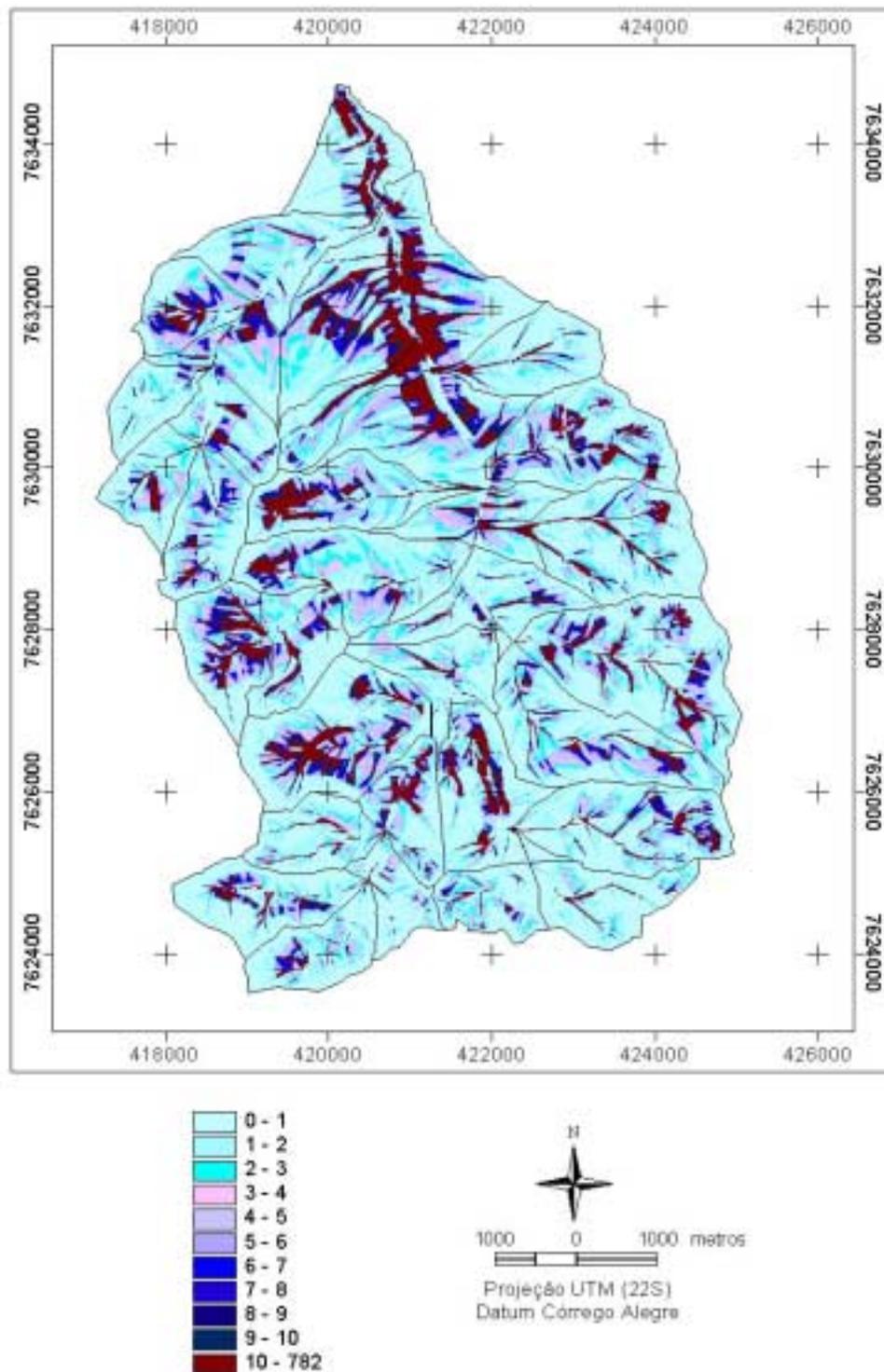


Figura 13 – Fator topográfico estimado com LS-USLE2D, utilizando o algoritmo de "decomposição do fluxo" e a opção "Govers".

Bertoni & Lombardi Neto (1990) e Desmet & Govers (1996) citam que a EUPS foi desenvolvida originalmente para estimar a perda média de solo em áreas complexas, mas essas são divididas em áreas mais uniformes, não considerando, portanto, o formato do relevo na sua secção transversal. Desmet & Govers (1996) demonstram que a metodologia de estimar os valores de LS manualmente, podendo-se incluir o procedimento de Rocha et al. (1997) como uma adaptação para o ambiente SIG, subestima os valores de LS e conseqüentemente o risco de erosão, quando comparado aos modelos automatizados.

A distribuição dos valores de LS, por área relativa da microbacia, indica um comportamento semelhante para as duas metodologias, onde os valores relativamente mais baixos predominam na microbacia e decrescendo conforme o aumento de LS, conforme demonstrado na Figura 14. No método automatizado (USLE-2D), porém, a distribuição é mais gradativa que no método de rampas (Rocha et al., 1997).

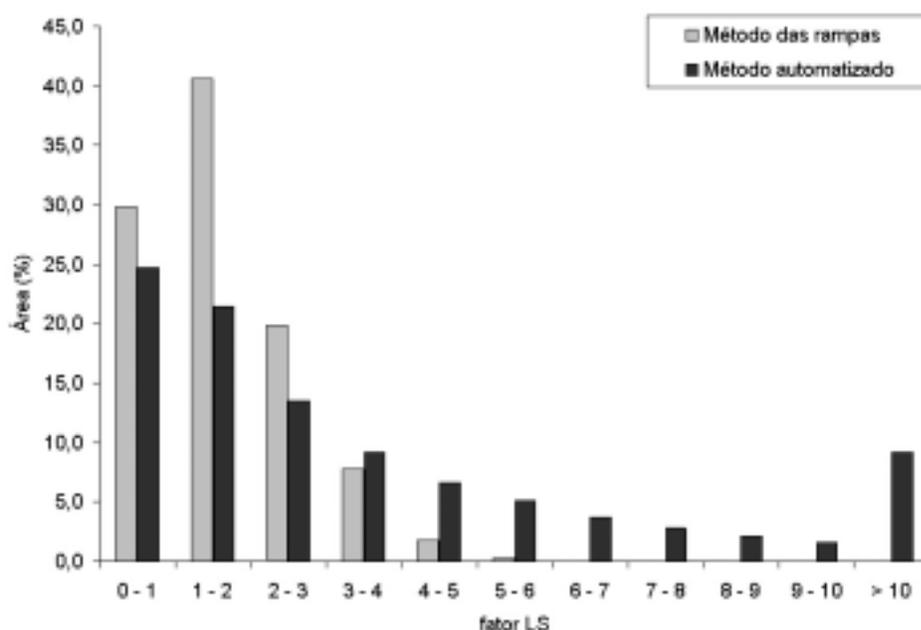


Figura 14 – Distribuição das classes de LS na microbacia do ribeirão Itambi, utilizando-se os métodos de rampas (Rocha et al. 1997) e automatizado (USLE-2D).

Considerando-se aceitável a variação do LS, gerado pelo método automatizado, foi analisada a influência desses valores na variação dos valores de potencial natural de erosão para os solos da microbacia, conforme Tabela 31. A equação do PNE por ser multiplicativo, teve uma variação diretamente proporcional ao aumento do LS, resultando em valores extremamente altos. O maior valor de PNE é igual a 168.790, nas condições de argissolo e onde o LS atinge 782, o seu valor máximo.

Tabela 31. Variação do potencial natural de erosão (PNE) em função dos diferentes valores de LS e dos solos da microbacia do ribeirão Itambi.

LS	Fator K		
	Latossolo	Neossolo	Argissolo
1	107,9	182,5	215,8
5	539,6	912,7	1.079,2
10	1.079,2	1.825,4	2.158,5
50	5.396,1	9.127,2	10.792,3
100	10.792,3	18.254,3	21.584,5
500	53.961,3	91.271,6	107.922,5
1000	107.922,5	182.543,2	215.845,0

4.2.1.3 Análise do Fator C

Os valores compilados de diversos trabalhos para o fator C apresentou uma grande amplitude de variação, entre os diferentes usos ou mesmo para um uso específico, os quais são apresentados na Tabela 32. A variação ocorrida dentro de um uso específico se deve as diferentes técnicas de manejo adotadas nas culturas e aos períodos em que as mesmas são implantadas.

Os valores altos de PNE, resultantes dos valores altos encontrados para o fator LS, têm efeito inversamente proporcional ao $C_{\text{tolerável}}$, gerando valores muito baixos.

Tabela 32. Variação dos valores de uso e manejo, fator C, para os diferentes usos.

USO	FATOR C	
	MÍNIMO	MÁXIMO
Terra nua	1,00000	1,00000
Culturas anuais	0,08210	0,55000
Cana-de-açúcar	0,05000	0,30660
Café / Citrus	0,04000	0,13500
Pastagem	0,00100	0,03000
Reflorestamento	0,00010	0,04910
Mata ou vegetação natural	0,00004	0,00400

Na Tabela 33, são associados os valores de $C_{\text{tolerável}}$ com o fator C da Tabela 32. Verifica-se que valores de PNE acima de 4.500 representam alto risco de erosão para os argissolos, pois o limite de uso e manejo máximo admissível, definido por $C_{\text{tolerável}}$ igual a 0,0045, indica que apenas o uso como reflorestamento ou mata possui valores de C inferiores, resultando em uma perda de solo menor que a perda máxima tolerável.

Para os latossolos, a mesma situação de uso e manejo máximo admissível ocorrerá somente com valores de PNE acima de 15.000.

Tabela 33. Valores de $C_{\text{tolerável}}$ resultantes da variação do PNE e do tipo de solo da microbacia, considerando-se o fator P igual a 1,0.

PNE	SOLO		
	Latossolo	Neossolo	Argissolo
5	3,00000 ^a	1,36000 ^a	0,90000 ^a
10	1,50000 ^a	0,68000 ^a	0,45000 ^a
50	0,30000 ^a	0,13600 ^a	0,09000 ^a
100	0,15000 ^a	0,06800 ^b	0,04500 ^b
500	0,03000 ^b	0,01360 ^c	0,00900 ^c
1.000	0,01500 ^c	0,00680 ^c	0,00450 ^c
4.500	0,00330 ^c	0,00150 ^c	0,00100 ^c
5.000	0,00300 ^c	0,00136 ^c	0,00090 ^d
10.000	0,00150 ^c	0,00068 ^d	0,00045 ^d
15.000	0,00100 ^c	0,00050 ^d	0,00030 ^d
50.000	0,00030 ^d	0,00014 ^d	0,00009 ^e
100.000	0,00015 ^d	0,00007 ^e	0,00005 ^e
200.000	0,00008 ^e	0,00003 ^e	0,00002 ^e

Símbolos: as letras correspondem ao máximo uso permissível, sendo que a = cultura anual; b = cana-de-açúcar, café e citrus; c = pastagem; d = reflorestamento; e = vegetação natural.

4.2.1.4 Diagnóstico do risco de erosão

A microbacia apresenta risco de erosão natural predominantemente moderado, Tabela 34 e Figura 15, ocupando cerca de 2.405 hectares (43,3%) de uma área total de 5.557,8 hectares. As áreas de risco de erosão natural alto a muito alto ocupam 1.291,7ha (23,2%), estando relacionadas com solos de maior erodibilidade, maior declividade e comprimento de rampa extremamente longo.

Tabela 34. Distribuição das áreas de risco de erosão natural na microbacia.

CLASSE	ÁREA (HA)	ÁREA (%)
Muito baixo	829,2	14,9
Baixo	1.032,3	18,6
Moderado	2.404,6	43,3
Alto	1.244,6	22,4
Muito alto	47,1	0,8

O uso atual predominante na microbacia é a pecuária de corte extensiva, caracterizada pela utilização de pastagens com baixo nível de manejo. O risco de erosão simulado, estimado com fator CP igual a 0,03 e com os dois métodos para obtenção do fator LS são apresentados na Tabela 35 e nas Figuras 16 e 17.

A estimativa utilizando a determinação de LS automatizado apresentou áreas com perda de solo de até 625 vezes acima do limite tolerado, mas estão restritas a pequenas áreas da microbacia, sendo que a média situou-se em 2,2 vezes o limite. Utilizando o LS determinado pelas rampas, a perda máxima encontrada foi de 8,7 vezes o limite com média de 0,72.

Nos dois modelos, as áreas que apresentaram risco de erosão simulado alto, ou seja, perda de solo acima de duas vezes o limite tolerado, nas condições de pastagem sem manejo e degradado, estão associadas com as áreas de solo de maior erodibilidade e de declividade maior, correspondendo a 559,6ha (10,1%) e 1097,0ha (19,8%) da microbacia, respectivamente para os modelos utilizando LS estimado pelo método de rampas e o automatizado.

Tabela 35. Comparativo da distribuição das áreas de risco simulado estimado para os dois métodos de determinação do fator LS.

CLASSE	RISCO DE EROÇÃO SIMULADO			
	----- LS – RAMPA -----		----- LS - USLE2D -----	
	ÁREA (HA)	ÁREA (%)	ÁREA (HA)	ÁREA (%)
0 a 1	4.623,2	83,1	3.634,6	65,4
1 a 2	375,0	6,7	826,2	14,9
2 a 5	534,9	9,6	586,7	10,6
5 a 10	24,7	0,5	284,7	5,1
> 10	0,0	0,0	225,6	4,1

Na avaliação da expectativa de erosão para as condições simuladas de uso atual predominante, obtida pela diferença do CP com o CP_{tolerável}, os resultados indicaram uma baixa expectativa, independente do método de determinação do LS. Analisando-se a eq. (6) reescrita em termos de PNE, eq. (11), observamos melhor o seu comportamento nos casos em que o PNE assume valores elevados. O termo CP_{tolerável} irá tender a zero e a expectativa será determinada por CP. O valor 0,03 para CP corresponde a expectativa de erosão baixa.

$$ee = CP - \frac{A}{PNE} \quad (11)$$

Os setores da microbacia, identificados como mais críticos segundo a soma dos posicionamentos dos critérios de risco de erosão e perda média de solo, apresentados na Tabela 36, em ordem decrescente são os setores 28, 12, 9, 29, 8, 1, 24, 13, 30 e 32.

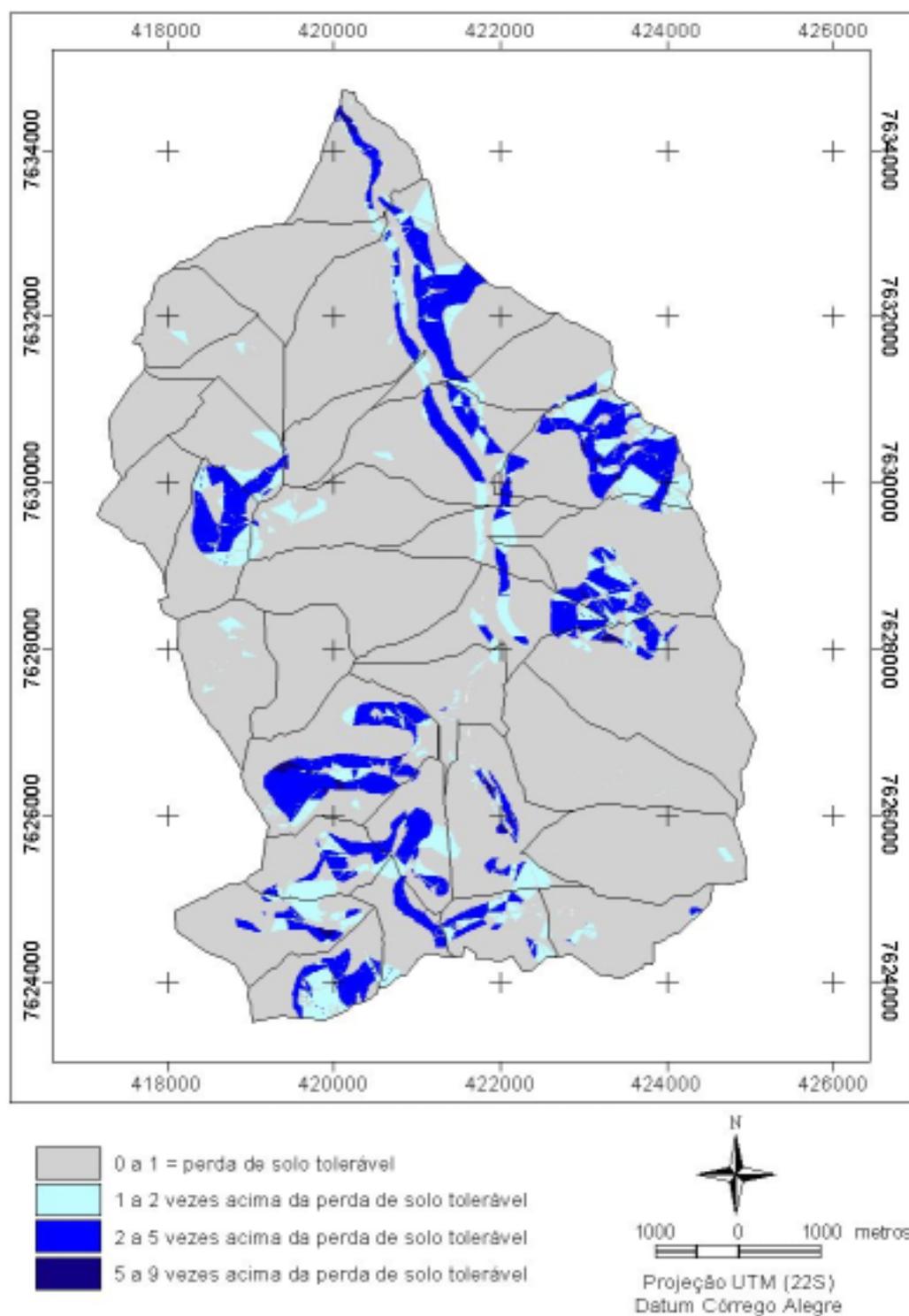


Figura 16 – Risco de erosão simulado para condições de pastagem com baixo nível de manejo (LS estimado pelo método de rampas).

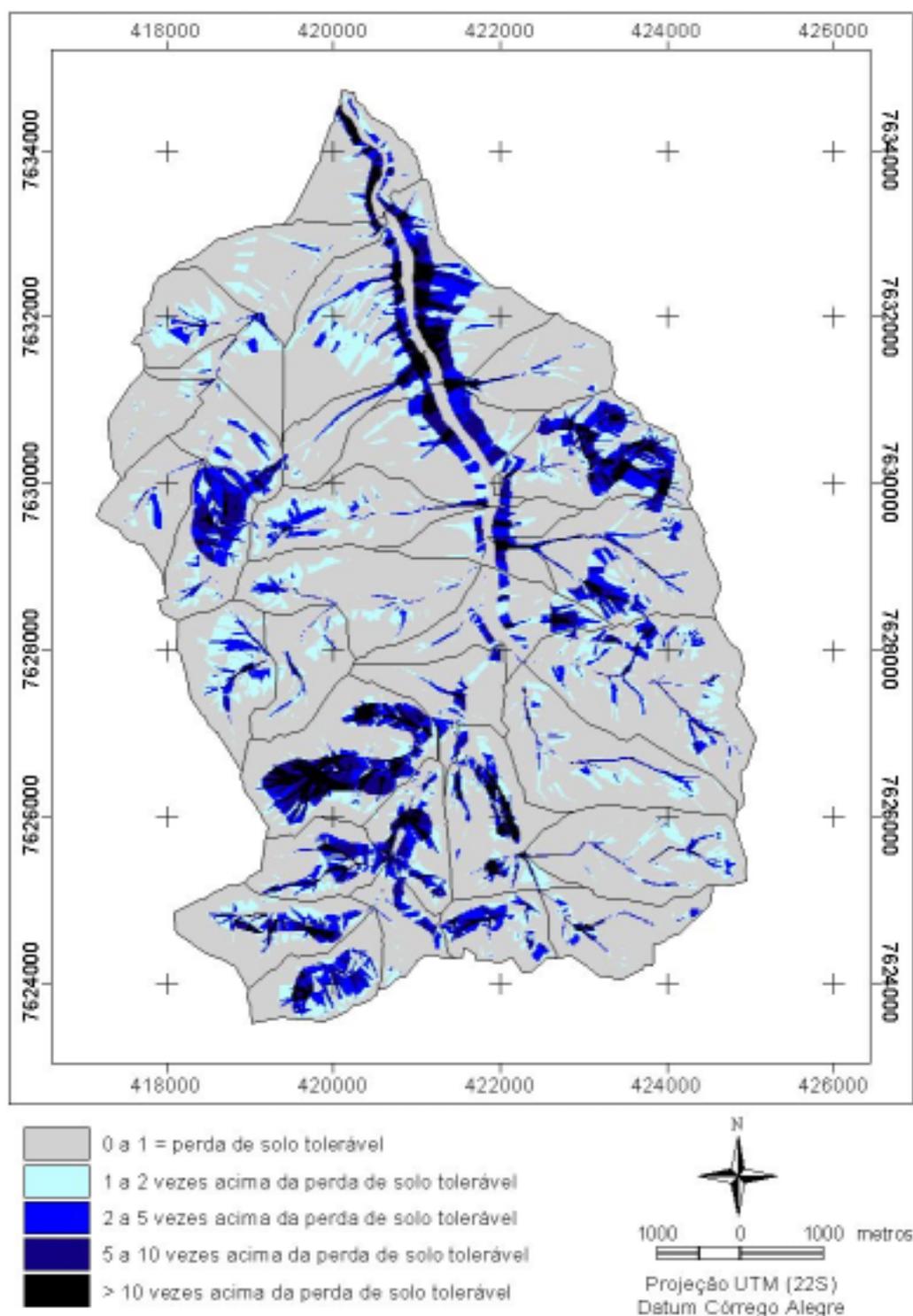


Figura 17 – Risco de erosão simulado para condições de pastagem com baixo nível de manejo (LS estimado com USLE-2D).

Tabela 36. Risco de erosão nos setores da microbacia do ribeirão Itambi.

SETOR Nº.	-- NATURAL (e) --		SIMULADO (es)		--- A média ---		SOMA POS.	ORDEM DE CRITICIDADE	
	(HA)	(%)	POS. 1	RAZÃO DE PERDA	POS. 2	(t ha ⁻¹ ano ⁻¹) POS. 3			
28	130,0	46,2	3	7,1	1	40,0	1	5	1
12	113,4	50,0	1	4,6	2	27,2	3	6	2
9	164,7	35,3	6	3,6	4	30,6	2	12	3
29	45,7	39,6	4	3,5	5	24,5	4	13	4
8	67,9	48,4	2	3,2	6	20,0	9	17	5
1	30,0	21,2	16	4,0	3	24,1	5	24	6
24	50,8	25,7	11	3,2	7	22,9	6	24	7
13	63,8	28,3	9	2,5	9	22,2	7	25	8
30	39,2	33,6	7	3,0	8	16,5	15	30	9
32	49,0	39,6	5	2,4	10	14,0	21	36	10
16	62,4	24,3	13	2,0	15	18,0	12	40	11
19	34,2	22,8	15	1,3	18	21,7	8	41	12
26	30,2	30,6	8	2,2	11	13,9	22	41	13
15	21,5	19,4	18	2,1	13	17,8	13	44	14
33	40,6	25,2	12	2,0	14	14,6	19	45	15
6	29,7	28,0	10	1,6	16	14,1	20	46	16
10	10,5	14,1	22	1,3	19	18,7	10	51	17
11	11,2	8,0	29	2,2	12	18,5	11	52	18
14	33,1	18,9	19	1,1	22	17,1	14	55	19
22	57,5	16,4	20	1,1	23	15,2	18	61	20
3	16,7	15,6	21	1,0	24	16,2	17	62	21
20	33,2	21,1	17	1,6	17	11,1	29	63	22
4	11,0	11,5	24	1,0	25	16,5	16	65	23
31	18,6	23,0	14	1,2	20	9,0	31	65	24
21	16,8	13,8	23	1,2	21	9,8	30	74	25
25	22,7	9,7	25	0,8	27	13,2	23	75	26
18	12,2	9,6	26	0,8	28	13,0	24	78	27
23	20,2	8,0	30	0,8	29	13,0	25	84	28
17	21,3	9,1	27	0,7	31	12,4	26	84	29
27	12,4	9,0	28	1,0	26	8,8	32	86	30
2	10,3	6,3	32	0,8	30	11,6	27	89	31
7	8,2	7,8	31	0,7	32	11,2	28	91	32
5	2,7	3,2	33	0,4	33	7,0	33	99	33

A variação da perda de solo média anual na microbacia em toneladas por hectare foi de 7,0 a 40,0 nos setores 5 e 28, respectivamente. As perdas médias estão condizentes com os valores encontrados em outros trabalhos similares (Bertoni, 1959; Bertoni & Lombardi Neto, 1990; Menck, 1993; Ferrari, 1996). Portanto, a variação da perda média anual encontrada no presente

trabalho mostra que, apesar dos valores de LS calculados pelo método automatizado serem altos e resultarem em altas perdas de solo, essas perdas são localizadas, indicando áreas de alto risco de erosão.

4.2.2 Capacidade de uso das terras

A capacidade de uso da terra, definida principalmente através dos planos de informação de declividade e de solos relacionados aos seus atributos, indica que o uso mais adequado para maior parte da microbacia, 5.006.7ha (90,1%), é a pastagem ou o reflorestamento que abrange as classe V a VII, conforme pode ser observado na Tabela 37 e Figura 18.

Tabela 37. Distribuição da capacidade de uso da terra (CUT) na microbacia do ribeirão Itambi.

CUT	CARACTERIZAÇÃO	ÁREA (ha)	ÁREA (%)
IVs	Terras passíveis de utilização com culturas perenes, pastagens ou reflorestamento, com problemas complexos de conservação do solo – limitações relativas ao solo	140,2	2,5
IVe	Terras passíveis de utilização com culturas perenes, pastagens ou reflorestamento, com problemas complexos de conservação do solo – limitações relativas à erosão	11,1	0,2
IVs,e	Terras passíveis de utilização com culturas perenes, pastagens ou reflorestamento, com problemas complexos de conservação do solo – limitações relativas ao solo e à erosão	383,8	6,9
Va	Terras adaptadas para pastagem sem necessidade de práticas especiais de conservação – com limitação pelo excesso de água	116,6	2,1
VI	Terras adaptadas para pastagens ou reflorestamento, com problemas simples de conservação do solo – limitação mais severa relativa ao solo	3.698,9	66,6
VIe	Terras adaptadas para pastagens ou reflorestamento, com problemas simples de conservação do solo – limitação mais severa relativa à erosão	337,3	6,1
VI,s,e	Terras adaptadas para pastagens ou reflorestamento, com problemas simples de conservação do solo – limitação mais severa relativa ao solo e à erosão	829,8	14,9
VIIe	Terras adaptadas para pastagens ou reflorestamento, com problemas complexos de conservação do solo – limitação mais severa relativa à erosão	24,1	0,4
VIII	Terras impróprias para cultivos, pastagem ou reflorestamento, recomendadas como área de preservação	16,0	0,3

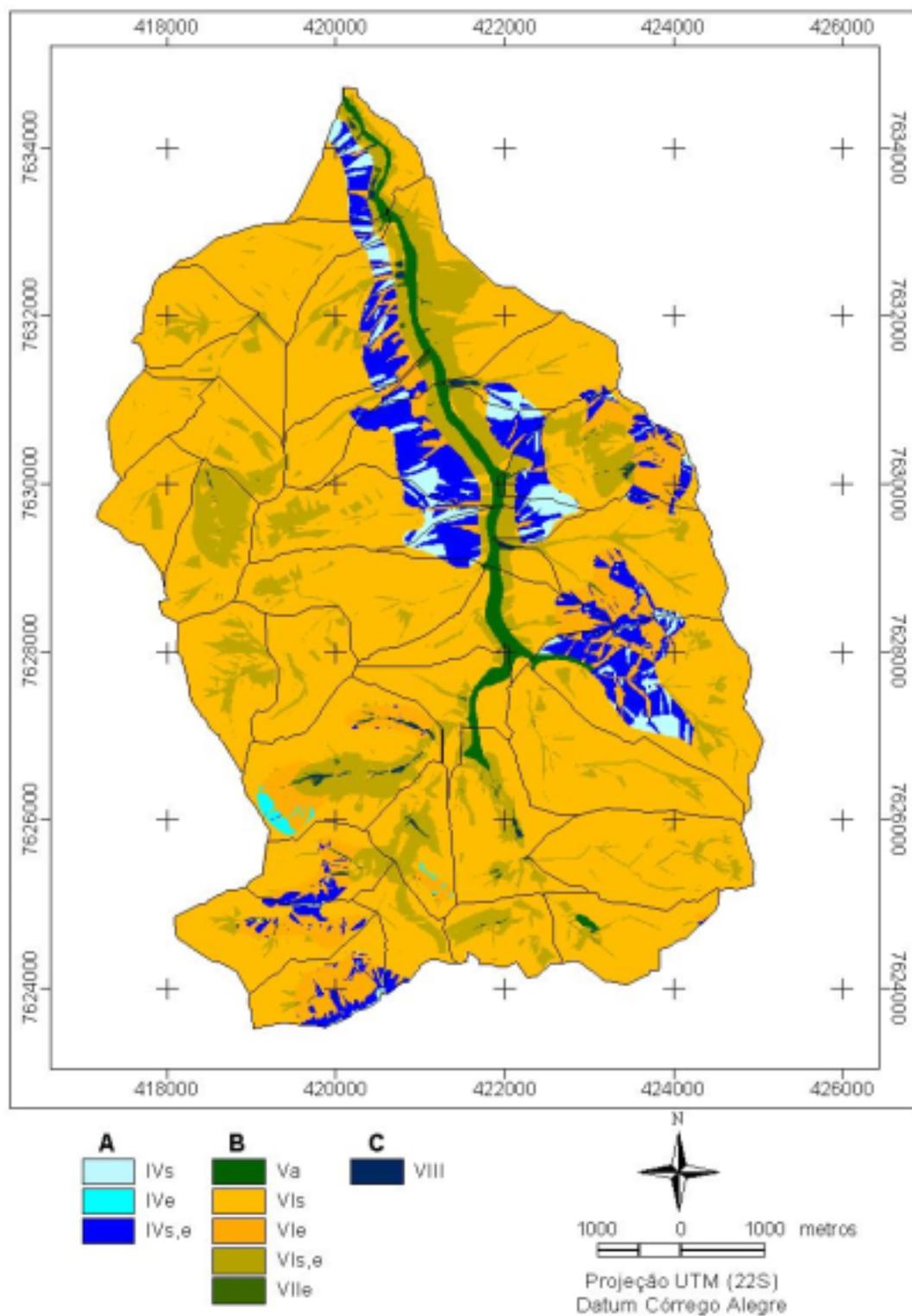


Figura 18 – Capacidade de uso das terras da microbacia do ribeirão Itambi.

As limitações mais severas são relacionadas com as características de clima, ocasionando défices hídricos em período de 3 a 4 meses e chuvas torrenciais no verão, e de solo devido a fertilidade extremamente baixa e textura muito arenosa. Essas características, aliadas ao relevo formado por colinas amplas, de comprimentos das vertentes muito extensos, propiciam uma condição favorável a aceleração dos processos erosivos, sendo intensificadas quando o manejo não é adequado.

4.3 Validação dos modelos de identificação do risco de erosão

Os modelos são validados através da avaliação visual comparando o levantamento das erosões existentes e dos fatores que as originaram, e o grau de criticidade indicado nos modelos de risco de erosão simulado (es) para a condição de pastagem degradada (adotando-se o valor 0,03). O modelo de expectativa de erosão não é analisado por não ter sido sensível aos valores altos de PNE.

O setor 12 da microbacia é um dos setores da microbacia indicada como uma das mais críticas quanto ao risco de erosão, possui uma área de 226,7ha e é constituída por 8 propriedades.

Os processos erosivos, identificados no campo através de levantamento realizado com GPS, estão ilustrados na Figura 19. Foram mapeados somente as feições erosivas do tipo linear, representadas por sulcos, ravinas e voçorocas.

As feições que mais chamam atenção no setor são duas voçorocas, uma com profundidade máxima de 7 metros e não atinge o lençol freático, e outro com profundidade máxima de 2 metros com presença de curso d'água. Logo

abaixo das voçorocas, verifica-se áreas em que ocorrem sedimentação intensa do material erodido, formando áreas de sedimentação.

No setor todo ocorre intenso processo de erosão laminar, algumas com desenvolvimento de sulcos ou ravinas. Foram mapeados sulcos e ravinas se desenvolvendo próximo as divisas de propriedades.

Na estrada de acesso, foram identificadas áreas com presença de sulcos, sedimentação e encaixamento de até dois metros. Em períodos chuvosos, a estrada fica intransitável, devido a inexistência de um sistema de drenagem.

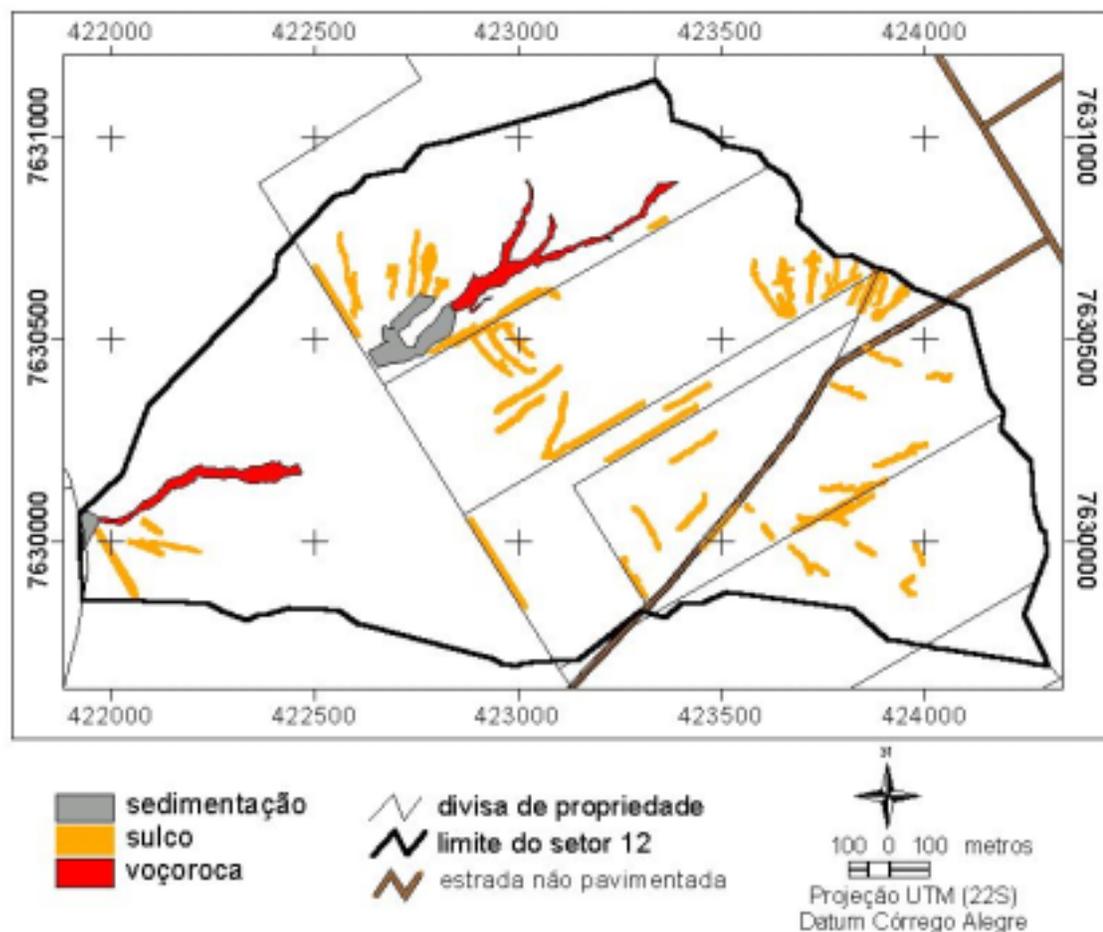


Figura 19 – Mapa de localização das erosões existentes no setor 12 da microbacia do ribeirão Itambi.

A seguir são apresentados os modelos de predição elementos do meio físico que ajudarão na compreensão da origem dos processos erosivos.

O uso atual da terra predominante é a pastagem ocupando 214,6ha, correspondente a 94,6% da área total do setor (Tabela 38 e Figura 20). Existem ainda pequenas áreas com atividade agrícola (milho e café) e o único fragmento florestal remanescente na microbacia onde ocorre deposição de sedimentos na parte superior.

A pecuária é a principal atividade desenvolvida pelas propriedades do setor 12. O total do rebanho bovino é de 1.169 cabeças sendo que 90,85% é bovino de corte. A densidade média de cabeças por hectare, considerando-se a área total de pastagens das UPs pertencentes a área de estudo, é de 0,8 cabeças por hectare, que pode ser considerado de baixa produtividade. A explicação está no sistema de manejo extensivo apenas com complementação alimentar de sal mineral.

O predomínio da atividade pecuária no setor corresponde a tendência da participação dessa atividade nos municípios que compreendem a microbacia. Segundo o Levantamento Censitário das Unidades de Produção Agropecuária - Projeto LUPA de 1995 (São Paulo, 2001), a área ocupada por pastagens corresponde a cerca de 85% da área total dos municípios de Ouro Verde e Panorama, presentes em 93,1% e 95,6% do número de propriedades, respectivamente.

Tabela 38. Distribuição das áreas em função do uso atual.

Uso	Área (ha)	Área (%)
Pastagem	214,6	94,6
Cultura anual (milho)	4,1	1,8
Fragmento florestal	4,7	2,1
Reflorestamento	0,1	0,1
Cultura perene (café)	3,0	1,3
Outros (benfeitorias, estradas, etc)	0,2	0,1
Total	226,7	100,0

As feições erosivas se concentram em áreas de pastagem caracterizadas por apresentarem baixa cobertura vegetal e sinais de deficiência nutricional. As erosões em sulcos são encontradas próximas às divisas das propriedades, junto às cercas, no sentido preferencial da escoamento da água.

Na parte inferior do setor, foi constatado, através de informações com o proprietário, que ocorreram superlotação com gado nos piquetes localizadas nessa área. No levantamento de campo, foi verificado que as pastagens se apresentavam abandonadas e degradadas, apresentando pouca cobertura vegetal. Estes fatos indicam que uma das causas para o surgimento da voçoroca no local foi devido a desestruturação excessiva do solo por manejo inadequado.

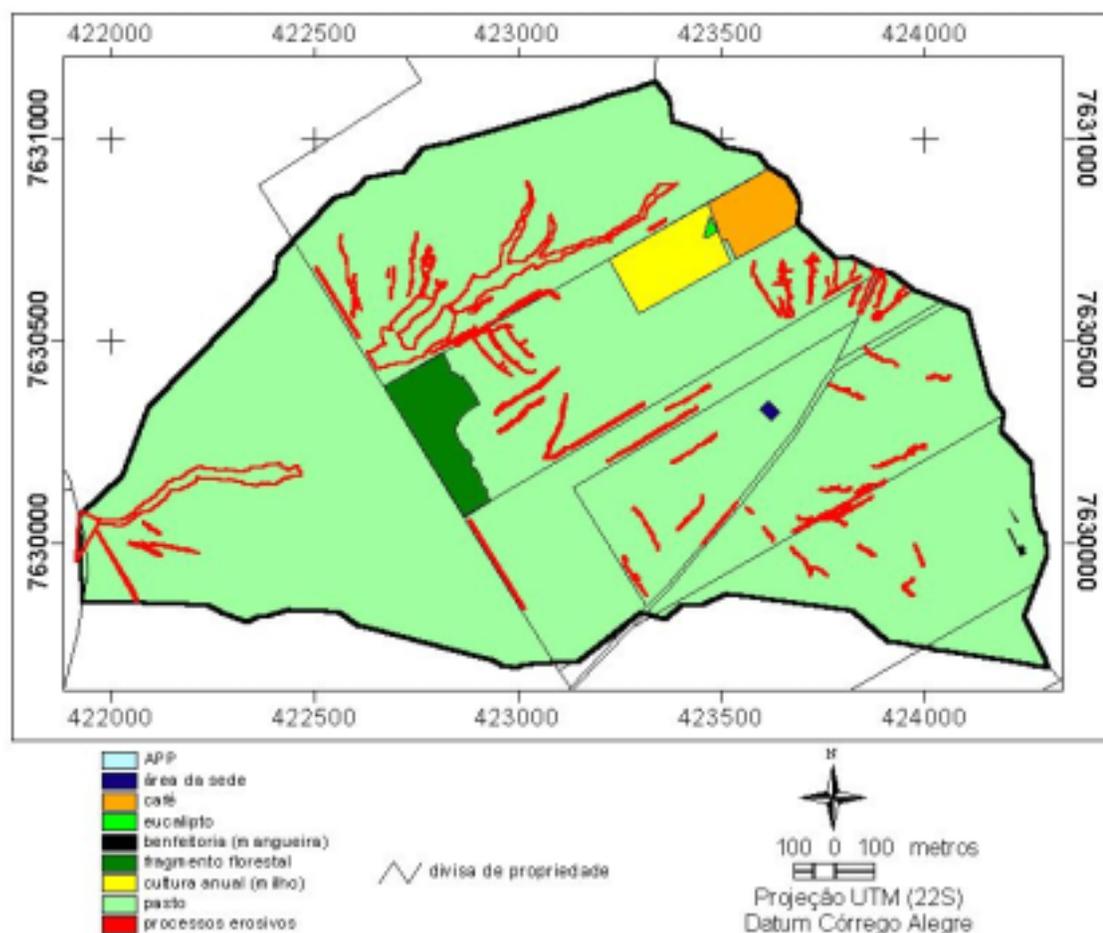


Figura 20 – Uso atual da terra no setor 12 da microbacia.

A representação do modelo digital de elevação (MDE) e o perfil do relevo derivado do MDE são apresentados na Figura 21. Constatou-se no levantamento de campo que algumas feições erosivas se encontravam sobre o eixo principal da rede de drenagem, contudo, essas feições coletadas com GPS não corresponderam, em parte, com a rede de drenagem obtida com o MDE.

Confrontando-se as isolinhas altimétricas com as curvas de nível locadas com nível e coletadas com GPS, que considerando-se preciso, constatou-se um deslocamento sistêmico das cotas das cartas. Outros atributos das cartas foram checados mas somente as cotas apresentaram deslocamento, por rotação. O erro ocorreu possivelmente, no ajuste das cotas com a declinação magnética.

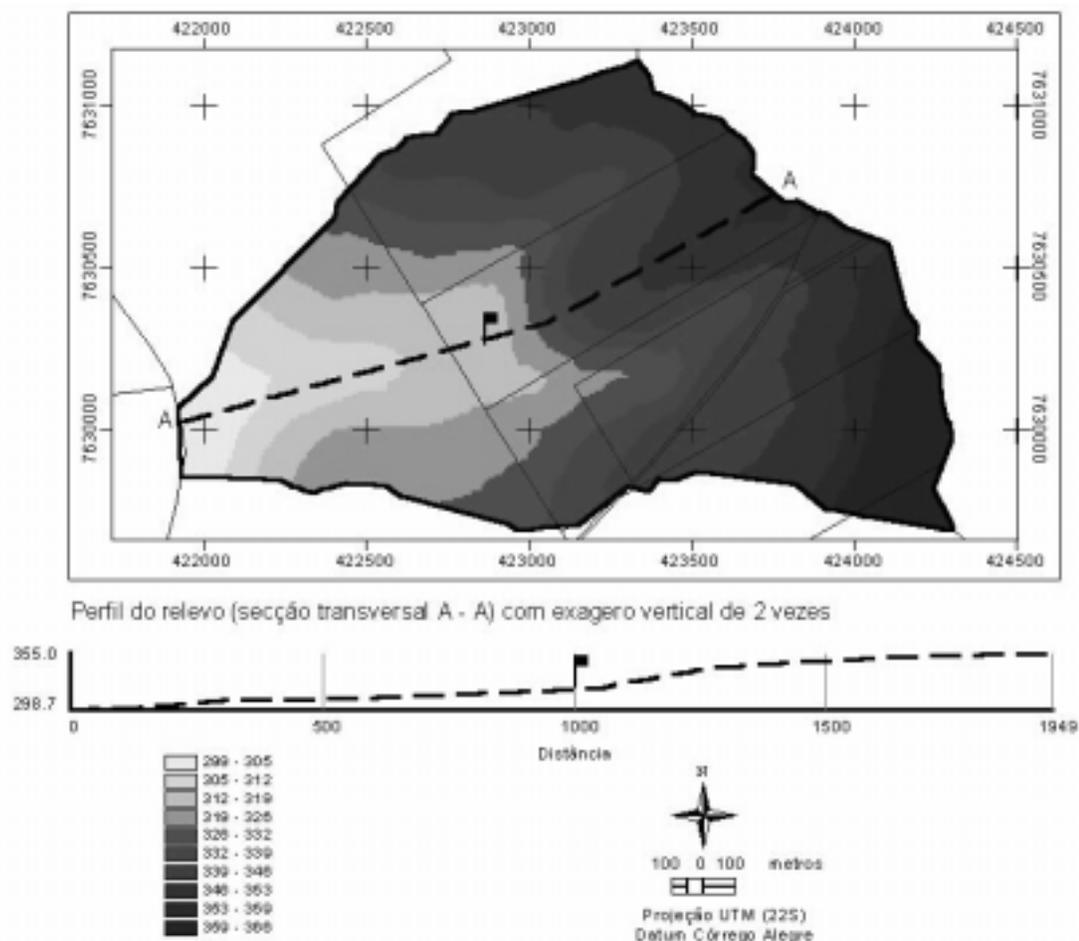


Figura 21 – Topografia do setor representado pelo modelo digital do terreno (MDE) e pelo perfil vertical do corte transversal.

No perfil do corte transversal A-A do relevo, podemos observar a existência de uma mudança no formato do declive, acima do local sinalizado com uma bandeira. A parte superior se caracteriza por ter um formato convexo, com aumento da declividade na área acima da sinalização (Figura 22). A área sinalizada corresponde a um terreno mais plano, situado pouco acima do fragmento florestal, onde ocorre deposição de sedimentos.

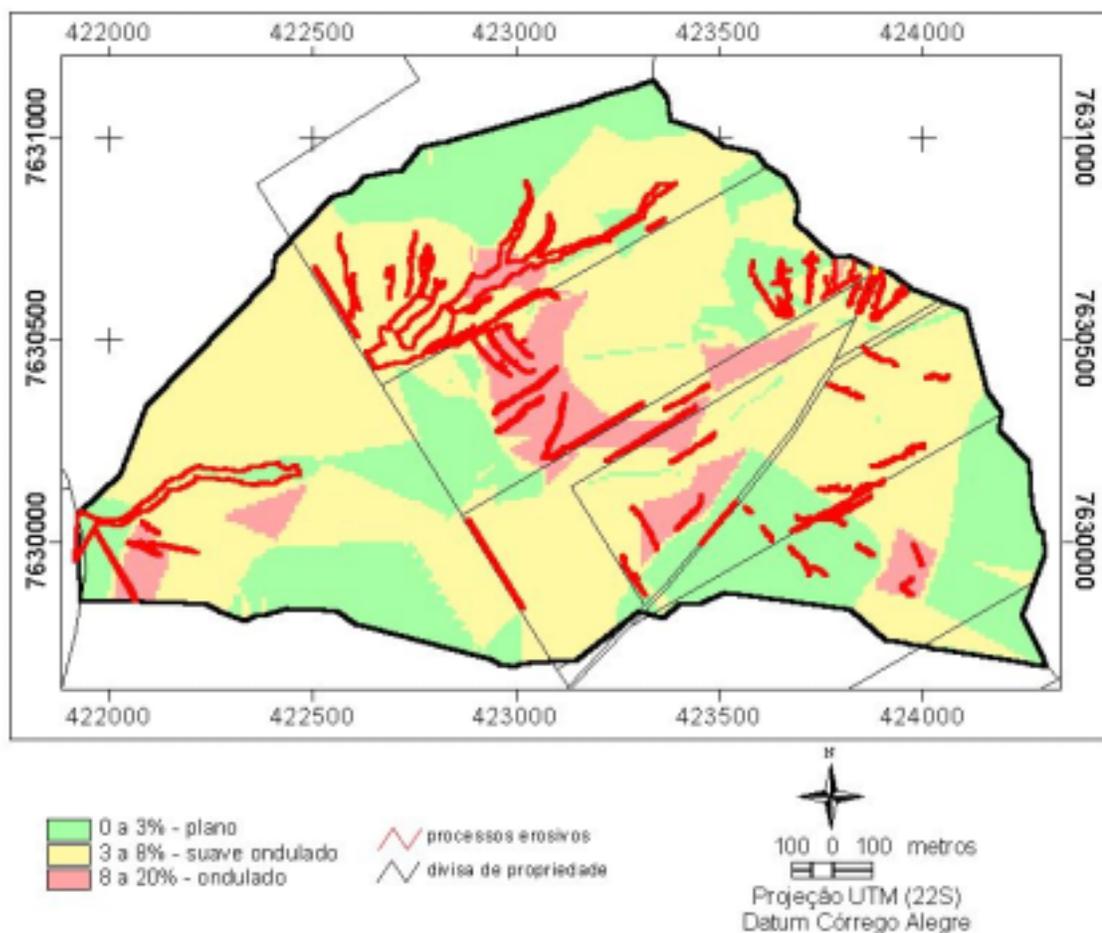


Figura 22 – Mapa de declividade do setor 12 da microbacia do ribeirão Itambi.

O relevo do setor é predominantemente plano a suave ondulado, ou seja, com declividade variando entre 0 a 8%, ocupando 205,5ha (90,7%) da área do

setor (Figura 22). O declive médio situa-se em torno de 4,6%, sendo que o declive máximo é igual a 19,2%. As feições erosivas geralmente estão associadas com a classe de declive mais alta.

O mapa da representação do modelo do fator topográfico LS, Figura 23, apresenta valores altos nas áreas de maior declividade maior e onde ocorrem concentração do escoamento superficial. Essas áreas apresentaram boa correlação visual com as feições erosivas.

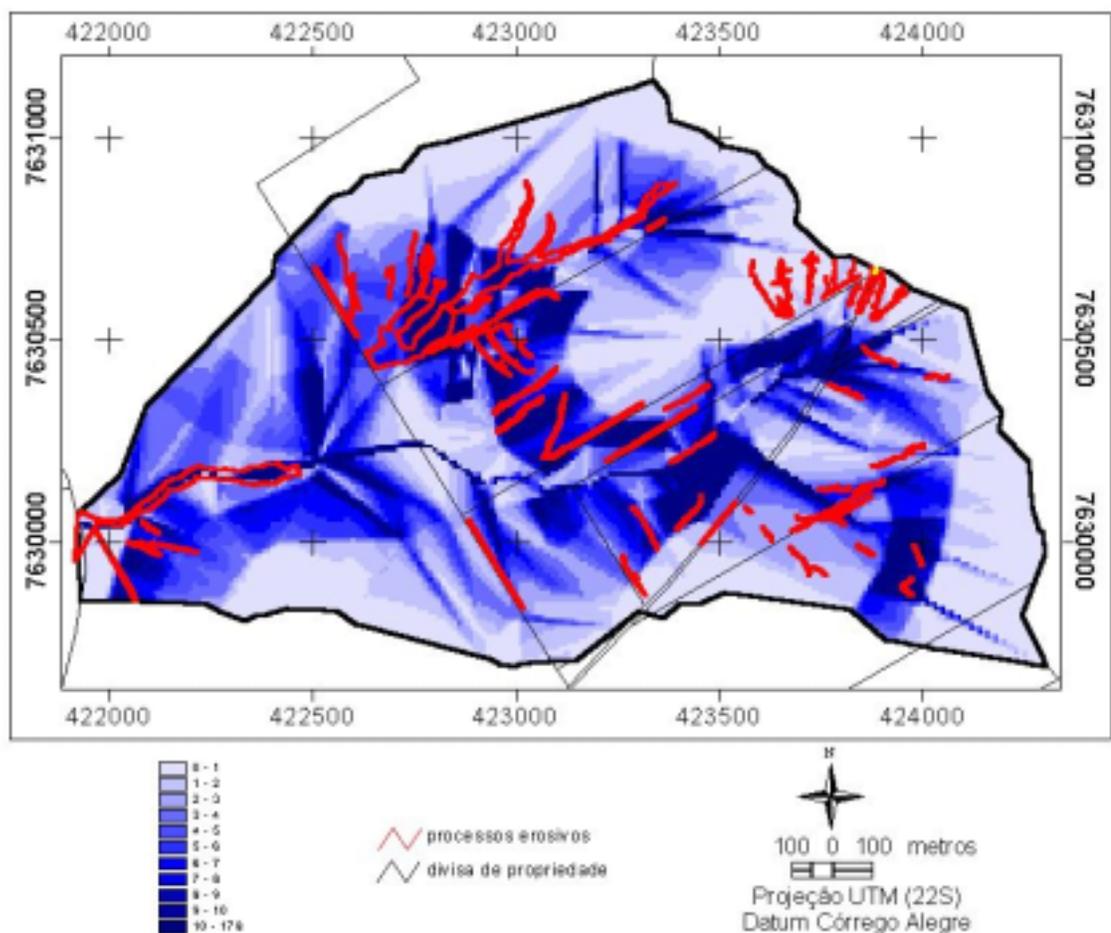


Figura 23 – Fator topográfico (LS) do setor 12 da microbacia do ribeirão Itambi, utilizando o método de cálculo automatizado.

O setor é constituído pelos Argissolos na parte superior, por Latossolos na parte mediana e por Neossolos na parte inferior, correspondendo em

hectares a 143,4 (63,3%), 72,7 (32,1%) e 10,6 (4,7%), respectivamente (Figura 24 e Tabela 39). Os solos apresentam baixa fertilidade natural, sendo que somente 73,3ha (32,3%) do setor possuem fertilidade um pouco superior, representado pelo Argissolo Vermelho Eutrófico (PVe), mas muito suscetíveis a erosão por serem de textura muito arenosa.

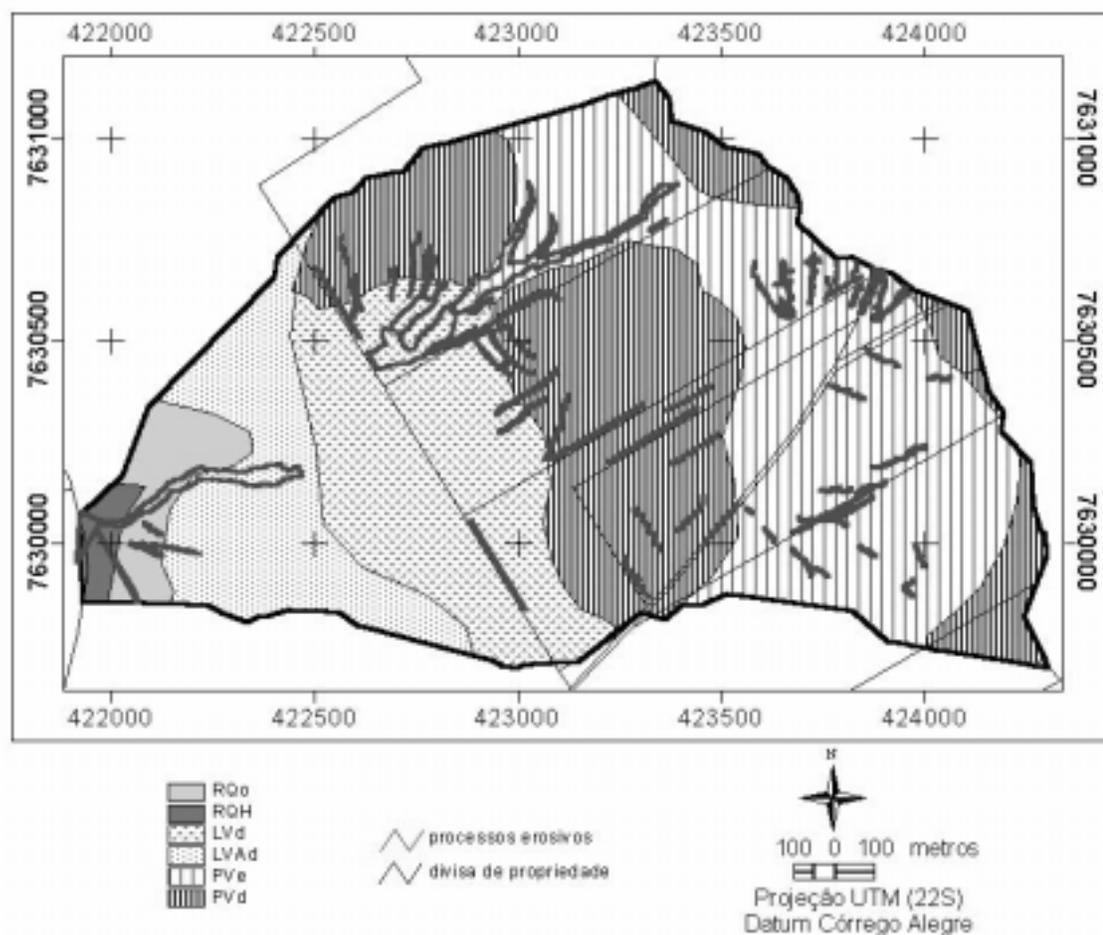


Figura 24 – Mapa de solos do setor 12 da microbacia do ribeirão Itambi.

A correlação entre as feições erosivas e os solos estão de acordo com as relações apresentadas por Salomão (1994) e Boin (2000) para os solos formados a partir dos arenitos do Grupo Bauru, principalmente os argissolos com susceptibilidade moderada a alta.

Tabela 39. Distribuição de solos no setor 12 da microbacia do ribeirão Itambi.

SOLO	DESCRIÇÃO DO SOLO	ÁREA	
		(ha)	(%)
PVd	Argissolo Vermelho Distrófico arênico A moderado textura arenosa/média	70,1	30,9
PVe	Argissolo Vermelho Eutrófico arênico A moderado textura arenosa/média	73,3	32,3
LVAAd	Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico típico A moderado textura média	27,9	12,3
LVd	Latossolo Vermelho Distrófico típico A moderado textura média	44,8	19,8
RQo	Neossolo Quartzarênico Órtico	8,0	3,5
RQg	Neossolo Quartzarênico Hidromórfico	2,6	1,1

A análise realizada no SIG através da integração dos dados de localização das erosões com os planos de informação tipo de solo, uso da terra, manejo das culturas e declividade, possibilitou identificar que as feições erosivas não se originaram devido ação de um fator isoladamente, mas da interação entre os fatores erosivos. As características das erosões e das principais condições que as propiciaram estão sintetizadas a seguir:

- a concentração de feições erosivas lineares ocorreram com maior frequência em áreas de solos de maior erodibilidade devido a textura arenosa, baixa resistência mecânica e coesão;
- áreas com grande concentração de escoamento superficial devido ao relevo e as extensas áreas de captação de água;
- baixa cobertura do solo devido ao manejo inadequado de adubação ou de lotação dos pastos, propiciando uma proteção ineficiente ao impacto da gota da chuva;
- práticas conservacionistas inexistentes ou inadequadas devido ao dimensionamento incorreto dos terraços para as condições locais de solo (base curta) e pela falta de sua manutenção (cortada pela trilha do gado);

- ocorrência de sulcos devido ao caminhos utilizados frequentemente pelo gado mantendo o solo na trilha sem cobertura vegetal e compactado, fazendo com que a água escoe por ele de forma preferencial;
- a divisão fundiária, com lado de maior comprimento no sentido de maior declive, favorece o surgimento de sulcos e ravinas próximo as cercas de divisa resultante do trilhamento do gado;
- planejamento e conservação da estrada inadequados;
- assoreamento do ribeirão, inexistência de mata ciliar e solo compactado, devido a utilização do rio como bebedouro para o gado, caracterizando uma paisagem degradada.

Os mapas de risco de erosão simulado (es) do setor 12, gerados para os dois mapas do fator LS, são apresentados na Figuras 25. Nos dois modelos, a maior parte das feições erosivas encontram-se em áreas indicadas com risco de erosão alto, acima de duas vezes o limite de tolerância de perda dos solos.

Para o modelo gerado com o fator LS obtido pelo método das rampas, a declividade e o solo (Argissolo e Neossolo) foram os principais fatores determinantes das áreas com perdas duas vezes acima do limite. Para o modelo que utilizou o fator LS obtido por cálculo automatizado, as áreas de concentração do escoamento superficial também foram determinantes na geração de valores altos, indicando inclusive que nas áreas com voçorocas, os níveis de perda de solo estimado dez vezes acima do tolerado.

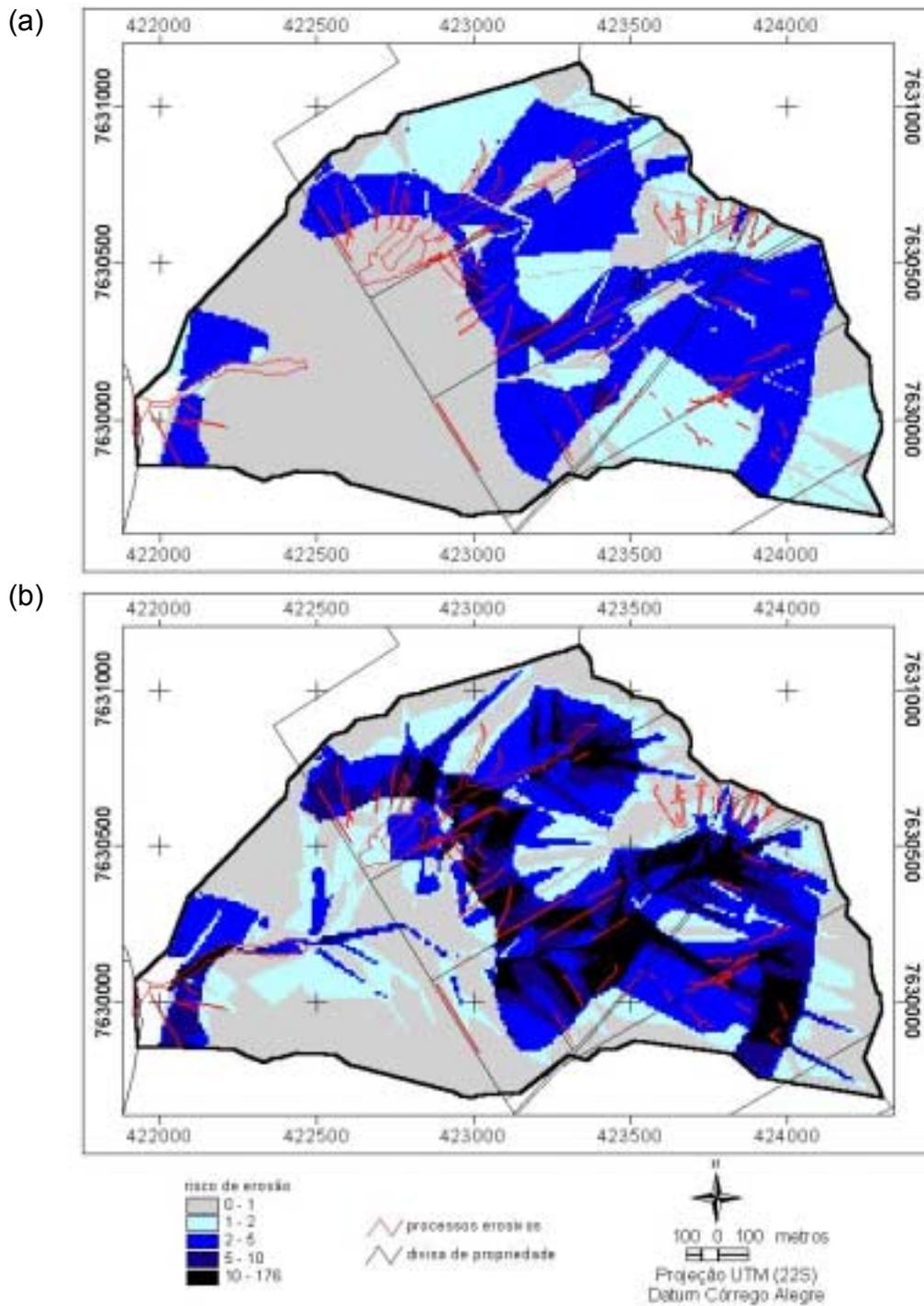


Figura 25 – Risco de erosão simulado (es) no setor 12 da microbacia do ribeirão Itambi utilizando fator LS obtido pelos métodos de rampa (a) e automatizado (b).

5 CONCLUSÕES

Existem mapeamentos temáticos de risco de erosão e capacidade de uso que cobrem todo o Estado de São Paulo, mas a sua utilização no planejamento voltado ao desenvolvimento rural sustentável foi limitada, visto que para se trabalhar nas propriedades inseridas dentro do contexto de microbacia, não apresentaram escala compatível com o nível de detalhamento requerido.

As informações de solos e topografia foram mais influentes nos critérios utilizados no trabalho para predição do risco de erosão e capacidade de uso das terras, do que às de clima, geologia e geomorfologia. Atenção especial foi dada as cotas altimétricas, das quais se obtiveram o modelo digital do terreno e se derivaram a declividade, comprimento de rampa e o fator topográfico.

A EUPS, apesar das limitações, mostrou ser um valioso modelo de predição do risco de erosão pela simplicidade de cálculo, principalmente com a inclusão de um algoritmo para cálculo automatizado do fator topográfico LS.

Os valores do fator LS obtidos pelo método automatizado apesar de serem muito maiores que do método das rampas, resultaram em perda de solo média anual por setor dentro dos parâmetros encontrados na literatura. Esses valores tiveram uma distribuição espacial coerente com a realidade, apresentando valores baixos nos divisores hidrográficos e em áreas de sedimentação, com aumento gradativo no sentido dos canais de drenagem, onde se encontraram os valores mais altos.

O resumo dos métodos de predição do risco de erosão, indicados pelos dois parâmetros "natural" e "simulado" apresentados na Tabela 36, foram

suficientes para avaliar o nível crítico de risco de erosão por setor, indicando os setores a serem trabalhados prioritariamente.

As terras ocupadas com pastagens encontram-se em processo intenso de degradação dos seus recursos naturais apesar de ser indicado como um dos usos mais adequados para a microbacia. O manejo inadequado é o responsável pela intensificação da ação dos fatores erosivos naturais relacionados com solo, clima e relevo, promovendo o surgimento de inúmeras feições erosivas, principalmente as lineares, representadas pelos sulcos, ravinas e voçorocas.

A predição do risco de erosão e do potencial de uso pela EUPS e Capacidade de Uso da Terra integrados às rotinas disponíveis em sistemas "populares" de análise de informação geográfica (ArcView, Idrisi e Ilwis) foram importantes ferramentas de diagnóstico para o planejamento ambiental na rapidez de simular e analisar diversos cenários.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARRUDA, M.B. (Coord.) **Roteiro metodológico para a gestão de área de proteção ambiental - APA.** Brasília: IBAMA/GTZ, 1999. (IBAMA. Guia do chefe, Anexo 9) <http://www2.ibama.gov.br/unidades/guiadechefe/guia/anexos/anexo9/texto.htm> (15 out. 2001)

ASSAD, E.D; SANO, E.E. (Ed.) **Sistemas de informações geográficas: aplicações na agricultura.** 2.ed. Brasília: EMBRAPA, SPI; EMBRAPA, CPAC, 1998. 434p.

ASSAD, E.D.; SANO, E.E.; MEIRELLES, M.L.; MOREIRA, L. Estruturação de dados geoambientais no contexto de microbacia hidrográfica. In: ASSAD, E.D; SANO, E.E. (Ed.) **Sistemas de informações geográficas: aplicações na agricultura.** 2.ed. Brasília: EMBRAPA, SPI; EMBRAPA, CPAC, 1998. cap.7, p.119-137.

BEAL, A. **Introdução à gestão de tecnologia da informação.** s.l.: Vydia Tecnologia, 2001. 7p. http://www.vydia.com.br/vydia/GTI_INTRO.PDF (6 ago. 2001)

BERTONI, J. O espaçamento de terraços em culturas anuais, determinado em função das perdas por erosão. **Bragantia**, v.18, p.113-140. 1959.

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

BOIN, M.N. Chuvas e erosões no oeste paulista: uma análise climatológica aplicada. Rio Claro, 2000. 264p. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”. <http://sigrh.sp.gov.br/sigrh/ftp/relatorios/CRH/CBH-PP/tese/conteudo.html> (7 jul. 2001)

CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A.M.V. (Ed.) **Introdução à ciência da geoinformação**. São José dos Campos: INPE, 2001. <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/> (3 jul. 2001)

CÂMARA, G.; MEDEIROS, J.S. Modelagem de dados em geoprocessamento. In: ASSAD, E.D; SANO, E.E. (Ed.) **Sistemas de informações geográficas: aplicações na agricultura**. 2.ed. Brasília: EMBRAPA, SPI; EMBRAPA, CPAC, 1998. cap.4, p.47-66.

CAMARGO, A.P. de. **Balanço hídrico no Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1978. 32p. (Boletim, 116)

CARVALHO, B.N.R. Um sistema de informações para a prática do gerenciamento e planejamento urbano. Florianópolis, 2000. 149p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Santa Catarina. <http://www.stela.ufsc.br/defesa/pdf/1109.pdf> (24 ago. 2001)

CAVALIERI, A. Estimativa da adequação de uso das terras na quadrícula de Moji Mirim (SP) utilizando diferentes métodos. Campinas, 1998. 112p. Tese (Doutorado) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas.

CERRI, C.E.P. Mapeamento das áreas de risco de erosão dos solos da bacia do rio Piracicaba, utilizando geoprocessamento. Piracicaba, 1999. 89p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

COMPANHIA ENERGÉTICA DE SÃO PAULO. **Usina Hidrelétrica Porto Primavera - Estudo de Impacto Ambiental:** Diagnóstico do meio físico. São Paulo: CESP; THEMAG; ENGEA; UMAH. v.1, 1992. 187p.

CHAVES, H.M.L. Novidades sobre o water erosion prediction project - WEPP. In: PEREIRA, M.E; CRUZ, M.C.P. (Ed.). **Solos altamente suscetíveis à erosão.** Jaboticabal: UNESP, FCAV; SBCS, 1994. p.207-212.

COMITÊ DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DOS RIOS AGUAPEÍ E PEIXE. **Relatório de situação dos recursos hídricos das bacias dos rios Aguapeí e Peixe.** (compact disc). Lins: CBH-AP; CETEC, 1997. (Relatório Zero)

DANIEL, O. Definição de indicadores de sustentabilidade para sistemas agroflorestais. Viçosa, 2000. 123p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa. <http://www.ipef.br/servicos/teses/daniel,o/omar.pdf> (15 set. 2001)

DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA. **Banco de dados Pluviométricos do Estado de São Paulo.**
http://www.sigrh.sp.gov.br/cgi-bin/sigrh.exe/grafico?Bco=Plu&Pref=C8_019
(6 jun. 2001)

- DESMET, P.J.J.; GOVERS, G. A GIS procedure for automatically calculating the USLE LS factor on topographically complex landscape units. **Journal of Soil and Water Conservation**, v.51, n.5, p.427-433, Sept./Oct. 1996.
- DONZELLI, P.L.; VALÉRIO FILHO, M.; PINTO, S.A.F; NOGUEIRA, F.P.; ROTTA, C.L.; LOMBARDI NETO, F. Técnicas de sensoriamento remoto aplicadas ao diagnóstico básico para planejamento e monitoramento de microbacias hidrográficas. In: LOMBARDI NETO, F.; CAMARGO, O.A. **Microbacia do córrego São Joaquim (Município de Pirassununga, SP)**. Campinas: IAC, 1992. p.91-119. (Documentos, 29)
- DUPAS, G. As tecnologias e o mito do progresso. **O Estado de São Paulo. Espaço aberto**, São Paulo, 6 maio 2000. p.A-2.
- DVOŘÁK, J.; NOVÁK, L. Erosion factors. In: DVOŘÁK, J.; NOVÁK, L. (Ed.) **Soil conservation and silviculture**. Trad. de V. Sochor. Amsterdam: Elsevier Science, 1994. cap.3, p.39-80.
- EASTMAN, J.R. **Idrisi 32: Guide to GIS and image processing**. Worcester: Clark University, 1999. 2v.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa, CNPS, 1997. 212p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa, SPI; Rio de Janeiro: Embrapa, CNPS, 1999. 412p.

- FATOR GIS. **Definições técnicas.** s.d. http://www.fatorgis.com.br/geoproc/define_tecn.shtml (20 ago. 2001)
- FELGUEIRAS, C.A. Modelagem numérica de terreno. In: CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A.M.V. (Ed.) **Introdução à ciência da geoinformação.** São José dos Campos: INPE, 2001. cap.7. <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/cap7-mnt.pdf> (3 jul. 2001)
- FERRARI, J.A.; HIRUMA, S.T.; ANTONIETTI, E.; PEREIRA, P.R.B.; TAVARES, R. **Mapeamento da suscetibilidade à erosão na bacia do rio Quilombo - SP.** São Paulo: Instituto Geológico, 1996. 56p. (Boletim, 12)
- FERRETTI, A.R. O fomento florestal da CESP/Porto Primavera com propriedades da região de Assis-SP. Piracicaba, 2000. 156p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.
- FLORES, M.X.; MACÊDO, M.M.C. Novos rumos do desenvolvimento rural. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ECONOMIA E SOCIOLOGIA RURAL, 37, Foz do Iguaçu, 1999. Anais. Brasília: SOBER, 1999. <http://gipaf.cnptia.embrapa.br/itens/publ/sober/trab364.pdf> (15 out. 2001)
- GARCIA FILHO, D.P. **Análise diagnóstico de sistemas agrários:** guia metodológico. Brasília: INCRA/FAO, s.d. 67p. [http://www.incra.gov.br/fao/Guia Metodologico.zip](http://www.incra.gov.br/fao/Guia%20Metodologico.zip) (19 nov. 2001)
- HASEGAWA, M.M. O mercado de reposição da pecuária bovina de corte no Estado de São Paulo. Piracicaba, 1995. 142p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

IGREJA, A.C.M. Evolução da pecuária bovina de corte no Estado de São Paulo no período de 1969-1984. Piracicaba, 1987. 197p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

ITO, H.K. Previsão de erosão e demarcação de talhões para plantação de eucalipto na microbacia do rio Itupeva (São Paulo), com base num sistema de informação geo-referenciada. Campinas, 1998. 88p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas.

KIMERLING, A.J. **Sistema de informações geográficas e cartografia.** Trad. de F. Santil e J.H.A. Pereira. Presidente Prudente: UNESP, FCT, s.d. <http://www.prudente.unesp.br/dcartog/arlete/gis/sigcarto.html> (3 jul. 2001)

KLEMPERER, W.D. **Forest resource economics and finance.** New York: McGraw Hill, 1996. 537p.

LEMOS, R.C. de; SANTOS, R.D. **Manual de descrição e coleta de solos no campo.** 2.ed. Campinas: SBCS, 1996. 83p.

LEPSCH, I.F. (Coord.) **Manual para Levantamento Utilitário do Meio Físico e Classificação de Terras no Sistema de Capacidade de Uso.** Campinas: SBCS, 1991. 175p.

LOMBARDI NETO, F.; MOLDENHAUER, W.C. Erosividade da chuva: sua distribuição e relação com as perdas de solo em Campinas (SP). **Bragantia**, v.51, n.2, p.189-196, 1992.

- LIMA, W.P. **Hidrologia florestal aplicada ao manejo de bacias hidrográficas.** Piracicaba: ESALQ, USP, Departamento de Ciências Florestais, 1996. 318p. (Apostila)
- LIMA, W.P.; ZAKIA, M.J.B. Indicadores hidrológicos em áreas florestais. **Série Técnica IPEF**, v.12, n.31, p.53-64, abr. 1998.
- MAALOUF, W.D. **Recursos humanos e desenvolvimento agrícola sustentado.** São Paulo: Fundação Salim Farah Maluf, 2000. 47p.
- MARQUES, J.F. Efeitos da erosão do solo na geração de energia elétrica: uma abordagem da economia ambiental. São Paulo, 1995. 271p. Tese (Doutorado) – Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade, Universidade de São Paulo.
- MENCK, P.C.M. Avaliação econômica do controle da erosão na microbacia do ribeirão Iperó, em Araçoiaba da Serra, Estado de São Paulo. Piracicaba, 1993. 181p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.
- MIKLÓS, A.A.W. A terra e o homem. In: CONFERÊNCIA BRASILEIRA DE AGRICULTURA BIODINÂMICA, 4, São Paulo, 2000. **A dissociação entre homem e natureza:** reflexos no desenvolvimento humano; agricultura biodinâmica; anais. São Paulo: Antroposófica; Botucatu: ABD, 2001. p.25-39.
- MILWARD, A.A; MERSEY, J.E. Adapting the RUSLE to model soil potential in mountainous tropical watershed. **Catena**, n.38, p.109-129, 1999.

- NASCIMENTO, M.A.L.S. Bacia do rio João Leite: influência das condições ambientais naturais e antrópicas na perda de terra por erosão laminar. Rio Claro, 1998. 176p. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”.
- NOGUEIRA, F.P. Uso agrícola sustentado das terras do município de Vera Cruz, SP: proposta metodológica. Rio Claro, 2000. 84p. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”.
- OOST, K. VAN; GOVERS, G.; DESMET, P. Evaluating the effects of changes in landscape structure on soil erosion by water and tillage. **Landscape Ecology**, v.15, n.6, p.577-589, 2000.
- OVERTON, W.S. A strategy of model construction. In: HALL, C.A.S.; DAY, J.W. (Ed.) **Ecosystem modelling in theory and practice**. New York: John Wiley, 1977. cap.3, p.49-73.
- RIBEIRO, F.L.; CAMPOS, S. Capacidade de uso da terra no alto rio Pardo, Botucatu (SP), através do sistema de informação geográfica. **Energia na Agricultura**, v.14, n.2, p.48-60, 1999. <http://www.fca.unesp.br/posgradua/Energia/revista/V14N2-99/142Fernanda.pdf> (24 jan. 2002)
- ROCHA, J.V.; LOMBARDI NETO, F.; BACELLAR, A.A.A. Metodologia para determinação do fator comprimento de rampa (L) para a Equação Universal de Perdas de Solo. **Caderno de Informações Georreferenciadas (CIG)**, v.1, n.2, 1997. <http://www.cpa.unicamp.br/revista/cigv1n2n1.html> (24 jan. 2001)

- RODRIGUES, J.B.T.; ZIMBACK, C.R.L.; PIROLI, E.L. Utilização de sistema de informação geográfica na avaliação do uso da terra em Botucatu (SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, n.3, p.675-681, 2001.
- RODRIGUEZ, L.C.E. **Técnicas quantitativas para a gestão de florestas plantadas**. Piracicaba: ESALQ, USP, Departamento de Ciências Florestais, 1999. 87p. (Apostila)
- SALOMÃO, F.X.T. Solos do arenito Bauru. In: PEREIRA, M.E; CRUZ, M.C.P. (Ed.). **Solos altamente suscetíveis à erosão**. Jaboticabal: UNESP, FCAV; SBCS, 1994. p.51-68.
- SANTOS, R.F., CARVALHAIS, H.B., PIRES, F. Planejamento ambiental e sistemas de informações geográficas. **Caderno de Informações Georreferenciadas (CIG)**, v.1, n.2, 1997. <http://www.cpa.unicamp.br/revista/cigv1n2a2.html> (24 jan. 2001)
- SÃO PAULO (Estado). INSTITUTO GEOGRÁFICO E GEOLÓGICO. Carta de Panorama, 1974. Folha SF-22-I-I-3, Escala 1:50.000.
- SÃO PAULO (Estado). INSTITUTO GEOGRÁFICO E GEOLÓGICO. Carta de Dracena, 1974. Folha SF-22-I-I-4, Escala 1:50.000.
- SÃO PAULO (Estado). Secretaria de Agricultura e Abastecimento. Coordenadoria de Assistência Técnica Integral. **Levantamento das unidades de produção agropecuária**: Estatísticas agrícolas, Estado de São Paulo 1995/96. Campinas: CATI, 2001 http://cati.sp.gov.br/servicos/lupa/m_lupa.htm (6 jun. 2001)

SÃO PAULO (Estado). Secretaria de Agricultura e Abastecimento. Coordenadoria de Assistência Técnica Integral. **Programa Estadual de Microbacias Hidrográficas**. Campinas: CATI, s.d. (Seção Operativa)

SÃO PAULO (Estado). Secretaria de Energia e Saneamento. Departamento de Águas e Energia Elétrica. **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. 92p.

SILVA, A.M.; SCHULZ, H.E. Estimativa e análise do fator topográfico (LS) da Equação Universal de Perda de Solo feito com o uso de aplicativo informatizado compatível com software de geoprocessamento. **Fator GIS**. www.fatorgis.com.br/artigos/gis/perda_solo/perda_solo.htm (21 ago. 2001).

SPAROVEK, G. Indicadores para o planejamento conservacionista. Piracicaba, 1998. 70p. Tese (Livre Docência) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

TOLEDO, P.E.N. Impacto ambiental e análise econômica de medidas mitigadoras: o caso da microbacia hidrográfica do córrego São Joaquim, Pirassununga (SP). Piracicaba, 1997. 142p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

VALÉRIO FILHO, M. Técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto aplicados ao estudo integrado de bacias hidrográficas. In: PEREIRA, M.E; CRUZ, M.C.P. (Ed.). **Solos altamente suscetíveis à erosão**. Jaboticabal: UNESP, FCAV; SBCS, 1994. p.223-242.

VEIGA, J.E. Entrevista. **Agricultura Sustentável**, n.1, p.5-10, jan./jun. 1995.

- VIEIRA, M.N.F.; VIEIRA, L.S.; SANTOS, P.C.T.C dos; CHAVES, R.S. **Levantamento e conservação do solo.** Belém: FCAP, Serviço de Documentação e Informação, 1996. 320p.
- VICTOR, M.A.M. **A devastação florestal.** São Paulo: Sociedade Brasileira de Silvicultura, s.d. 49p.
- WEILL, M.A.M. Estimativa da erosão do solo e avaliação do seu impacto na microbacia do Ceveiro (Piracicaba, SP) através do índice de tempo de vida. Piracicaba, 1999. 100p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.
- WISCHMEIER, W.H.; SMITH, D.D. **Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning.** Washington: USDA, 1978. 58p. (USDA. Agriculture Handbook, 537)
- ZAKIA, M.J.B. Identificação e caracterização da zona ripária em uma microbacia experimental: implicações no manejo de bacias hidrográficas e na recomposição de floresta. São Carlos, 1998. 98p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- ZIMBACK, C.R.L.; RODRIGUES, R.M. **Determinação das classes de capacidade de uso das terras da fazenda experimental de São Manoel - UNESP.** Botucatu: UNESP, FCA, 1993. 21p.