

# **UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA**

Instituto de Geociências e Ciências Exatas

*Campus de Rio Claro*

## **ANÁLISE DA DINÂMICA PLÚVIO-EROSIVA NA BACIA DO CÓRREGO DA ÁGUA BRANCA (SP)**

LEANDRO DE SOUZA PINHEIRO

Orientador: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Genira Maria Lupinacci da Cunha

Dissertação de Mestrado elaborada  
junto ao Programa de Pós-  
Graduação em Geografia - Área de  
Organização do Espaço para  
obtenção do título de Mestre em  
Geografia.

Rio Claro (SP)  
2008

551.302 Pinheiro, Leandro de Souza

P654a Análise da dinâmica plúvio-erosiva na Bacia do Córrego da Água Branca (SP) / Leandro de Souza Pinheiro. - Rio Claro : [s.n.], 2008

110 f. : il., figs., gráfs., fots., tabs., mapas

Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas

Orientador: Cenira Maria Lupinacci da Cunha

1. Erosão. 2. Modelagem ambiental. 3. Planejamento ambiental. 4. Erosão laminar. 5. Geomorfologia. 6. Uso da terra. I. Título.

BANCA EXAMINADORA

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Cenira Maria Lupinacci da Cunha

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Regina Célia de Oliveira

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Iandara Alves Mendes

Leandro de Souza Pinheiro  
- aluno (a)

Rio Claro, 14 de Outubro de 2008

Resultado: Aprovado

Dedico este trabalho aos meus pais, minhas irmãs e minha esposa.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar a Deus que me confortou e me guiou em todos os momentos.

Agradeço à Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Cenira Maria Lupinacci da Cunha pela competência e dedicação na orientação para a execução deste trabalho.

À Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Iandara Alves Mendes, principalmente, pela orientação em minha vida.

Aos meus pais, Reinaldo e Lourdes, que estiveram comigo em todos os momentos, e às minhas irmãs Vanessa e Andreza, pela confiança e amizade.

À Minha esposa Andréa que compartilha comigo minhas alegrias e sofre as minhas angústias.

Aos meus eternos amigos Plínio, Petter, Alexandre, Thaís, Rose, Davi, Fábio, Jônatas, Mônica, Eliane, Juliana e outros, sinto muito a falta de vocês.

Aos amigos da Floresta Estadual Edmundo Navarro de Andrade pelos momentos felizes e pela colaboração sempre prestativa, especialmente à Denise Zanchetta pelo apoio fundamental em minha vida e no meu trabalho.

Aos amigos Odair, Luiz e Fábio Diniz pela hospitalidade em me receberem em casa.

Aos companheiros da Geomorfologia Deuzimar, Simone, Débora, Fernanda, Carol, Leandro Godoy, Adriano, Alan e Patrícia.

Agradeço aos funcionários da UNESP, Moema, Meiri e Mônica (biblioteca), Augusta (secretaria), Bete (DEPLAN).

À Rosana Pantano pelo companheirismo, à Ana Paula Macedo pela revisão gramatical.

Ao Gilson Giamez da Secretaria do Meio Ambiente, pelos acompanhamentos e pelo socorro em campo.

E por fim, à Capes pelo apoio financeiro que foi fundamental para a execução deste trabalho.

Por isso os céus sobre vós retêm o seu orvalho e a terra os seus frutos.

Ageu 1: 10 (Bíblia Sagrada)

## **Análise da Dinâmica Plúvio-Erosiva na Bacia do Córrego da Água Branca (SP)**

### Resumo

A erosão apresenta-se para a sociedade, que em muitos casos contribui para a dinamização dos processos erosivos, como uma problemática antiga e atual. As atividades antrópicas não planejadas catalisam o processo erosivo, fundamental para a elaboração e evolução do modelado terrestre, por vezes gerando a erosão acelerada provocando desequilíbrios ambientais e econômicos. Na área de estudo, a Bacia Hidrográfica do Córrego da Água Branca localizada no município de Itirapina (SP), predominam terrenos arenosos e vulneráveis aos processos erosivos, onde foram constatados vários sulcos erosivos por toda a bacia. Neste contexto, o objetivo do trabalho consistiu em estimar o potencial natural à erosão laminar (PNE) e a perda de solo através da Equação Universal de Perdas do Solo (EUPS), e em analisar os processos geomorfológicos atuantes na área de estudo. Deste modo, é possível utilizar o manejo mais apropriado para a área, pois diante do conhecimento das fragilidades erosivas da área, o produtor rural pode planejar o uso da terra de maneira que não cause prejuízos ambientais e econômicos. Constatou-se que as maiores declividades, a ausência de vegetação natural e o manejo inadequado do solo potencializam a ação da dinâmica erosiva. O uso inadequado do solo provoca perda de solo mesmo em áreas de baixa potencialidade, como as superfícies de cimeira. Verificou-se que as áreas cultivadas por *citrus* e cana-de-açúcar apresentaram taxas elevadas de perda de solo por hectare ao ano. Assim, é importante o Planejamento Ambiental da área, pois, permite o uso da terra condizente com suas limitações.

Palavras-chave: Erosão Laminar, Modelagem, Geomorfologia, Planejamento Ambiental, Uso da terra.

## **Analysis of the dynamics erosive pluvial in the the basin of Água Branca river (SP)**

### **Abstract**

Erosion presents itself to society, which in many cases contributes to the promotion of erosive processes, like an older and current problem. The not planned human activities catalyze the erosive process, fundamental to the development of modeling land, creating the erosion accelerated with environmental and economic imbalances. In study area, the basin of Água Branca river located in the municipality of Itirapina (SP), predominantly sandy land vulnerable to the erosive processes, where they were found several furrows erosive throughout the basin. In this context, the objective of the work was to estimate the natural potential to laminar erosion (NPE) and loss of soil through the Universal Soil Loss Equation (USLE), and to examine the geomorphologic processes active in the study area. It was found that the greatest slope, the absence of natural vegetation and inadequate soil management leverage the erosive action. The improper use of soil causes loss of soil even in areas with low potential, as the areas of Summit. It was found that the areas cultivated by citrus and sugar cane showed high rates. Them the Environmental Planning of this area is important, because allows the use of land consistent with its limitations.

**Keywords:** Laminar erosion, modeling, Geomorphology, Environmental Planning, Use of the land.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

	Página
1. Figura 1. Localização da Bacia Hidrográfica do Córrego da Água Branca.....	18
2. Figura 2 - Topografia da Bacia Hidrográfica do Córrego da Água Branca. ....	19
3. Figura 3 – A Geologia da Bacia Hidrográfica do Córrego da Água Branca. ....	22
4. Figura 4 – Os Solos da Bacia do Córrego da Água Branca.....	23
5. Figura 5 - Pluviograma das médias mensais de Itirapina - SP.....	24
6. Figura 6 – Manifestações da degradação do solo.....	30
7. Figura 7 – Desenho esquemático da parcela de escoamento usado nos experimentos.....	37
8. Figura 8 – Concentração de sedimentos e desvio médio.....	39
9. Figura 9 – Taxa de infiltração no topo do solo nas estações seca e chuvosa.....	40
10. Figura 10 - Exemplo do valor “D” para uma classe de declividade de 12%.....	67
11. Figura 11 - Detalhe da vetorização dos polígonos das classes de uso, utilizando o AutoCAD.....	69
12. Figura 12 - Utilização do comando Image Calculator. ....	75
13. Figura 13 - Utilização do comando Edit. ....	78
14. Figura 14 - Utilização do comando ASSIGN. ....	78
15. Figura 15 - Utilização do comando RECLASS. ....	79
16. Figura 16 - Carta de Potencial Natural à Erosão da Bacia Hidrográfica do Córrego da Água Branca.....	82
17. Figura 17 - Carta Clinográfica da Bacia Hidrográfica do Córrego da Água Branca.....	83

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES (Continuação)

	Página
18. Figura 18 - Carta de Dissecação Horizontal da Bacia Hidrográfica do Córrego da Água Branca.....	84
19. Figura 19 - Carta Geomorfológica da Bacia Hidrográfica do Córrego da Água Branca.....	86
20. Figura 20 - Carta de Perdas de Solo por Erosão da Bacia Hidrográfica do Córrego da Água Branca.....	88
21. Figura 21 - Monocultura de <i>citrus</i> (ao fundo) no setor NE da bacia.....	90
22. Figura 22 - Plantio de cana-de-açúcar no setor centro-leste da bacia.....	91
23. Figura 23 - Área parcial da propriedade da granja.....	92
24. Figura 24 - Área localizada à jusante da granja.....	93
25. Figura 25 - Vulnerabilidade em Neossolo Quartzarênico.....	94
26. Figura 26- Vegetação de parte do sopé do Morro do Baú.....	95
27. Figura 27 - Plantio de cana em área côncava no sopé do Morro do Baú.....	96
28. Figura 28 - Área com curvas de nível para contenção de escoamento hídrico...97	97
29. Figura 29 - Presença de sub-bosque incipiente em cultura de <i>Pinus</i> .....	98
30. Figura 30 - Aceiro na Estação Experimental de Itirapina - SP.....	99
31. Figura 31 - Assoreamento de uma represa na Estação Experimental de Itirapina.....	100

## LISTA DE TABELAS

	Página
1. Tabela 1 – Médias de vazão, concentração e carga total de sedimentos para os 22 eventos mensurados.....	39
2. Tabela 2 – Quantidade de chuva, escoamento superficial e solo erodido de duas parcelas experimentais durante período de 04 de setembro de 2005 a 15 de maio de 2006.....	41
3. Tabela 3 – Resultados obtidos por Thomaz e Luiz (2004).....	42
4. Tabela 4 - Resultados de perda de solo. Fonte: Franco e Rodrigues (2004).....	43
5. Tabela 5 - Parâmetros b e c que compõem a fórmula do fator K, de acordo com Pinto et al. (2002).....	52
6. Tabela 6 - Graus de proteção por tipos de cobertura vegetal.....	57
7. Tabela 7 – Valores de P de acordo com as práticas conservacionistas.....	60
8. Tabela 8 – Classes de declividade e distanciamento das curvas de nível de acordo com o ábaco “virtual”.....	67
9. Tabela 9 – Classes de Dissecação Horizontal do relevo e cores representativas.....	68
10. Tabela 10 - Valores para aplicação da fórmula para o cálculo de R.....	73
11. Tabela 11- Parâmetros b e c que compõem a fórmula do fator K, de acordo com Pinto et al. (2002).....	73
12. Tabela 11- Parâmetros b e c que compõem a fórmula do fator K, de acordo com Pinto et al. (2002).....	74
13. Tabela 13 - Dados de Valores do Fator C para as classes de uso da terra na Bacia do Córrego da Água Branca. ....	75
14. Tabela 14 - Valores do fator P. ....	76
15. Tabela 15 – Área ocupada pelas classes de Potencial Natural à Erosão.....	85
16. Tabela 16 – Área ocupada pelas classes de Perdas de Solo.....	87

## SUMÁRIO

	Página
1. INTRODUÇÃO.....	13
2. LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA.....	17
3. EROÇÃO: QUESTÕES TEÓRICAS E METODOLÓGICAS.....	26
3.1. Estudos Empíricos e Modelos como Suporte à Análise da Erosão dos Solos..	34
3.2. Considerações sobre o uso de modelos de erosão.....	44
4. MÉTODO E TÉCNICAS.....	61
4.1. Método.....	61
4.2. Técnicas.....	64
4.3. Documentação Cartográfica.....	65
4.3.1. Base Cartográfica.....	65
4.3.2. Carta Clinográfica.....	65
4.3.3. Carta de Dissecação Horizontal.....	67
4.3.4. Carta de Uso da Terra e Cobertura Vegetal.....	68
4.3.5. Carta Pedológica.....	69
4.3.6. Carta Geológica.....	70
4.3.7. Carta Geomorfológica.....	71
4.4. Fatores da EUPS.....	72
4.4.1. Fator Erosividade da Chuva (R) .....	72
4.4.2. Fator Erodibilidade do Solo (K) .....	73
4.4.3. Fator Topográfico (LS) .....	74
4.4.4. Fator de Uso e Manejo dos Solos (C) .....	75
4.4.5. Fator Práticas Conservacionistas (P) .....	75
4.5. Os Produtos Cartográficos de Síntese.....	76
4.5.1. Carta de Potencial Natural à Erosão (PNE) .....	76
4.5.2. Carta de Estimativas de Perda de Solo.....	80
5. ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	81
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	102
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	104

## I. INTRODUÇÃO

A erosão apresenta-se como um grande problema ambiental para a sociedade que por sua vez, por desconhecimento ou negligência, contribui em muitos casos para a aceleração e dinamização dos processos erosivos. O carreamento de sedimentos dos interflúvios resulta em problemas ambientais e econômicos. Verifica-se, desta maneira, que é muito importante o Planejamento Ambiental, pois, através deste, seria possível, de antemão, prever impactos e desequilíbrios que causariam reflexos no ambiente e na economia.

No entanto, tal planejamento não se aplica em muitos casos ou se aplica de maneira inadequada. Como exemplo, Morin (2006, p. 44) cita as grandes áreas plantadas, as quais “eliminaram as pequenas policulturas de subsistência, agravando a escassez e determinando o êxodo rural e a favelização urbana [...] cria desertos no duplo sentido do termo - erosão dos solos e êxodo rural”.

Há a necessidade, portanto, de corrigir o paradoxo observado por Morin (2006, p. 45), segundo o qual “o século XX produziu avanços gigantescos em todas as áreas do conhecimento científico, assim como em todos os campos da técnica. Ao mesmo tempo, produziu nova cegueira para os problemas globais, fundamentais e complexos”.

Tendo em vista a atual conjuntura, é indispensável a participação de todos os setores da sociedade para que os avanços científicos sejam harmônicos, ou seja, a ciência deve trabalhar na sociedade e para a sociedade, diferentemente do momento atual, onde prevalece uma conscientização através da imposição da lei, em virtude do baixo interesse de parte da sociedade.

Os problemas ambientais possuem abrangência mundial, no entanto, é necessário que os trabalhos científicos pesquisem a realidade local de cada situação. Assim, a Geomorfologia, ao analisar os processos atuantes na elaboração e evolução das formas do relevo, pode contribuir com subsídios para o Planejamento Ambiental, prevenindo e minimizando a ocorrência de impactos ambientais. Para Christofolletti (2001, p. 415), “a Geomorfologia analisa as formas de relevo focalizando suas características morfológicas, materiais componentes, processos atuantes e fatores controlantes, bem como a dinâmica evolutiva”.

O conhecimento geomorfológico aliado ao conhecimento mais amplo do meio físico, de seus recursos de água, solo e clima, suas potencialidades e

limitações, constitui a base técnica sobre a qual o poder público deve estabelecer o processo de planejamento territorial. Neste contexto, a avaliação das fragilidades erosivas constitui-se em parâmetro importante para tal planejamento.

Os processos erosivos são considerada por sua capacidade de trabalhar e esculpir o relevo, a dinâmica erosiva pode ser potencializada através de algumas variantes, como a textura e permeabilidade do solo, regime climático local, topografia, uso e ocupação do solo. Dessa forma, a intervenção antrópica pode resultar em diferentes condições para a superfície do solo; um manejo inadequado permite a aceleração da erosão causando impactos ambientais muitas vezes irreversíveis. É importante, portanto, o estudo das potencialidades erosivas de uma bacia hidrográfica, pois é a área onde os sedimentos, resultantes da dinâmica erosiva, serão carregados e depositados.

Neste contexto, a área objeto deste estudo é a Bacia Hidrográfica do Córrego da Água Branca inserida totalmente no município de Itirapina. O município de Itirapina, por sua vez, possui uma população de 13471 habitantes, de acordo com dados de 2000 do IBGE, e uma área territorial de 564 km<sup>2</sup>. A cidade de Itirapina se localiza entre as cidades de São Carlos e Rio Claro, com acesso pela rodovia Engenheiro Paulo Nilo Romano que se localiza na saída 206 da Washington Luís.

A pesquisa, na presente área de estudo é muito importante devido à grande participação, em extensão, da área rural no município. O uso da terra em área rural pode e deve ser manejado de maneira a evitar transtornos ambientais e econômicos para todas as partes envolvidas.

Aliado a isso, a Bacia Hidrográfica do Córrego da Água Branca comporta a Estação Experimental de Itirapina, gerenciada pelo Instituto Florestal do estado de São Paulo, representando 42,3 % do total da área da bacia. A viabilidade da execução do trabalho se deu em virtude da disponibilidade de materiais, encontrados e oferecidos pela gerência da Estação Experimental, assim como pelo conhecimento *a priori* da área.

Deste modo, a bacia do Córrego da Água Branca ocupa uma área de 4300 ha., cerca de 7% da área total do município; a vegetação natural predominante nesta área corresponde a presença de cerrados, da mata de encosta no Morro do Baú e as matas ribeirinhas; quanto à agricultura destacam-se plantações de cana-de-açúcar e de *citrus*. Além disso, existem extensas áreas plantadas com *Pinus* e *Eucaliptus*.

Com a predominância de terrenos arenosos, essa área torna-se vulnerável aos processos erosivos, fato este comprovado nas visitas de campo onde foi possível a visualização de vários sulcos erosivos distribuídos por toda a bacia.

Diante deste cenário, o objetivo geral do trabalho consistiu em estimar o potencial natural à erosão laminar e a perda de solo da área com base nos dados obtidos a partir da aplicação da Equação Universal de Perdas do Solo (EUPS), bem como analisar os processos geomorfológicos atuantes na bacia do córrego da Água Branca, em Itirapina – SP. Assim, os dados produzidos por esta pesquisa podem vir a contribuir com o Planejamento Ambiental desta área, pois permitem, através dos documentos cartográficos elaborados, identificar os setores mais frágeis à ação plúvio-erosiva, possibilitando planejar usos da terra condizentes com tais limitações.

Para atingir tal objetivo geral, foram traçados os seguintes objetivos específicos:

- A avaliação da declividade da área e da extensão das vertentes, através de dados obtidos a partir da elaboração e análise das Cartas Clinográfica e de Dissecção Horizontal, elaboradas nesta pesquisa; desta forma, estes dados permitiram a obtenção do Fator Topográfico para a aplicação da EUPS, bem como a análise qualitativa do potencial erosivo;

- Através da Carta de Uso da Terra e Cobertura Vegetal, realizar uma avaliação qualitativa de tal uso e fornecer dados para a aplicação da EUPS.

- Analisar a erodibilidade dos solos e a erosividade das chuvas, através da compilação de dados bibliográficos e meteorológicos da área.

- Análise do potencial natural à erosão e das perdas de solo buscando compreender quais os fatores determinantes para a ocorrência dos processos erosivos na área.

- Análise da morfodinâmica da área, através da fotointerpretação de pares estereoscópicos de fotografias aéreas, a qual possibilitou a identificação e o mapeamento das feições do relevo, posteriormente registradas na Carta Geomorfológica, que indicam a atuação dos processos erosivos. Estes dados foram comparados com os resultados da modelagem, elaborada através da EUPS, possibilitando analisar criticamente os fatores que interferem no equilíbrio geomorfológico, através do reconhecimento da morfodinâmica dos ambientes e das áreas de maior dinamismo geomorfológico, principalmente as vulneráveis à ação da erosão hídrica superficial.

Os dados obtidos e as análises realizadas estão descritos e organizados em cinco itens, além deste referente à introdução. O capítulo 2 abarca a localização e caracterização física da área de estudos, de acordo com os principais autores, o que permitiu obter o conhecimento prévio da área, o qual foi de grande importância para a análise da Carta Geomorfológica e da própria modelagem. O capítulo 3 apresenta uma revisão bibliográfica sobre o tema da erosão, bem como sobre estudos e técnicas de avaliação dos processos erosivos. A leitura desta bibliografia foi fundamental, pois permitiu a inter-relação conceitual entre vários autores, clássicos e recentes, e o estabelecimento da metodologia e da escolha da EUPS como modelo a ser adotado. O capítulo 4 trata do Método e das Técnicas utilizadas neste trabalho, o que permitiu a construção e análise das cartas que foram base para a obtenção dos fatores da EUPS. Os resultados e as discussões pertinentes à área estudada estão presentes no capítulo 5, no qual também estão as correlações entre o modelo adotado e a análise geomorfológica proposta.

## 2. LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

A área de interesse nesta pesquisa, a Bacia Hidrográfica do Córrego da Água Branca, localiza-se na porção Centro-Nordeste do estado de São Paulo (Figura 1), no município de Itirapina (SP), entre as coordenadas 47° 52' 12" e 47° 51' 37" de longitude Oeste e 22° 12' 39" e 22° 16' 08" de latitude Sul, englobando grande parte da Estação Experimental de Itirapina, área destinada à silvicultura por *Pinus*. As altitudes variam de 710 m, próximo à foz do córrego da Água Branca, a 890 m no Morro do Baú.

O Córrego da Água Branca deságua no Ribeirão Itaqueri (Figura 1) e, a partir do encontro das águas deste com o Ribeirão do Feijão (principal fonte de abastecimento da cidade de São Carlos), o curso d' água é denominado de Rio Jacaré-Guaçu, que por sua vez deságua no Rio Tietê na represa de Barra Bonita no município de Ibitinga.

Segundo Eler (2007), a respeito da Bacia do Rio Jacaré-Guaçu:

De acordo com o Decreto Estadual nº 20.960 de 8 de junho de 1983, este local está inserido na Área de Proteção Ambiental (APA) Corumbataí-Botucatu-Tejupá. (...) Esses recursos hídricos, no entanto, têm sido submetidos a fortes impactos ambientais advindos das atividades antrópicas, tornando-se contaminados, assoreados e, conseqüentemente, vulneráveis quanto aos usos múltiplos que oferecem à população da bacia em questão.

A importância da Bacia do Rio Jacaré-Guaçu refere-se ao abastecimento de água das cidades, muitos cursos d'água atravessam áreas de relevos movimentados apresentando corredeiras, saltos e cachoeiras, formadas na travessia da rocha basáltica, mais resistente à erosão. Alguns cursos d'água desta bacia foram em parte aproveitados no passado para a produção de energia hidrelétrica, embora de pequeno porte, ou para o aproveitamento da água represada, para irrigação, abastecimento urbano etc. Há, ainda, um grande número de represas, de diferentes tamanhos, utilizadas pela agricultura.

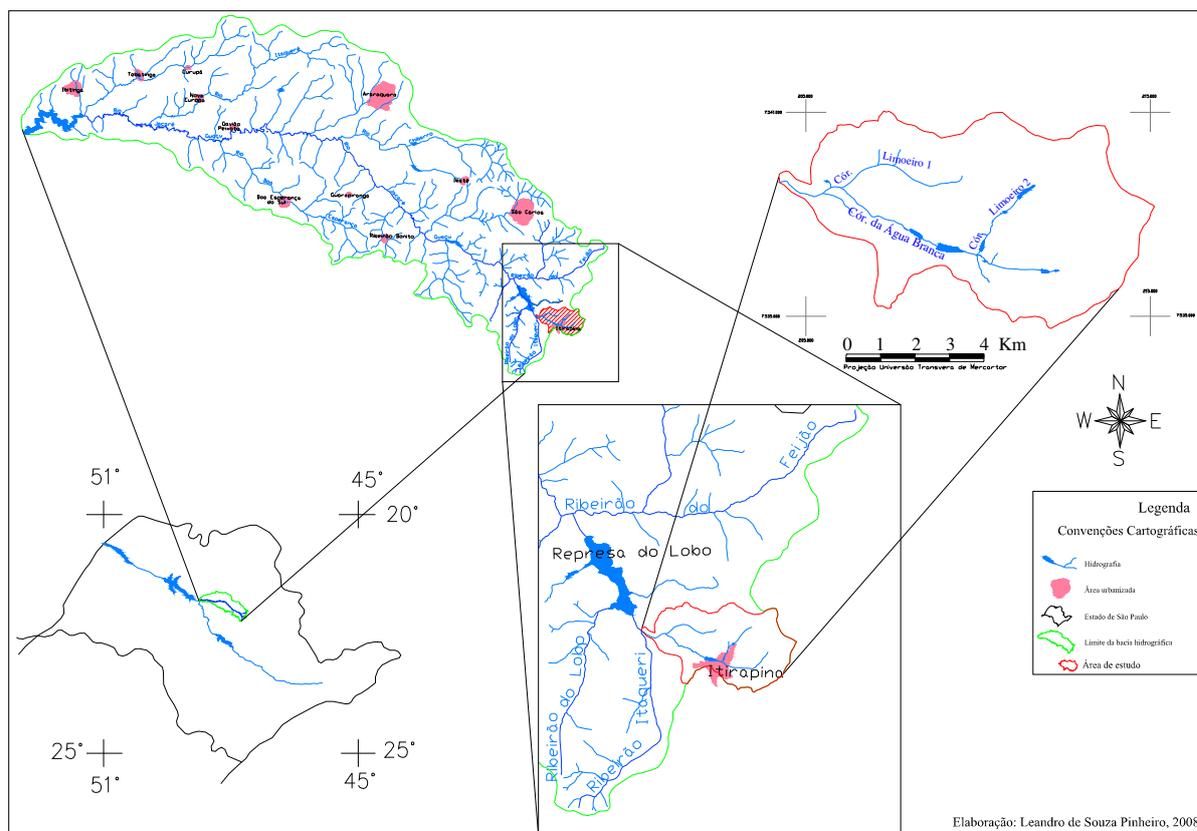


Figura 1. Localização da Bacia Hidrográfica do Córrego da Água Branca

Segundo Zanchetta et al. (2006, p. 6) “as Estações Experimentais estão orientadas ao desenvolvimento florestal desde sua origem, ainda que inclui alguns remanescentes de fisionomias de Cerrado no seu interior”. No caso da Estação Experimental de Itirapina a área foi dedicada ao Plantio de *Pinus* spp no intuito de estimular a pinocultura na região e a pesquisa na área de produção florestal. A Estação Experimental ainda não é reconhecida como Unidade de Conservação no Sistema Nacional de Unidades de Conservação e encontra-se numa área que já era degradada há mais de 60 anos. De acordo com Delgado et al. (2004), a Estação Experimental de Itirapina, com 3.156 ha, foi constituída pela aquisição de diversas glebas de terra em diferentes épocas. Nessas terras objetivou-se a introdução e fomento de essências do gênero *Pinus* spp, desenvolvido pelo então Serviço Florestal (atual Instituto Florestal).

A área da Estação Experimental' é atravessada pelo Córrego da Água Branca, afluente do Ribeirão Itaqueri, que por sua vez tem seu baixo curso próximo à represa do Lobo ou do Broa. A represa do Lobo localiza-se a Noroeste, em área

externa à bacia de estudo (Figura 1), sendo responsável pelo abastecimento hídrico da população de Itirapina.

Quanto ao Córrego da Água branca, seus dois principais afluentes estão mapeados como Córrego do Limoeiro, contudo, para facilitar a descrição e análise da área, optou-se por denominar o curso d' água localizado à jusante de Córrego do Limoeiro 1 e à montante deste de Córrego do Limoeiro 2. Parte do seu médio curso drena a área urbana de Itirapina, porém suas nascentes (exceto o córrego do Limoeiro 1) e alto curso estão localizados em área rural (Figura 2).

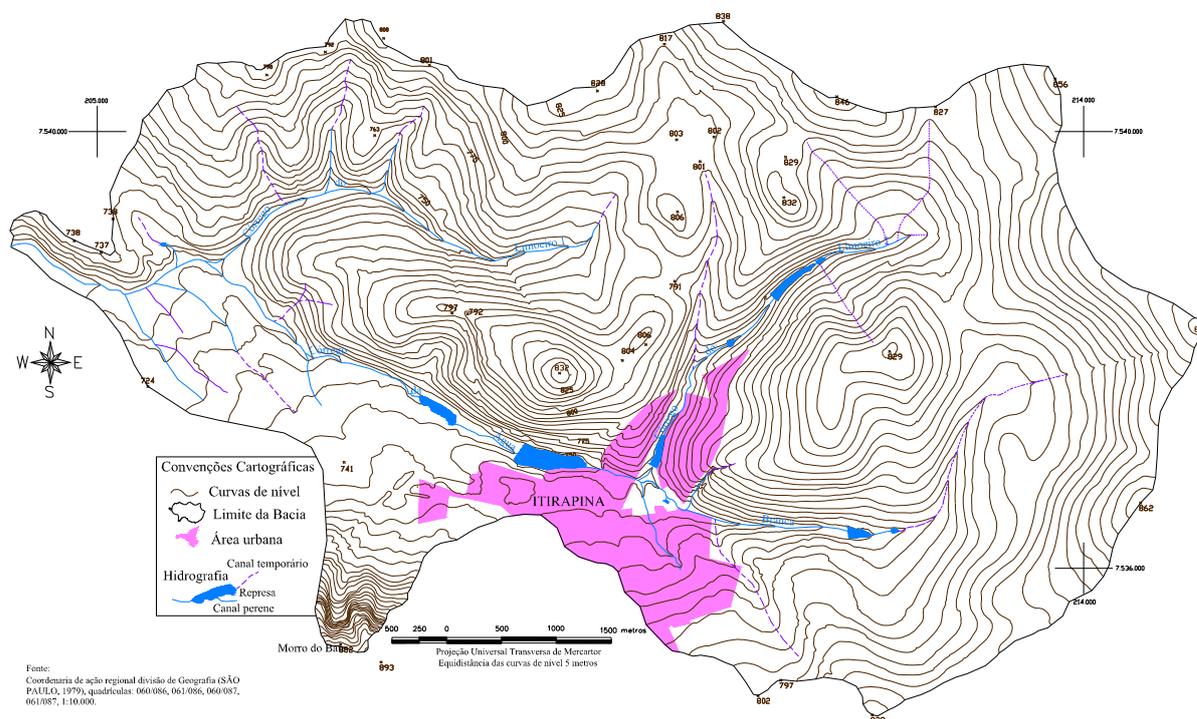


Figura 2 - Topografia da Bacia Hidrográfica do Córrego da Água Branca.

A dinâmica erosiva da área deve-se também às características dos elementos do meio físico desta bacia. Assim, no que concerne a Geomorfologia, Almeida (1974, p. 80), admite a área como reverso da cuesta interna. O autor afirma que a “não concordância altimétrica do nível dos derrames da Serra de Santana e do alto dos morros do Baú e Pelado”, significa que estes dois “são testemunhos de erosão isolados da Serra de Itaqueri, um Planalto da cuesta interna, sendo sustentados pelos derrames do conjunto superior”. Para o autor, a área faz parte do Planalto de Campo Alegre, tratando-se de um patamar intermediário, de relevo muito suave, que separa a Depressão Periférica dos planaltos basálticos vizinhos.

Para Ross e Moroz (1997), a área faz parte da unidade morfoescultural denominada Planalto Centro Ocidental, onde predominam formas de relevo denudacionais, constituindo-se em colinas amplas e baixas com topos convexos e aplanados ou tabulares.

Segundo IPT (1981b, p. 65), “a ação erosiva da drenagem conseqüente do reverso da cuesta fez com que o rio Jacaré-Guaçu passasse a correr sobre sedimentos das Formações Pirambóia e Botucatu, depois de deixar suas cabeceiras instaladas sobre rochas da Formação Serra Geral e do Grupo Bauru”. O autor mantém a denominação de Planalto de Campo Alegre e afirma que o relevo nesta região relaciona-se diretamente com as litologias adjacentes, permitindo o desenvolvimento de colinas amplas sustentadas pelo Arenito Botucatu.

O rio Jacaré-Guaçu (Figura 1) recebe a contribuição de diversos rios subseqüentes que estão ajustados à estrutura geológica do relevo. Regionalmente o padrão de drenagem caracteriza-se, de acordo com Christofolletti (1980), por apresentar um padrão subparalelo, sendo que os rios assemelham-se à disposição geral, mas não possuem a regularidade de uma drenagem paralela, podendo ser confundidos como uma drenagem dendrítica devido à sua configuração nas cabeceiras. Isto se dá pela adaptação estrutural dos canais nos altos cursos e pelo fraturamento das camadas litológicas, condicionando os canais paralelamente no restante do curso. O rio Jacaré-Guaçu, no reverso da cuesta, segue orientação Noroeste, acompanhando a inclinação das camadas, porém, no seu médio curso, a partir da confluência com o rio Chibarro no município de São Carlos, adota a direção Oeste condicionado por uma nova estruturação local do relevo.

Os córregos Água Branca e seu afluente Limoeiro são formados por cursos d'água perenes, longos e pouco ramificados e por pequenos canais temporários. Os vales destes córregos são abertos e formam-se áreas restritas de sedimentação de materiais arenosos recentes que constituem planícies aluviais formadas por terrenos baixos e quase planos localizados na baixa bacia do Córrego da Água Branca. Estas características da drenagem mantêm ampla relação com o substrato geológico da área (Figura 3), formada por arenitos das formações Botucatu e Pirambóia e basaltos da Formação Serra Geral, do Grupo São Bento (IPT, 1981a).

Do ponto de vista geológico se encontram, na área de estudo, formações que foram depositadas na era Mesozóica, que ocorreu entre 230 a 65 milhões de anos b.p.. As Formações Botucatu e Serra Geral datam do Jurássico e ao Cretáceo,

já a Formação Pirambóia está vinculada ao Triássico e ao Jurássico inferior. O Quaternário superior (Holoceno) é representado por sedimentos aluvionares.

O córrego Água Branca corre adaptado a um extenso falhamento, que separa os sedimentos das formações Pirambóia e Botucatu e apresenta um vale marcadamente dissimétrico. A margem direita é mais íngreme e corresponde às encostas das colinas, formadas a partir dos arenitos e do basalto, enquanto a margem esquerda destaca-se como um patamar arenoso. As Formações Botucatu e Pirambóia são de grande importância, pois, o manto pedológico resultante propicia a instalação da vegetação de cerrado, como se constata em diversos lugares da área. O falhamento ao longo do qual escoam o Córrego da Água Branca representa uma área de discordância geológica, o que permite que a Formação Botucatu que aflora no lado esquerdo do córrego faça limite com a Formação Pirambóia, localizada no lado direito. Assim, tanto na alta quanto na baixa bacia prevalece a Formação Botucatu, enquanto a Formação Pirambóia aflora nas áreas dissecadas e nos fundos de vale do bloco soerguido, sob declividades que variam de 6 a 12 %.

A Formação Pirambóia, segundo Oliveira e Prado (1984), fornece, juntamente com a Formação Botucatu, o material de origem de parte do Neossolo quartzarênico, do Latossolo Vermelho-Amarelo e dos Neossolos litólicos existentes na área. Os arenitos da Formação Pirambóia são geralmente de granulação média e fina, com fração argilosa maior na parte inferior do que na superior da formação, onde localmente ocorrem arenitos grossos, conglomeráticos. Possui, predominantemente, estratificação plano-paralela, destacada pela alternância de lâminas com mais ou menos argila e silte, ou ainda estratificação cruzada.

A formação Botucatu recobre a Formação Pirambóia, ocorrendo contato gradual ou brusco entre estas. Ocorrem nesta formação arenitos de granulação fina a média, uniforme e com estratificação cruzada tangencial de médio a grande porte, característica de dunas móveis de desertos. Os terrenos relativos a esta formação ocorrem em extensa área nos setores de topos de interflúvios no bloco soerguido e em toda a área do bloco rebaixado.

De menor expressão areal, porém, com uma importância relevante para a elaboração do relevo, tem-se a Formação Serra Geral, que gera, na área de contato desta com as formações subjacentes, uma nítida ruptura topográfica, fato registrado através da fotointerpretação. Devido à elevada temperatura do magma, ocorreu uma

alteração das propriedades das rochas vizinhas, principalmente dos arenitos, o que criou um aumento na resistência destes através da “cimentação” do material, dando origem a várias rupturas topográficas em função da diferença de resistência dos materiais.

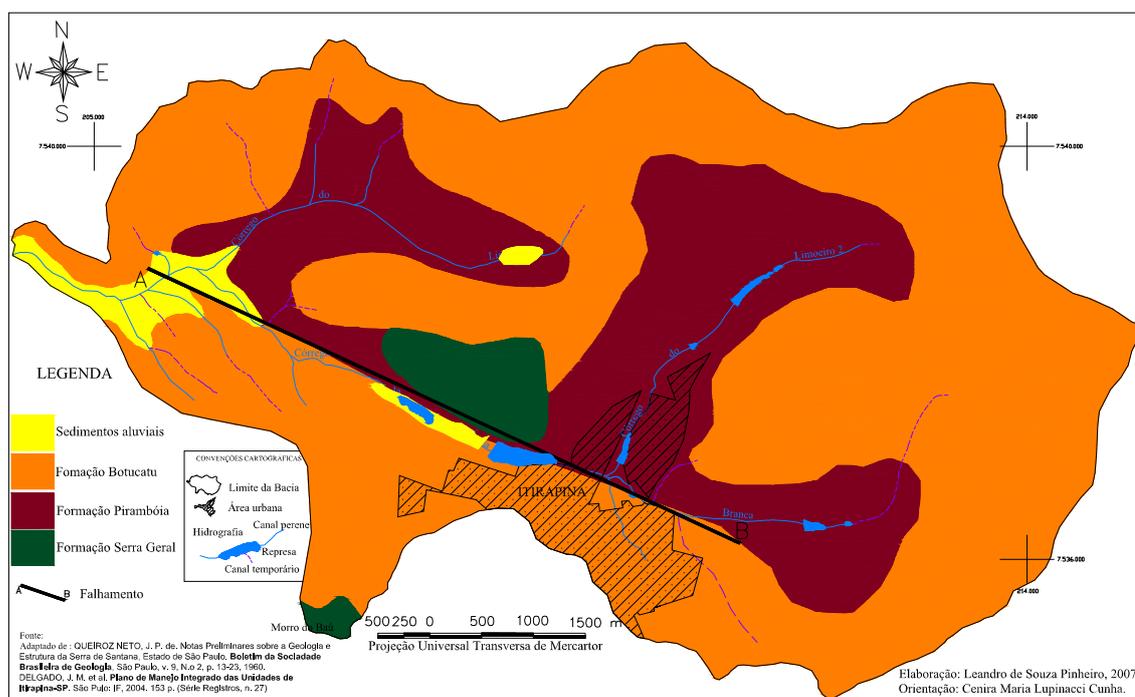


Figura 3 – A Geologia da Bacia Hidrográfica do Córrego da Água Branca.

A Formação Serra Geral compreende um conjunto de derrames de basaltos entre os quais se intercalam os arenitos. Os derrames desta formação são compostos por rochas de cor cinza escura a negra, afaníticas. A existência de intercalações areníticas comprova que o vulcanismo ocorreu durante condições de aridez. Segundo Oliveira e Prado (1984), o intemperismo destas rochas dá origem, na área, ao Latossolo Vermelho que, devido ao substrato básico que o gerou, caracteriza-se pela alta fertilidade.

Sobre as características geológicas relacionadas, desenvolvem-se, segundo Oliveira e Prado (1984), Latossolos Vermelho, Latossolos Vermelho-Amarelo, Neossolos Quartzarênicos e Gleissolos associados a Organossolos (Figura 4). Segundo os autores citados, os Neossolos Quartzarênicos são solos profundos, com seqüência de horizontes A-C, não hidromórficos e fortemente ácidos formados a partir de arenitos da Formação Botucatu. Devido à sua textura arenosa esses solos

apresentam pequena capacidade de retenção de água e nutrientes e alta susceptibilidade à erosão. Os Latossolos Vermelho-Amarelos são encontrados em relevo plano e suave ondulado, com declividades inferiores a 6° e se desenvolvem sobre sedimentos arenosos da Formação Botucatu. De acordo com Queiroz Neto e Christofolletti (1968), estes solos são profundos, bem drenados, ácidos, arenosos e areno-barrentos.

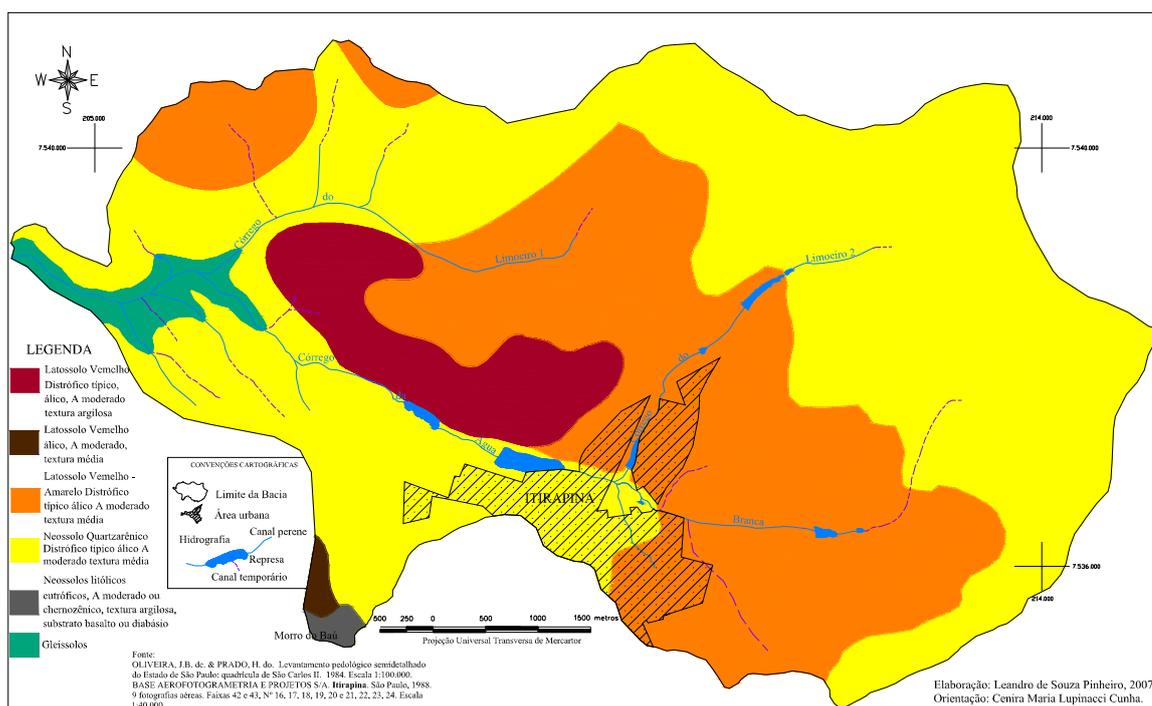


Figura 4 – Os Solos da Bacia do Córrego da Água Branca.

De acordo com Delgado et al. (2004), os Latossolos Vermelhos ocupam pequena porção da Estação Experimental, entre os córregos do Limoeiro e Água Branca. O relevo é, em geral, suave ondulado, com declives superiores a 3°. Segundo Oliveira e Prado (1984), estes solos são férteis, de textura argilosa e resultados da alteração de rochas básicas da Formação Serra Geral.

Os Gleissolos e Organossolos desenvolvem-se sobre Sedimentos Aluvionares, nas “planícies fluviais” formadas por terrenos planos, gerados por processos de agradação e com declividade inferior a 2%. Possuem horizonte glei a menos de 80 cm de profundidade, com cores neutras ou sem mosqueamento proeminente. Estes solos apresentam lençol freático pouco profundo sujeitos a inundações, recalques e assoreamento (DELGADO et al., 2004). Na área de estudo

estes solos formam-se no vale do Córrego da Água Branca, próximo à desembocadura com o Ribeirão Itaqueri.

Estas características pedológicas geram-se também em função das condições climáticas vigentes na área. De acordo com Delgado et al. (2004), segundo o sistema de Köppen, a área está submetida a um clima Cwa, ou seja, mesotérmico úmido de inverno seco. Este clima é caracterizado por apresentar temperaturas mais elevadas no mês de janeiro e temperaturas mais amenas no mês de julho. As chuvas concentram-se de outubro até março (Fig. 6) e o inverno se estende de abril a setembro.

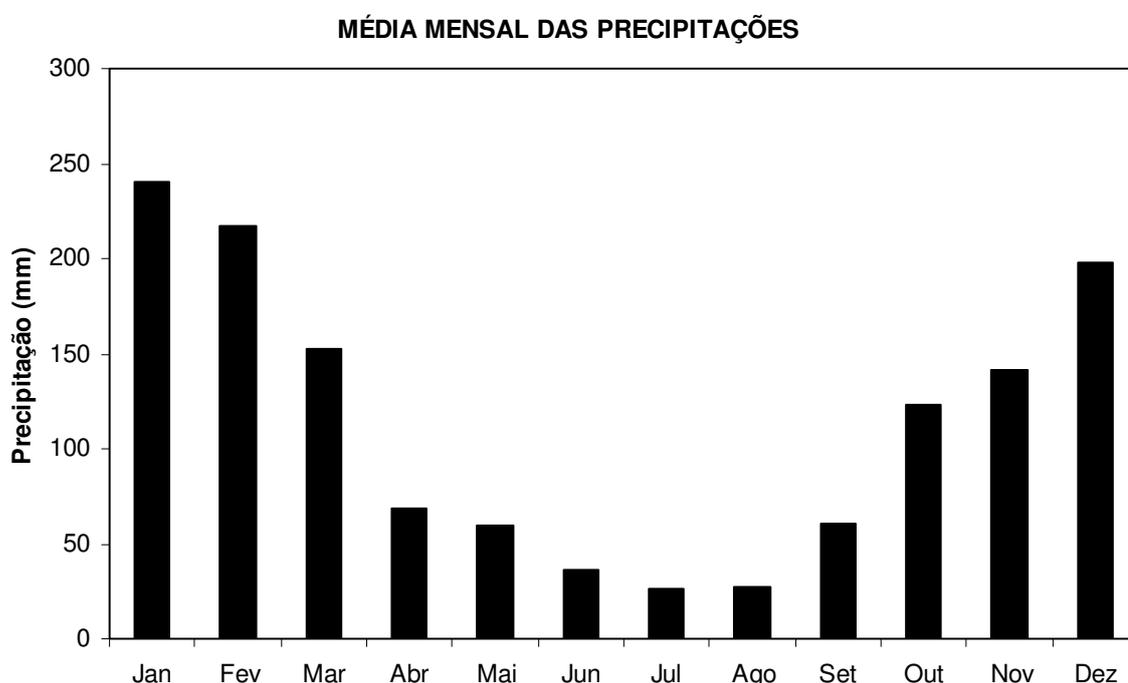


Figura 5 - Pluviograma das médias mensais de Itirapina - SP. Fonte dos dados: CEAPLA, Unesp - Rio Claro. Organização: Leandro de Souza Pinheiro, 2007.

Conforme Monteiro (1973), a área localiza-se na feição climática denominada “Centro-Norte”, que é caracterizada pela existência de um período seco muito nítido, no qual a frequência da chuva diminui no sentido dos paralelos, apresentando participação acentuada da Massa de Ar Tropical Atlântica. Entre São Carlos e Brotas, o autor detecta um ligeiro aumento na quantidade de precipitação.

As características climáticas relatadas, assim como os outros aspectos vinculados ao comportamento dos atributos físicos da área, auxiliam a compreensão dos processos erosivos existentes.

Dessa forma, a caracterização dos elementos do meio físico contribuiu na análise diagnóstica da área tendo em vista que as intervenções antrópicas, em geral, resultam em impactos ambientais. Assim, os dados físicos apresentados permitiram avaliar qualitativamente e reconhecer os setores potencialmente suscetíveis aos processos de erosão resultante da ação do escoamento superficial das águas pluviais.

Convém salientar a importância do Planejamento Ambiental da área, pois, através deste, seria possível, de antemão, prever impactos e desequilíbrios que causariam reflexos no ambiente e na economia. Um manejo adequado da área permitirá menor dinâmica erosiva dos solos, evitando o carreamento de sedimentos para o Ribeirão Itaqueri e maior assoreamento da represa do Lobo ou do Broa. Este represamento das águas é muito importante para o município, pois fornece a água para a população de Itirapina, além de fonte de pesquisas e de entretenimento. É importante, ainda, ressaltar que o processo de assoreamento está ativo a algum tempo na represa como pôde ser observado pela presença de plantas aquáticas nas bordas próximas ao Córrego do Lobo e do Ribeirão Itaqueri e que já estão avançando para o interior da represa. Vale lembrar que estas plantas se estabelecem em áreas de menor profundidade, confirmando uma diminuição da profundidade, fato verificado por Queiroz (2000) ao abordar a questão do assoreamento da represa.

### 3. EROSIÃO: QUESTÕES TEÓRICAS E METODOLÓGICAS

Termier e Termier (1960), ao tratarem o fenômeno da erosão, afirmam que esta é uma característica essencial da evolução superficial da crosta terrestre. Segundo estes autores, a hidrosfera, sob suas diversas formas (mares, rios, chuvas), é a grande responsável pela erosão, onde o principal agente é a água do escoamento superficial. Para os autores, a erosão ocorre sob as ações mecânicas e químicas da hidrosfera (chuva, a água dos escoamentos, as geleiras, o mar, a umidade e a evaporação), da biosfera (vegetais, animais e o homem) e da atmosfera (os ventos e as variações de temperatura).

Estas ações não se limitam apenas aos sistemas úmidos e quentes, o papel mecânico do escoamento pluvial é particularmente importante nas rochas ao longo das vertentes e atinge proporções consideráveis nas regiões quentes e secas, onde as chuvas caem com violência após longos períodos de seca.

Um fenômeno de grande importância também é a erosão eólica, na qual a eficácia abrasiva do vento deve-se principalmente à carga de areia e detritos no ar. Mas, o papel mais importante do vento é na erosão dos solos férteis, causando a ansiedade dos governos, sobretudo nas áreas de solo descoberto ou com baixa densidade de vegetação, como nos países do oriente médio. A influência do vento não é restrita às regiões áridas quentes, as zonas periglaciais ricas em materiais detríticos oferecem fenômenos comparáveis aos dos desertos quentes. Ressalta-se também o papel da biosfera como as bactérias e os vegetais, os quais assimilam os sais inorgânicos, apoiando-se no substrato, atacando mecânica e quimicamente as rochas. Esses agentes, ao mesmo tempo que promovem a desagregação das rochas, oferecem a proteção contra outros agentes de erosão. (TERMIER; TERMIER, 1960)

Termier e Termier (1960) afirmam que nos sistemas frios e úmidos, as geleiras aportam para o mar uma quantidade muito importante de sedimentos detríticos glaciais. Mercier (1998) estudou o trabalho de erosão das morâinas em uma ilha no Pólo Norte, próxima à ilha de Groenlândia. O autor observou um fenômeno chamado “gelifracção”, onde os fluxos glaciais aportam elementos granítico-gnáissicos de séries pré-cambrianas que se depositam nos vales glaciais das baixas bacias. A “gelidivisão” opera nos “pontos de fraqueza” das rochas, presentes na estratificação dos calcários e nas “juntas” de sedimentação dos

conglomerados. Esta ação é de grande importância, pois prepara o material para a dinâmica do escoamento ou dos fluxos glaciais que terão competência suficiente para exportar os sedimentos até o nível de base.

O escoamento é, mesmo em um sistema frio e úmido, o principal processo de erosão que remobiliza os sedimentos morânicos, após o seu abandono pelas geleiras (gelifracção), visto que há todo um contexto glácio-climático que é favorável à sua dinâmica. Observa-se um verdadeiro intermédio espaço-temporal dos processos em áreas polares em via de gelifracção. A gelifracção e o desprendimento preparam os sedimentos de todos os calibres que os glaciais transportam. É o escoamento que faz o intermédio no tempo e no espaço para tornar-se um dos principais, senão o principal motor de erosão nas zonas periglaciais (MERCIER, 1998).

Derruau (1988), ao se referir às regiões polares, afirma que a erosão nas regiões polares se dá por “abrasão”, quando a geleira flui sobre a superfície, e “arranque”, quando a água penetra as diáclases das rochas e ao se expandir exerce uma força mecânica como uma “alavanca”. Este autor denomina de paisagem Polar a área onde predominam as neves eternas, nas quais não há o degelo e, dessa forma, sem o escoamento superficial líquido da água.

Para Rougerie (1971), nas regiões circumpolares a elaboração das paisagens se dá por ações mecânicas; estas aliam a fragmentação sob efeitos combinados do gelo e do degelo.

A água em todas as suas formas possui uma grande importância na elaboração das paisagens, através da erosão. Desta forma, Guerra (2005) afirma que o processo erosivo causado pela água tem abrangência mundial, mas, predomina nas áreas de clima tropical, onde os totais pluviométricos são mais elevados. Além disso, em diversas dessas áreas as chuvas concentram-se em certos períodos, agravando a erosão. Dessa forma, prevalecendo, no clima tropical, elevadas temperaturas, conseqüente evaporação e grande precipitação pluvial, a água é o principal agente para a realização do trabalho de incisão no solo.

A erosão do solo não deve ser compreendida como um processo geomorfológico apenas, mas como um importante componente no conjunto do geocossistema da paisagem (LESER et al. 2002).

A erosão hídrica do solo em áreas cultivadas é considerada como um grave problema ambiental no mundo e se agrava à medida que a ocupação antrópica intensifica-se. De acordo com Asadi et. al. (2006, p. 1, tradução nossa):

A erosão do solo por chuva inclui a desagregação, transporte e deposição de partículas de solo pelo impacto da gota de água e pelo escoamento superficial gerado pela chuva. A desagregação e o transporte das partículas do solo são funções das forças erosivas do impacto da gota de água e do escoamento e sua interação, e, desta maneira, os processos são afetados pelo solo e pelo fator de cobertura.

Para Bertoni e Lombardi Neto (2005, p. 68), “erosão é o processo de desprendimento e arraste acelerado das partículas do solo causado pela água e pelo vento”, a “realização de uma quantidade de trabalho no desprendimento do material de solo e no seu transporte” (p. 70).

Bigarella (2003), citado por Costa (2004), define erosão como sendo um processo ligado ao desgaste da superfície do terreno com a retirada e transporte dos grãos minerais.

Papy (1992), ao estudar o escoamento superficial em solos cobertos por vinhedos na Europa, afirma que os sistemas de erosão resultam de dois processos de desagregação:

- ✓ Devido ao impacto da gota de chuva, seguido por um movimento de massa;
- ✓ Devido à incisão do solo, quando a velocidade do escoamento superficial ultrapassa um valor crítico; esta erosão linear se manifesta sob duas formas:
  - ✓ Em sulcos ou ravinas paralelas, com intervalos regulares de ordem de grandeza métrica e manifesta-se sobre vertentes com declives superiores a 5%;
  - ✓ O sulco ou ravina unicamente apresenta-se como depressões lineares, mais freqüentemente como talvegues secos. Nesta forma de erosão, a zona de coleta da água é distinta do lugar de incisão. Quando a morfologia favorece a concentração do escoamento e a textura do solo é sensível, a velocidade do escoamento pode atingir as vertentes mais suaves (de ordem de 2%) provocando a incisão.

De acordo com Christofolletti (1980), a erosão dos solos ocorre quando as forças de remoção, arraste e transporte são superiores às forças de resistência e acontece na seguinte seqüência:

1. remoção individual das partículas;
2. transporte erosivo;
3. deposição das partículas.

Singer et al. (1981), citado por Asadi et al. (2006), descobriu que uma área atingida pelas gotas de chuva sofre duas vezes mais erosão depois com o escoamento superficial do que apenas com o escoamento superficial. Outros pesquisadores como Mutchler e Hansen (1970) e Moss e Green (1983), citados por Asadi et al. (2006), afirmam que tanto a desagregação quanto o transporte de partículas de solo são muito afetados pela intensidade do escoamento de água.

Wischmeier (1962) afirma que a capacidade de uma chuva provocar erosão depende da intensidade e da quantidade da chuva. Uma longa chuva de baixa intensidade, apesar da grande quantidade de água precipitada, pode ter baixo risco de erosão. Uma menor quantidade de chuva com uma alta intensidade pode causar sérias erosões. No entanto, a intensidade da precipitação pode variar muito durante o período de uma chuva.

Bertoni e Lombardi Neto (2005, p. 70) afirmam que “a capacidade de uma massa de água caindo depende da energia por unidade de área da gota individual”. Para os autores (p. 71), “a ação de compactação das gotas de chuva causa ao solo, rapidamente, a perda de sua capacidade de infiltrar água; isso é responsável pelo grande volume de enxurrada durante as chuvas mais intensas”. Porém, esses autores afirmam ser a intensidade da chuva o fator mais importante; para estes quanto maior a intensidade, maior a perda por erosão.

De acordo com Tavares e Vitte (1993), as gotas cavam e fazem saltar as partículas da terra, que, quando retornam, são transportadas pela água corrente. Segundo Wischmeier (1962), o movimento do solo requer energia e muito da energia para causar a erosão vem do impacto da gota de chuva.

Para Lal (2001), a erosão do solo envolve o trabalho direto de três estágios de processos: desagregação, transporte e deposição. A energia para o trabalho é fornecida pelos agentes de erosão, a fonte da energia determina o tipo do processo de erosão. As principais fontes dessa energia são: físicas como a água e o vento, gravidade, reações químicas e perturbações antropogênicas como a

agricultura. Segundo este autor, a erosão do solo exacerba a degradação do solo, e vice-versa. Por sua vez, a degradação do solo é um processo biofísico que é exacerbado por fatores sócio-econômicos e políticos. Desse modo, são três os principais processos que degradam o solo: físicos, químicos e biológicos (Figura 6).

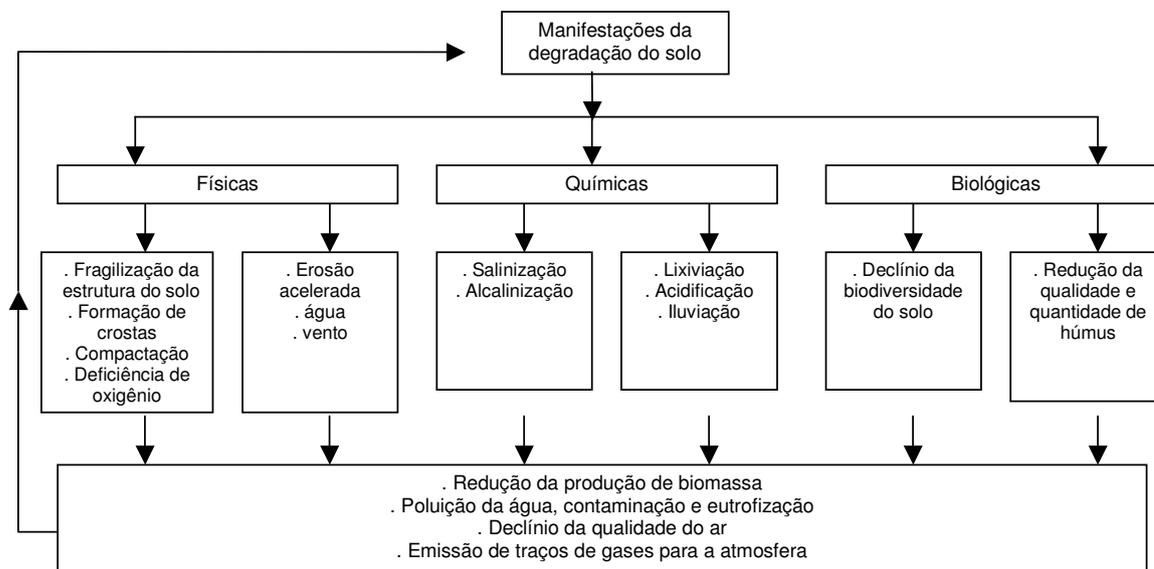


Figura 6 – Manifestações da degradação do solo. Fonte: Lal, 2001.

Veyret e Wicherek (1992), analisando os riscos de erosão, afirmam que devem ser observados os seguintes fatores:

- ✓ Aleatórios:
  - ✓ fatores antrópicos, tipos de culturas, práticas culturais e mecanização.
  - ✓ fatores climáticos, intensidade da chuva e duração.
- ✓ Permanentes:
  - ✓ fatores morfopedológicos, integração da morfologia e da pedologia da área. Neste caso é necessário levar em conta a complexidade quanto à sua forma de origem, sua estrutura e sua dinâmica de evolução.

Os processos físicos envolvem a alteração da estrutura do solo direcionando para um aumento na densidade, decréscimo na macroporosidade reduzindo a infiltração, aumentando o escoamento, agravando a erosão por água e vento (LAL, 2001).

A quantidade de solo erodido no campo depende em grande escala do tipo e do tempo de ocorrência de uma chuva, bem como da cobertura vegetal que protege o solo (WISCHMEIER, 1962).

Além disso, de acordo com Silva e Alvares (2005, p. 34):

As propriedades físicas exercem diferentes influências na resistência do solo contra a erosão, principalmente a estrutura, que é o modo como se arranjam as partículas, a textura, que compreende o agrupamento das partículas em classes conforme o tamanho, a taxa de infiltração, a permeabilidade, a densidade e a porosidade (SILVA et al., 2003), sendo a capacidade de infiltração e a estabilidade estrutural, as características físicas mais expressivas e que estão intimamente relacionadas com a erodibilidade (BRADY; WEIL, 2002).

Quanto às características químicas, o conteúdo de matéria orgânica é o mais importante, porém sua relação é mais significativa para solos de textura mais arenosa (WISCHMEIER; MANNERING, 1969; ANGULO et al., 1984).

Para Lombardi Neto e Bertoni (1975, p. 1):

A erodibilidade do solo é influenciada pelas suas características físicas, principalmente aquelas que afetam a capacidade de infiltração e permeabilidade do solo e sua capacidade de resistir ao desprendimento e transporte pela chuva e enxurrada.

De acordo com Guerra (1994), a concentração parcial do escoamento superficial forma “pequenos filetes d’ água” abrindo sulcos ou regos e dando origem a um pequeno ravinamento na superfície do solo e das rochas decompostas. O sulco erosivo, segundo Bertoni e Lombardi Neto (2005, p. 77), é a corrosão e “estriamento” da superfície do solo, o qual “resulta de pequenas irregularidades 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”.

O sulco de erosão ocorre quando o solo encontra-se sem a proteção da cobertura vegetal e agrava-se como o aumento da declividade e da extensão da vertente (PINHEIRO; CUNHA, 2006).

Bryan (1987) e Foster (1986), citados por De Santisteban; Casali e López (2006), utilizam o termo riachos de erosão ou canais efêmeros de erosão que consistem no desenvolvimento de numerosos canais espaçados resultantes da remoção irregular da superfície do solo pelo escoamento concentrado de água com

fluxo e velocidade para gerar um poder incisivo. Este termo corresponde ao sulco erosivo ou sulco de erosão.

De acordo com De Santisteban; Casalí e López (2006), um estudo foi conduzido por Casali et al. (1999) para descrever os diferentes tipos de canais efêmeros de erosão e descrever sua origem, evolução e a importância como fonte de sedimentos em vários represamentos em Navarre na Espanha. Os autores identificaram três principais tipos, de acordo com sua origem:

- ✓ canais efêmeros clássicos formados com o início do escoamento superficial;
- ✓ canais efêmeros de drenagem que recebem o escoamento de outra área à montante;
- ✓ canais efêmeros descontínuos, devido a algumas mudanças abruptas de declives na paisagem.

Ainda segundo De Santisteban; Casalí e López (2006), as práticas agrícolas convencionais acionam as ocorrências lineares, porém a manutenção da cobertura vegetal evita completamente esta formação. Os autores supracitados identificaram períodos críticos para as formações lineares, que seria na última semana do outono em Navarre (Espanha).

Segundo Foster (1986) e Thorne *et al.* (1986), citados por De Santisteban; Casalí e López (2006), canais efêmeros de erosão são canais de vários tamanhos formados pela corrente de água oriunda do escoamento superficial concentrado em solos erodidos durante eventos de chuva.

O escoamento da água na superfície é o maior agente de transporte das partículas de solo. A quantidade de força gerada pela enxurrada é relacionada com a concentração e velocidade com que ela se move morro abaixo. A água que escorre ganha energia pelo aumento de massa no seu movimento morro abaixo ou pelo aumento de velocidade que adquire por rápida mudança na declividade do terreno. A erosão é máxima quando a enxurrada contém quantidade suficiente de material abrasivo para desprender a maior quantidade possível que a enxurrada seja capaz de transportar. A energia da enxurrada é uma função da massa e da velocidade de escoamento da água; a massa é determinada pela quantidade e qualidade da enxurrada (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2005, p. 71).

A textura do solo é outra propriedade relacionada à erosão. Solos argilosos são mais resistentes à ação exercida pela chuva e ao escoamento

superficial, como decorrência das forças coesivas existentes entre os grãos de argila (TAVARES; VITTE, 1993). No entanto, de acordo com os autores citados, como os solos argilosos são mais impermeáveis que os arenosos, estes propiciam o aumento do escoamento superficial, incrementando a erosão. Conseqüentemente pode haver grande remoção da terra, como decorrência do volume de água.

De acordo com esses autores, entre os solos arenosos são mais susceptíveis aqueles dotados de clásticos mais finos, pois, tais sedimentos uma vez deslocados pelo salpicar das gotas de chuva, são facilmente transportados pelo escoamento, ainda que a velocidade do processo seja extremamente lenta.

Wischmeier; Johnson e Cross (1971) afirmam que a distribuição do tamanho das partículas surge como o maior determinante da suscetibilidade dos solos à erosão. Em geral, a erodibilidade dos solos tende a aumentar com o grande teor de silte e decresce com o teor de areia, argila e conteúdo de matéria orgânica. Porém, a relação de erodibilidade para dada porcentagem de silte e de argila depende consideravelmente da distribuição dos tamanhos de partículas que permanecem na massa do solo. Depende, portanto, da associação da razão areia/argila e os parâmetros aos quais as propriedades são combinadas no solo, determinando a velocidade da infiltração e a capacidade de armazenamento da água.

Para Tavares e Vitte (1993), à medida que o teor de matéria orgânica diminui com os anos de cultivo, a coesão dos agregados torna-se frágil e estes são facilmente desmantelados. “Isto também é uma das razões porque os solos recém-desbravados resistem à erosão durante três ou quatro anos” (NOLLA, p. 117 citado por TAVARES; VITTE, 1993).

A concepção adotada neste trabalho concorda com Bigarella (2003), citado por Costa (2004), que define erosão como sendo um processo que está ligado ao desgaste da superfície do terreno com a retirada e transporte dos grãos minerais. Embora vários autores também incluam a deposição como parte do processo erosivo, como foi discutido anteriormente, adota-se neste trabalho a visão de que o processo de deposição ocorre após o processo de erosão, não há deposição sem antes haver erosão.

Assim, compreende-se que o processo de erosão hídrica tem início com a desagregação das partículas de solo pela gota de água (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2005; TAVARES; VITTE, 1993; ASADI et al., 2006; PAPY, 1992); em seguida

ocorre, quando o solo está saturado ou pouco permeável, o escoamento superficial com poder de transporte e incisão; esse escoamento é variável de acordo com a intensidade do fluxo. Optou-se então, por partir da premissa de que os tipos de erosão superficial derivam basicamente de dois processos:

- ✓ Laminar - intensificada pela ação do escoamento superficial de água, quando este tem energia suficiente para propiciar o arraste das partículas liberadas como um todo, transportando-as sem formar canais definidos;
- ✓ Linear - ocorre por concentração de fluxos d' água em caminhos preferenciais, arrastando as partículas e esculpindo sulcos erosivos, podendo formar ravinas, com alguns metros de profundidade e voçorocas, quando o entalhamento da ravina permite o afloramento do lençol freático.

Um tipo de erosão que pode passar despercebida pelo homem é a laminar, pois ocorre de maneira superficial, não formando feições vinculadas a processos erosivos lineares e causa muitos transtornos devido ao empobrecimento do solo com a perda de nutrientes como nitrogênio e fósforo (TAVARES; VITTE, 1993). Apesar da difícil percepção, esta pode ser observada pela exposição das raízes de culturas perenes (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2005). Os fenômenos lineares de erosão são de percepção mais fácil, o ravinamento e o voçorocamento são as feições mais flagrantes desse tipo de erosão.

No sentido então de conhecer, prevenir ou controlar os fenômenos erosivos, as pesquisas sobre a erosão do solo pela ação das águas pluviais, que constitui um grave problema particularmente nas áreas agrícolas, tornam-se de extrema importância. A análise integrada das relações entre solo, relevo, clima, vegetação, uso e ocupação das terras é essencial para a compreensão dos fenômenos erosivos. Neste intuito surgiram diversas pesquisas visando quantificar e estimar as perdas de solo, as quais serão discutidas a seguir.

### **3.1. Estudos Empíricos e Modelos como Suporte à Análise da Erosão dos Solos**

Existem diversos estudos que abordam este assunto com destaque para os estudos empíricos ou indutivos que permitem quantificar a perda de solo em determinado lugar; trata-se de estudos experimentais que visam monitorar o fenômeno, quantificando-o. Por outro lado, os estudos dedutivos envolvem os modelos

preditivos de erosão e perdas de solo, podendo contribuir com o planejamento territorial, pois permitem antever o problema, ainda que os dados sejam estimativos.

o empirismo tem por origem a procura de superação da especulação teórica. No lugar dela, coloca-se a observação empírica, o teste experimental, a mensuração quantitativa como critérios do que seria ou não científico (DEMO, 1985, p. 102).

Segundo o autor citado, o método básico do empirismo é descrito como o da indução, que significa aceitar a generalização somente após ter constatado os casos concretos. Para este autor não se podem subestimar os méritos do empirismo, pois este rompeu com a ciência meramente filosofante.

Para Demo (1985, p. 102), existe o método contrário chamado de “dedução, que parte da aceitação como ponto de partida de um enunciado geral, e depois a contraposição dos casos particulares”. Segundo o autor supracitado (p. 102), “a objeção que a indução faz à dedução é de ser apriorística. (...) Se a generalização está em primeiro lugar, a contraposição de casos particulares não traz nenhuma novidade”. Para este autor, o empirismo é, no entanto, mais simplório porque acredita no observável, o que o torna inevitavelmente superficial.

Desta forma, o método indutivo é, de fato, muito eficiente, mas, há uma limitação prática e lógica, pois este não permite a extensão da pesquisa para a dedução e para a previsão. No entanto, é muito importante a reprodução das condições em laboratório, pois permite uma análise menos dispendiosa e com rigor científico. A dedução deve aproveitar-se dos avanços científicos confirmados *a posteriori* pelo empirismo para contribuir na análise *a priori* dos fenômenos. Deve haver um mutualismo científico entre os métodos indutivo e dedutivo.

Ao se referir aos modelos de erosão, Baccaro (2005, p. 210) afirma que:

Esses modelos precisam ser testados e quase sempre sofrer adaptações para serem aplicados no meio tropical. O ideal, em se tratando de metodologia, é testar os modelos teóricos e ao mesmo tempo promover os estudos experimentais, a fim de se ter a veracidade dos resultados.

Vários autores trabalharam no sentido de quantificar, mapear e monitorar as ocorrências erosivas. Uma técnica antiga e ainda muito utilizada é a proposta por De Ploey e Gabriels (1980), citados por Guerra (2005, p. 34), que consiste em:

escolher uma encosta (de preferência sem cobertura vegetal) e cravar no solo os pinos numerados (que podem ser de vergalhão ou pregos). Tudo deve ser plotado num diagrama,

para se saber exatamente a sua distribuição espacial. O monitoramento dos pinos de erosão consiste em voltar à área de estudo (de preferência após cada evento chuvoso significativo) e medir o quanto o pino está ficando exposto em relação ao solo (as medidas podem ser feitas em milímetros). Esses pinos devem estar enterrados no solo a 10 centímetros ou mais, de preferência em encostas onde não haja passagem de animais e pessoas, ou então, a área deve ser cercada para que não haja nenhum tipo de perturbação. Após um tempo determinado (um ou dois anos, por exemplo), é possível verificar a taxa de rebaixamento do solo pelos pinos instalados e monitorados (pelo menos uns 50 pinos numa porção da encosta é aconselhável). Além do rebaixamento, se a densidade aparente do solo for determinada, é possível estimar com um razoável grau de precisão a perda de solo, em toneladas por hectare.

De Santisteban; Casali e López (2006) utilizaram 50 pinos de aço espaçados entre si em 20 mm colocados perpendicularmente ao eixo longitudinal do sulco erosivo. A configuração do pino, e assim a geometria do canal, foi fotografada e a altura do pino digitalizada diretamente dessas fotografias, obtendo finalmente o cruzamento seccional da área. O volume do solo erodido foi calculado para cada ravina ou sulco erosivo ( $i$ ), correspondente às áreas do cruzamento seccional  $A_{i-1}$  e  $A_i$ , espaçadas em metros ( $s_i$ ). A distância ( $s_i$ ) foi mensurada com uma trena. Deste modo, o volume de solo erodido para cada ravina ou sulco erosivo foi calculado através da fórmula:

$$V = \sum_{i=1}^n V_i = \sum_{i=1}^n \frac{A_{i-1} + A_i}{2} s_i$$

A massa de solo erodido foi calculada a partir do volume estimado após ser determinada a densidade. No total 632 cruzamentos seccionais foram descritos com precisão e a informação de 31.600 pinos foi processada. As erosões tinham em média a distância 16,3 m, mas as ravinas eram altamente irregulares, sendo a menor distância de 2,1 m. A extensão total dos fenômenos foi 7112 m, sendo 3346 m de sulcos e 3766 m de ravinas, que foram precisamente caracterizados.

Já Cruz (2001), citado por Cruz; Nasser e Netto (2004), realizou um monitoramento hidrológico e erosivo conduzido em 4 parcelas de escoamento superficial instaladas medindo 3x1m (Figura 7) e constituídas por chapas galvanizadas e uma calha coletora, conhecida como *Gerlach Trough* (calha de Gerlach) limitando uma parcela da superfície na qual todo o escoamento superficial foi drenado.

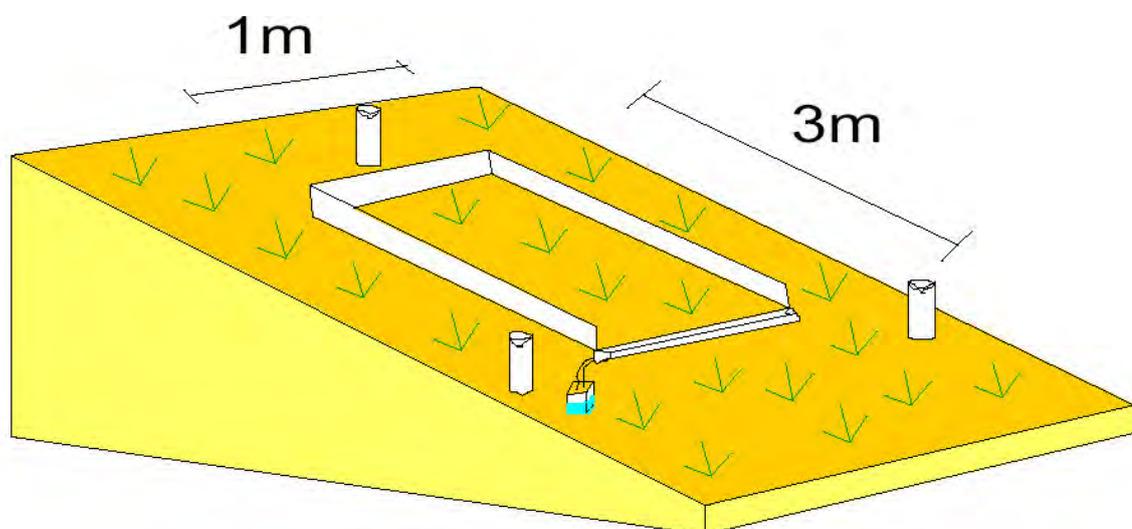


Figura 7 – Desenho esquemático da parcela de escoamento usado nos experimentos. Fonte: Cruz; Nasser e Netto (2004).

De acordo com os autores (p. 5) o método não foi dispendioso:

Ao redor de cada uma das parcelas foram posicionados 3 pluviômetros simples feitos com garrafas do tipo PET, a fim de se medir a precipitação terminal, ou seja, aquela que atinge o topo do solo. Todas as parcelas foram instaladas em declividades entre  $35^\circ$  e  $45^\circ$ . A parcela 1 foi instalada no domínio de sulcos erosivos no dígito menor da cicatriz, a parcela 2 foi instalada na borda florestal (que presumidamente sofre o efeito de borda), e as parcela 3 e 4 foram instaladas no domínio de inter-ravinas, sendo que a parcela 3 se encontra em uma área de revegetação espontânea e a parcela 4 em uma área de revegetação induzida.

Estes autores fizeram uma análise das correlações entre os parâmetros hidro-erosivos e a precipitação terminal. Foram mensurados os dados de 22 eventos e feita a correlação em separado para eventos de diferentes durações (1 dia, 2 e 3 dias e eventos de mais de 3 dias). Do total de 22 eventos, 10 tiveram 1 dia de duração, sete tiveram 2 ou 3 dias de duração e 5 eventos duraram mais que 3 dias.

Dessa forma estes autores constataram que:

Para a variável dependente escoamento superficial (a vazão total coletada pelo galão), não foi encontrado valores significativos de correlação utilizando-se todos os eventos. Quando os eventos são classificados por seu tempo de duração, foram encontradas correlações razoáveis nas áreas de revegetação espontânea e reduzida nos eventos de 1 dia de duração ( $R^2=0,64$  e  $0,76$ , respectivamente). Nas parcelas 1 e 2 não foram encontradas boas correlações para os eventos 1 dia, assim como não foram encontradas boas correlações para

nenhuma das parcelas nos eventos de mais de 1 dia de duração. Estes dados diferem dos de Cruz (2001), que havia encontrado bons valores de correlação nas parcelas 1 e 2, enquanto que na parcela 3 a correlação encontrada foi equivalente. Mostram também que, assim como já haviam apontado Rocha Leão (1997) e Cruz (op. cit.), outras variáveis como a umidade antecedente, a intensidade da chuva, o tipo de cobertura vegetal e de substrato pedológico, têm um papel mais importante que o total pluviométrico na geração de escoamento superficial.

Quanto à concentração de sedimentos e a carga total produzida por evento, não foi encontrada nenhuma correlação razoável com o total pluviométrico, tanto na análise conjunta das 22 mensurações quanto na análise de divisão dos eventos por tempo de duração. Uma tendência observada é que a concentração de sedimentos decresce com o aumento do total pluviométrico e conseqüentemente, é menor nos eventos que tem duração mais longa, e atinge os maiores níveis de concentração nos eventos de 1 dia. Isto pode indicar que após uma atividade erosiva intensa no primeiro dia de precipitação, ocorre uma redução nesta dinâmica, possivelmente devido à mudanças nas condições de umidade e de compactação do topo do solo. Cruz (op. cit.) já havia notado que após longos períodos de estiagem, o primeiro evento de chuva produzia altas taxas de erosão, que tenderiam a ser diminuída com o aumento no teor de umidade do solo. (CRUZ; NASSER e NETTO, 2004, p. 7).

A Figura 8 mostra a concentração de sedimentos relacionada aos eventos de chuva, enquanto que a Tabela 1 mostra as médias de vazão, concentração e carga de sedimentos para os eventos na pesquisa supracitada.

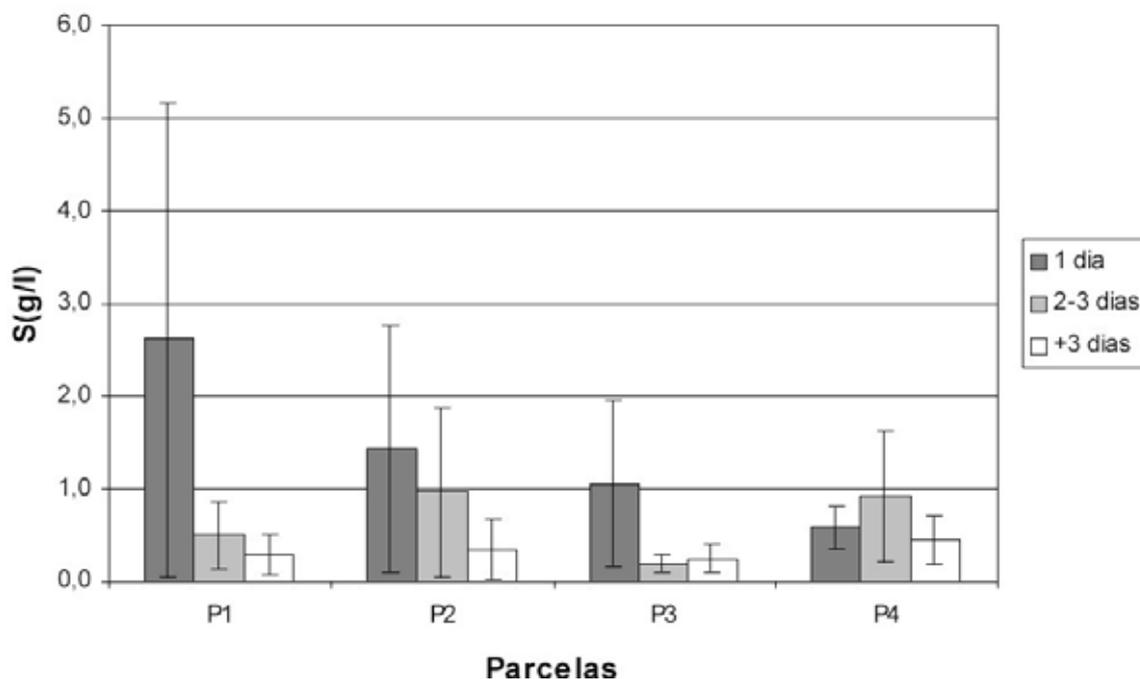


Figura 8 – Concentração de sedimentos e desvio médio. Fonte: Cruz; Nasser e Netto (2004).

Tabela 1 – Médias de vazão, concentração e carga total de sedimentos para os 22 eventos mensurados. Fonte: Cruz; Nasser e Netto (2004)

PARCELAS	VAZÃO (L)		CONCENTRAÇÃO DE SEDIMENTOS (G/L)		CARGA TOTAL DE SEDIMENTOS (G)	
	média	DM*	média	DM*	Média	DM*
P1	3,7	3,2	1,2	1,3	3,6	5,0
P2	2,1	2,3	1,0	1,0	1,4	1,2
P3	5,1	3,5	0,6	0,6	3,3	4,5
P4	4,3	3,6	0,6	0,4	2,8	2,6

\* Neste estudo os autores utilizaram como medida de dispersão dos valores em relação às médias o desvio médio (DM), pois os eventos de chuva mensurados foram de natureza muito diversa (diferentes estações do ano, diferentes durações e intensidades), gerando dados e um desvio padrão elevado. O desvio médio homogeneiza a dispersão, gerando valores mais próximos à média do que o desvio padrão.

Para quantificar a ação erosiva do escoamento superficial Xavier; Dornellas e Albuquerque (2006) instalaram duas parcelas de escoamento em uma declividade de 7° e com dois diferentes tipos de uso do solo no estado de Alagoas. Uma parcela com o cultivo de mandioca, sem nenhuma limpeza para retirada do

capim e com a cobertura morta produzida pela própria vegetação, e na outra parcela o solo inicialmente desnudo, em situação de total abandono. Cada parcela com 10 m de comprimento por 1 m de largura. Para analisar a influência da capacidade de infiltração de um solo no volume do escoamento superficial, foi determinada a taxa de infiltração no topo do solo, com o uso de um infiltrômetro de PVC. Foram realizadas duas baterias de ensaios, uma na estação chuvosa e outra na estação seca.

A análise realizada pelos autores no solo sob pastagem, durante o período chuvoso, mostrou uma baixa taxa de infiltração no solo, tanto em quantidade total ao final de 30 minutos quanto em velocidade de infiltração (Figura 9).

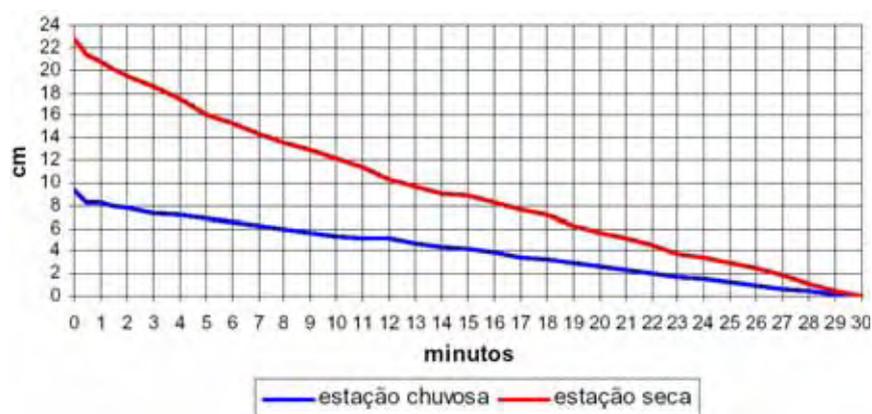


Figura 9 – Taxa de infiltração no topo do solo nas estações seca e chuvosa. Fonte: Xavier; Dornellas e Albuquerque (2006).

Como causa para tal fato os autores destacaram a alta taxa de umidade dos solos, diminuindo a ação das forças capilar e gravitacional. Entretanto, durante o período seco houve um aumento inversamente proporcional na taxa de infiltração. Os resultados desta pesquisa referentes ao escoamento superficial estão na Tabela 2.

Tabela 2 – Quantidade de chuva, escoamento superficial e solo erodido de duas parcelas experimentais durante período de 04 de setembro de 2005 a 15 de maio de 2006. Fonte: Xavier; Dornellas e Albuquerque (2006).

Data da mensuração	Chuva acumulada (mm)	Maior chuva (mm)	Escoamento superficial (litros)		Solo erodido (gramas)	
			Solo exposto	mandioca	Solo exposto	mandioca
13/09/2005	27,8	21,7	0,95	0,945	8,9	6,5
06/12/2005	67	39,6	2,403	2,24	13,3	4,68
23/03/2006	41,6	11,8	1,3	0,7	135,44	7,14
11/04/2006	30,2	12,9	7,86	0,88	243,9	10,12
15/04/2006	19	19	18,9	3,09	965,1	19,91
01/06/2006	37,9	15,10	19,1	9,67	1361	63,55
15/06/2006	56,6	38,6	24,23	13,33	3092,05	29,95
<b>TOTAL</b>	<b>280,1</b>		<b>74,74</b>	<b>30,85</b>	<b>5819,69</b>	<b>141,45</b>

Segundo Xavier; Dornellas e Albuquerque (2006):

Durante os primeiros 4 meses de estudos, de setembro a dezembro, foi possível observar que as taxas de escoamento superficial, em ambas as parcelas, foram semelhantes, mas a quantidade de material erodido mostrou-se significativamente maior na parcela com solo exposto. As poucas chuvas que caíram nesse período encontraram o ambiente bastante seco, o que por sua vez permitiu uma maior taxa de infiltração e, por conseguinte, menor taxa de escoamento superficial. A grande diferença entre os dois tipos de uso é a resistência oferecida à erosão, pois a mandioca, depois de desenvolvida, suas folhas recobrem quase a totalidade do solo, além da grande presença de capim e cobertura morta produzida pela própria mandioca, minimizando, assim, as perdas de água e solo.

Thomaz e Luiz (2004) utilizaram duas técnicas para a mensuração da mobilização do solo entre ravinas: 1. Técnica dinâmica; 2. Volumétrica.

A técnica dinâmica consistiu em uma parcela fechada construída com chapas galvanizadas com área útil avaliada de 1 m<sup>2</sup> e conectadas a uma calha coletora, com monitoramento realizado diariamente entre novembro de 2001 a março de 2003. Dentro da referida parcela foi plotado uma rede formada por 11 pinos de erosão com 25 cm de comprimento, sendo que parte (10 cm) foi introduzida no solo e a restante (15 cm) ficou exposta para monitorar o rebaixamento.

A técnica volumétrica foi um procedimento no qual se empregaram medidas indiretas feitas a partir de superfícies remanescentes existentes entre as ravinas. Para tanto, apoiado nas superfícies remanescentes, foi traçada uma rede formando 12 perfis. As medidas foram realizadas por meio da disposição transversal de uma ripa ligando uma superfície remanescente à outra. Assim, a ripa formou uma linha de referência para as medidas. A mensuração dos perfis ocorreu sempre no dia 2 dos meses de fevereiro, maio, agosto, novembro de 2002 e fevereiro de 2003. O cálculo do material mobilizado foi obtido a partir da equação:

$$E = R \times DG / 100$$

Onde:

$E$  = Erosão (remoção do solo em  $\text{kg/m}^2$ ).

$R$  = Rebaixamento da superfície (cm).

$DG$  = Densidade global do material ( $\text{kg/m}^3$ ).

Os resultados obtidos pelos autores para a pesquisa supracitada estão expostos na Tabela 3.

Tabela 3 – Resultados obtidos por Thomaz e Luiz (2004).

Meses	Precipitação (mm)	Escoamento (mm/m <sup>2</sup> )	Coefficiente de escoamento (%)	Mobilização de solo (kg/m <sup>2</sup> )	Mobilização relativa de solo (%)
Nov	161,8	18,3	11,3	1,023	20,0
Dez	146,3	16,8	11,5	1,152	22,5
Jan	204,5	8,5	4,1	0,222	4,3
Fev	98,7	2,5	2,5	0,032	0,6
Mar	105,2	3,3	3,1	0,064	1,3
Abr	81,0	1,7	2,1	0,021	0,4
Mai	270,0	18,0	6,7	0,249	4,9
Jun	29,0	0,2	0,6	0,008	0,2
Jul	59,5	0,0	0,0	0,000	0,0
Ago	70,3	1,8	2,6	0,001	0,0
Set	177,0	15,0	8,4	0,047	0,9
Out	245,0	17,5	7,2	0,310	6,1
Nov	194,8	4,7	2,4	0,502	9,8
Dez	185,0	22,0	11,9	0,869	17,0
Jan	89,5	3,9	4,3	0,072	1,4
Fev	207,8	17,6	8,5	0,263	5,2
Mar	207,0	29,4	14,2	0,274	5,4
<b>Total</b>	<b>2532,5</b>	<b>181,1</b>	<b>7,1</b>	<b>5,11</b>	<b>100,0</b>

Franco e Rodrigues (2004) instalaram três estações experimentais para o monitoramento de erosão laminar na micro-bacia do Córrego do Glória em Uberlândia – MG, compostas por uma parcela de 1m x 10m cada uma e colocadas no sentido do escoamento pluvial entre duas curvas de nível. A estação I foi instalada em uma área de plantio de milho; a estação II em uma área de pastagem na mesma curva de nível da primeira; e, por fim, a estação III foi instalada em uma área de mata (cerradão). As parcelas foram isoladas por chapas de metal galvanizado de 70cm de altura, enterradas até uma profundidade de 25cm. Na parte inferior da parcela foi enterrada uma calha para a captação do escoamento pluvial e do material do solo escoado até um tanque de sedimentação. Após a coleta semanal do material, a água e os sedimentos dos tanques foram homogeneizados e analisados em laboratório, onde, após a filtragem e secagem, o material foi novamente pesado para determinação de perdas de sedimentos. A tabela abaixo apresenta os resultados, até então parciais, da pesquisa em questão.

Tabela 4 - Resultados de perda de solo. Fonte: Franco e Rodrigues (2004).

<b>Parcela</b>	<b>Meses</b>	<b>Pluviosidade (mm)</b>	<b>Escoamento (l)</b>	<b>Sedimentos (gr)</b>
Estação Experimental II – Pastagem.	Novembro*	186,5	13,1	11,52
	Dezembro	145,1	15,3	59,98
	Janeiro	215,9	11,8	3,78
	Total	547,6	40,2	75,28
Estação Experimental I – Plantio de milho.	Novembro*	186,5	50,3	33,05
	Dezembro	145,1	84,6	642,96
	Janeiro	215,9	30,1	52,34
	Total	547,6	165	728,35

\*Dados obtidos a partir do dia 20.

Os estudos experimentais descritos acima foram realizados, no Brasil, nas regiões Sul, Sudeste e Nordeste, e, fora do Brasil, na Espanha. No cenário nacional os autores quantificaram as perdas por erosão e analisaram as situações condicionantes para os resultados obtidos. Quanto aos espanhóis, estes fizeram uma análise quantitativa da dimensão dos fenômenos erosivos e qualitativa quanto à análise dos perfis dos sulcos e ravinas.

Abaixo, abordar-se-ão os estudos representantes do método dedutivo, do qual fazem parte os modelos estimativos de perda de solo que permitem estimar as perdas de solo por erosão em tempo relativamente rápido, principalmente com o advento dos SIGs.

### 3.2. Considerações sobre o uso de modelos de erosão

De acordo com Jetten; Govers e Hessel (2003), os modelos de erosão tendem a dar grande ênfase para a representação dos processos físicos que são responsáveis pela erosão; estes tendem para uma mais explícita representação da área onde a erosão ocorre e alguns modelos representam o espaço de modo simplificado. Para estes autores, a EUPS (Wischmeier e Smith, 1978), REUPS (Renard *et al.*, 1991) e EPIC (Williams, 1985) tratam-se de modelos que possuem uma homogeneidade uniforme quanto ao relevo, apesar de sua possível aplicação em terrenos mais complexos.

Para Jetten; Govers e Hessel (2003), os modelos Gleams e Creams (Knisel, 1991, citado por Jetten; Govers e Hessel, 2003), são baseados em modelos campo-escala que admitem um sistema que une o interflúvio e os canais representantes da área de erosão. Estes autores afirmam que modelos mais recentes como WEPP (Flanagan *et al.*, 2001), KINEROS2 (Smith *et al.*, 1995) e EUROSEM (Morgan *et al.*, 1998) adotam, basicamente, um esquema similar de elemento-base. Esses modelos envolvem a predição baseada na erosão pluvial e na estimativa do escoamento superficial (runoff); uma análise física baseada no balanço hídrico.

Com o advento dos Sistemas de Informação Geográfica, a modelagem erosiva evoluiu bastante, segundo Jetten; Govers e Hessel (2003). A grande vantagem desses modelos é que permitem a identificação das áreas fonte e destino de água, sedimentos e elementos químicos associados. Alguns exemplos destes modelos são: LISEM (DE ROO *et al.*, 1996; JETTEN; DE ROO, 2001, citados por JETTEN; GOVERS e HESSEL, 2003), EROSION3D (SCHMIDT ET AL., 1999, citado por JETTEN; GOVERS e HESSEL, 2003), TOPMODEL (BEVEN e FREER, 2001, citado por JETTEN; GOVERS e HESSEL, 2003), MIKE-SHE (REFSGAARD e STORM, 1995, citado por JETTEN; GOVERS e HESSEL, 2003), ANSWERS (BEASLEY *et al.*, 1980, citado por LIMA, 2000), que são baseados em uma grade regular de células raster. Estes modelos são também baseados no balanço hídrico que produz escoamento e sedimentação e permitem a análise da distribuição do escoamento e da erosão, sendo, portanto, muito usados para calcular a descarga hídrica e a perda de solo.

Diversos autores têm utilizado a Universal Soil Loss Equation (USLE) ou a Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS), formulada por Wischmeier e Smith

(1965) e obtido resultados satisfatórios com este modelo. Trata-se de um modelo dos mais antigos e por isso amplamente testado em diversos cenários.

Segundo Stocking (1980), a EUPS tem sido aplicada com sucesso no leste da África, com resultados aceitáveis e justificáveis. No entanto, este autor afirma que muitas vezes esta equação pode não ser apropriada por diversas razões, entre as quais se destaca a necessidade do empirismo. O empirismo não possibilita a extrapolação para o campo, pois as condições experimentais possuem escalas muito pequenas e condições específicas para a área de experimento; desta maneira, falta a flexibilidade requerida para a análise do uso da terra e do desenvolvimento rural.

Leser et al. (2002) utilizou o modelo GVEM BS (GIS-based Method on Erosion Modeling Basel) que, segundo o autor, trata-se de um modelo estatístico que permite identificar zonas de riscos a erosões potenciais.

Alves, Souza e Marques (2005) propuseram uma metodologia para estimar a distribuição espacial de classes de potencial à erosão fazendo uso dos conceitos de Lógica Fuzzy em um modelo que se diferencia pelo número reduzido de variáveis, pois utiliza somente duas: os mapas de declividade e de cobertura. Esses autores também utilizaram a EUPS e realizaram uma análise comparativa entre os resultados obtidos pelos dois métodos para a microbacia do Rio Pimentel, localizada no Município de São Fidélis, Estado do Rio de Janeiro.

Existe também a Equação Universal de Perdas de Solo Modificada (MUSLE ou MEUPS) que, segundo Pinto (1993 citado por Bacellar, 1994, p. 5), “leva em consideração a expectativa de escoamento superficial das águas pluviais (runoff) no lugar do fator erosividade das chuvas (R), considerado na EUPS”.

A MEUPS é mais atual e específica, mas os dados pluviográficos necessários a sua aplicação são difíceis de serem obtidos; os dois modelos (EUPS e MEUPS) representam estimativas e, portanto, não se apresentam como um fim absoluto, mas, podem fornecer dados que colaborem para o planejamento e prevenção de impactos relacionados às atividades erosivas.

Apesar dessas considerações e da existência desses diversos modelos, de acordo com Paranhos Filho et al. (2003, p. 50):

a Equação Universal de Perdas de Solo, (ou *EUPS – Universal Soil Loss Equation*), desenvolvida no Departamento de Agricultura dos EUA na década de 1950, constitui-se num importante instrumento de investigação sobre o processo erosivo pois, a partir das características e propriedades dos

fatores ambientais responsáveis pelas perdas de solos, permite a compartimentação da paisagem em níveis de instabilidade, possibilitando ações mais efetivas de planejamento ambiental e otimização dos recursos naturais (WISCHMEIER; SMITH, 1958; 1978; WISCHMEIER, 1959; BERTONI et al., 1975; TAVARES, 1986; VITTE, 1997).

No entanto, Renschler e Harbor (2002) afirmam que apesar de (ou talvez por causa de) ser uma simples regressão aproximada, a EUPS tem se mostrado um modelo prático e acessível que tem sido utilizado (e abusado) em várias escalas no mundo inteiro. Estes autores criticam as limitações da EUPS, bem como a dificuldade de incluir novas tecnologias e técnicas introduzidas após o desenvolvimento deste modelo. No entanto, Laflen et al. (1991), citados por Renschler e Harbor (2002), sustentam que, apesar das limitações deste modelo, devem ser mantidas a aplicabilidade e a utilidade para o planejamento.

Para Correchel (2003, p. 2):

No Brasil, a EUPS está sendo empregada em projetos de Planejamento Ambiental e de conservação do solo (Lima, 1991; Margolis et al., 1985; Freire e Pessoti, 1976), porém ainda há grande carência de dados básicos, o que constitui um problema para sua utilização rotineira.

Esta autora supracitada destaca várias limitações quanto à aplicação da EUPS, dentre as quais:

- ✓ A possibilidade de subestimar ou superestimar a erosão devido a amostragem de vertentes que não representem adequadamente o processo erosivo.
- ✓ O modelo não contabiliza a erosão por fluxo concentrado de enxurrada, voçorocas, a redistribuição da massa em canais, nem as taxas de deposição de solo.
- ✓ O uso de um gradiente médio de extensão da vertente pode subestimar as perdas de solo de declives convexos e superestimar aquelas de declives côncavos.

Segundo Alves; Souza e Marques (2005), um fator limitante no modelo EUPS é que este não considera a interação entre os fatores no processo da erosão, tornando-o limitado para o uso universal.

Ranieri (1996), citado por Silva e Alvares (2005, p. 34), diz que:

a EUPS pode ser aplicada para as seguintes finalidades: (1) previsão de perdas anuais médias de solo de uma área sujeita a determinadas práticas de utilização, (2) orientação na seleção de áreas de cultivo, de manejo e conservação, (3) previsão de alterações nas perdas de solo ocasionadas por mudanças nas práticas de cultivo e conservação, (4) determinação de modos de aplicação ou alteração das práticas agrícolas que permitam usos mais intensivos da terra, (5) estimativas das perdas de solo para usos distintos na agricultura, e (6) estimativa das perdas de solo visando à determinação de práticas conservacionistas.

Silva e Alvares (2005) citam o exemplo de vários pesquisadores que aplicaram estudos em muitas áreas do Estado de São Paulo, utilizando a EUPS como Bueno, 1994; Valério Filho, 1994; Garcia e Zaine, 1996; Fiorio, 1998; Sparovek, 1998; Burin, 1999; Cerri, 1999; Weill, 1999; Ranieri, 1996 e 2000; Moretti, 2001; Ferraz, 2002; Fujihara, 2002; Marcondes et al., 2002.

Segundo Silva e Alvares (2005), as áreas de estudo podem variar desde microbacias até bacias hidrográficas de mesoescala. Estes autores afirmam (p. 34) ainda que, “a EUPS tornou-se um instrumento valioso para os trabalhos de conservação do solo, fornecendo subsídios para estudos e propostas de planejamento do uso sustentável do solo”.

Penteado (1978, p. 3) aponta que:

Uma das vantagens do uso do modelo é que muitas variáveis das quais depende o fenômeno estudado podem ser controladas. Os modelos podem ser usados para dois fins: testar resultados teóricos e simular condições naturais.

Diante das informações bibliográficas aqui levantadas, considerou-se a EUPS como um modelo viável de ser utilizado. Não obstante, devem ser reconhecidas as limitações quanto aos valores absolutos que esta pode apresentar e a necessidade de uma avaliação qualitativa dos resultados, tendo em vista que a dinâmica geomorfológica não é agregada ao modelo. Dessa forma, a associação entre tais valores e dados qualitativos sobre as características físicas da área pode auxiliar na análise da fragilidade erosiva da bacia estudada.

A seguir, abordar-se-á a aplicação da EUPS, modelo utilizado na execução deste trabalho, por diversos autores, bem como os fatores que integram a referida equação.

### 3.4. Aplicações da Equação Universal de Perda de Solo

Cunha (1997) utilizou a EUPS para mapeamento e quantificação de perdas de solo na malha fundiária gerando um mapa de potencial natural à erosão e um mapa de estimativa de perda de solo; Lima (2000) analisou indicadores de erosão do solo através de técnicas estatísticas e geoprocessamento com apoio da EUPS; Oliveira (2000) estudou a dinâmica do uso da terra na bacia do Ribeirão São João, utilizando a EUPS; Veniziani Júnior (2004) utilizou índices de vegetação para estimativa de proteção do solo, também aplicando a EUPS.

A EUPS é expressa da seguinte forma:

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

Onde:

A = Perda média anual de solos;

R = Erosividade das chuvas;

K = Erodibilidade dos solos;

LS = Fator topográfico (declividade e comprimento da vertente);

C = Cultivo e manejo;

P = Práticas conservacionistas.

Esta equação pode ser dividida em dois grupos de variáveis:

- RKLS: relacionados às características naturais da área em estudo e são considerados para a construção da carta de potencial natural à erosão laminar.
- CP: relacionados às formas de ocupação e uso da terra, derivados da interferência humana.

De acordo com Lima (2000), a EUPS é de simples aplicação na geração de modelos espaciais estimativos se os dados envolvidos na formulação estiverem disponíveis e os resultados obtidos são considerados bastante satisfatórios. Embora seja um modelo mais genérico, a EUPS apresenta uma grande confiabilidade, desde que se façam as adaptações dos fatores que a integram para a realidade de cada região. O uso deste modelo, neste trabalho, justifica-se pela maior facilidade de aquisição dos dados e por atender as necessidades desta pesquisa, que é estimar o potencial natural à erosão laminar e as perdas de solo por erosão na bacia hidrográfica do córrego da Água Branca.

De acordo com Wischmeier e Smith (1965), em 1940 teve início o desenvolvimento de equações para o cálculo de perdas de solo, na região de Corn Belt, Estados Unidos. Entre 1940 e 1956 o processo empregado foi chamado de método do plantio em declives. Zingg (1940, citado por Wischmeier; Smith, 1965) divulgou uma equação relativa a perdas de solo de acordo com o comprimento da vertente e a porcentagem do declive e Smith (1941, citado por Wischmeier; Smith, 1965) adicionou os fatores práticas conservacionistas e o conceito de limite específico de perdas de solo, para desenvolver um método gráfico para determinar as práticas de conservação para sua região de estudo.

Browning, et al. (1947, citado por Bertoni; Lombardi Neto, 2005) acrescentaram os fatores erodibilidade do solo e manejo. Wischmeier e Smith (1965) compilaram esses diversos fatores, revisando-os e atualizando-os, estruturando assim a chamada Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS).

As adaptações efetuadas por Bertoni e Lombardi Neto (2005) facilitaram, possibilitando a avaliação das perdas de solo em propriedades rurais no estado de São Paulo, região tropical e diferente das regiões de origem da EUPS.

A seguir serão discutidos cada um dos fatores que integram a referida equação.

### **Erosividade da Chuva**

O fator Erosividade da Chuva (R), proposto por Wischmeier (1959, citado por Bertoni; Lombardi Neto, 2005), baseia-se no pressuposto de que a energia cinética (E) e a intensidade média em 30 minutos de chuva ( $EI_{30}$ ) constituem-se no melhor índice para definir a perda de solo. Em 1978, o mesmo autor mostra que o fator chuva utilizado para estimar a média anual para perdas de solo deve incluir os efeitos cumulativos das chuvas de intensidade moderada, tão bem quanto os efeitos de algumas chuvas severas ocasionais.

Bertoni e Lombardi Neto (2005) afirmam que as perdas de solo são diretamente proporcionais às duas características da chuva: sua energia cinética total e sua intensidade máxima em 30 minutos. Os valores de intensidade máxima da chuva em 30 minutos são calculados pelos diagramas de pluviógrafos, no entanto, este equipamento está disponível em poucos postos meteorológicos. Dessa forma, Lombardi Neto e Moldenhausser (1980, apud Bertoni; Lombardi Neto, 2005),

com base em 22 anos de registro de precipitação em Campinas, estabeleceram a seguinte relação:

$$EI = 67,355 (r^2/p)^{0,85}$$

Onde:

**EI** = Média mensal do índice de erosão;

**r** = Precipitação média mensal em milímetros;

**P** = Precipitação média anual em milímetros.

Os valores de R são obtidos somando-se os valores mensais dos índices de erosão (EI).

Asadi et al. (2006) utilizaram o simulador de chuva GUTSR (Griffith University Tilting Flume Simulated Rainfall) com uma calha coletora de sedimentos, em parcelas de solo, para analisar a interação entre os fenômenos climáticos e a erosão; esses autores utilizaram diversos tipos de solo e de situações topográficas. Quanto à perda de solo e a concentração de sedimentos, os autores verificaram que é alta no início da chuva, mas decresce em aproximadamente 10 minutos. Observaram ainda que durante o processo erosivo ocorrem mudanças quanto ao tamanho e velocidade da deposição do solo erodido. Em experimentos instalados em declividades menores de 1% os autores constataram que o escoamento superficial funciona como um transportador de sedimentos, não como um agente erosivo, onde a gota de chuva contínua culmina por “descamar” o solo.

Santana et al. (2006) utilizaram, para a alta bacia do Rio Araguaia (GO/MT), a fórmula proposta por Tommaselli et al (1997), por meio da seguinte equação:

$$EI_{30} = 111,6 * (p^2 / P)^{0,714}$$

Onde:

**EI<sub>30</sub>** = erosividade da chuva do mês, em MJ.mm.h.ha;

**p** = é a precipitação média mensal do mês, em mm

**P** = é a precipitação média anual, em mm.

Esses autores optaram por essa fórmula pela facilidade de aquisição dos dados pluviométricos e considerando o trabalho de Boin (2000), citado por Santana et al. (2006), que utilizou essa formulação para a região de Presidente Prudente (SP). Os dados de Santana et al. (2006) apresentaram características pluviométricas semelhantes com as de Presidente Prudente, com alto coeficiente de correlação.

O estudo da erosividade da chuva é fundamental, já que, nas regiões tropicais, a água da chuva adquire um papel ativo na erosão hídrica do solo. Muitos estudiosos concordam que o impacto inicial da gota de água no solo (“efeito splash”) realiza não apenas a primeira etapa do processo erosivo, mas fornece a maioria da energia utilizada na erosão. A erodibilidade do solo, item que será discutido em seguida, tem, desta maneira, um papel passivo frente a erosividade da chuva.

### **Erodibilidade do solo**

Wischmeier; Johnson e Cross (1971) desenvolveram um método gráfico para avaliar a erodibilidade do solo a partir de cinco parâmetros: porcentagem de silte mais porcentagem de areia muito fina, porcentagem de areia de diâmetro equivalente ou maior do que 0,1 mm, porcentagem de matéria orgânica, estrutura e permeabilidade do solo. Com estes dados esses autores construíram um nomógrafo que permite estabelecer os valores de K.

Denardim (1990) propôs que, para o estabelecimento do valor de K, fosse calculado o parâmetro granulométrico, "M", da seguinte maneira:

$$M = (A + B) \cdot (A + B + C)$$

Onde:

**M** = Parâmetro granulométrico;

**A** = Porcentagem de silte;

**B** = Porcentagem de areia muito fina;

**C** = Porcentagem de areia maior do que 0,1 mm.

De acordo com Denardim (1990), se o valor de M for menor que 3.000, efetua-se o cálculo da erodibilidade através da seguinte fórmula:

$$K = 0,00608397 \cdot P + 0,00834286 \cdot P_1 - 0,00116162 \cdot P_2 - 0,00037756 \cdot$$

**P<sub>3</sub>**

Onde:

**P** = Permeabilidade de codificação do perfil de solo;

**P<sub>1</sub>** = Porcentagem de matéria orgânica;

**P<sub>2</sub>** = Porcentagem de óxido de alumínio extraível com H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>;

**P<sub>3</sub>** = Porcentagem de partículas de diâmetro equivalente entre 2,00 e 0,50 mm, determinados pelo método de pipeta.

Caso o valor de M seja maior que 3.000, o autor indica que o cálculo do valor de K seja efetivado através da fórmula:

$$K = 0,0000748 \cdot P + 0,00448059 \cdot P_1 - 0,063311759 \cdot P_2 - 0,01039567 \cdot P_3$$

Onde:

**P** = Variável M;

**P<sub>1</sub>** = Permeabilidade codificada do perfil;

**P<sub>2</sub>** = Diâmetro médio ponderado das partículas menores do que 2mm;

**P<sub>3</sub>** = Relação entre porcentagem de matéria orgânica e a "nova areia", isto é, a porcentagem de areia de diâmetro maior do que 0,1mm.

Bertoni e Lombardi Neto (2005) ressaltam que a erodibilidade de um solo varia de acordo com as suas propriedades que: a) afetem a velocidade de infiltração, permeabilidade e capacidade total de armazenamento de água; b) resistam às forças de dispersão, salpico, abrasão e transporte pela chuva e escoamento. Os autores calculam o valor de K através de parcelas experimentais. As referidas parcelas esclarecem os autores medem 25m de comprimento e possuem 9% de declive. Quando todas essas condições são encontradas, cada um dos fatores extensão da vertente (L), declividade (S), práticas conservacionistas (P) e uso e manejo do solo (C) tem valor unitário, podendo-se encontrar o valor de K através da seguinte fórmula:

$$K = A / EI$$

Onde:

**K** = Erodibilidade do solo;

**A** = Perda de solo da parcela;

**EI** = Unidade de índice de erosão da chuva.

Pinheiro et al. (2007) utilizaram, para determinação da erodibilidade dos solos, a fórmula proposta por Wischmeier e Smith (1965), ajustada pela Embrapa:

$$K = 2,8 \cdot 10^{-7} \cdot M^{1,14} (12-a) + 4,3 \cdot 10^{-3} (b-2) + 3,3 \cdot 10^{-3} (c-3)$$

Onde:

**M** = parâmetro relacionado ao tamanho das partículas (adimensional);

**M** = (% silte + % areia muito fina) x (100 - % argila)

**a** = % matéria orgânica;

**b** = código de estrutura do solo (Tabela 5);

**c** = classe de permeabilidade do perfil do solo (Tabela 5).

Tabela 5 - Parâmetros b e c que compõem a fórmula do fator K, de acordo com Pinto et al. (2002).

Valores Parâmetros	1	2	3	4	5	6
B	Granular muito fina	Granular fina	Média a Granular	Em blocos laminar macia	----	----
C	rápida	Moderada a rápida	Moderada	Lenta a moderada	Lenta	Muito lenta

Tavares e Vitte (1993) utilizaram um processo indireto de se obter a erodibilidade do solo através do nomograma de Wischmeier; Johnson e Cross (1971) que avalia propriedades como:

- ✓ porcentagem de matéria orgânica;
- ✓ porcentagem de silte mais areia muito fina, compreendendo clásticos entre 0,002 e 0,10 mm;
- ✓ porcentagem de areia, compreendida entre 0,10 e 2,0 mm;
- ✓ classe de permeabilidade;
- ✓ tipo de estrutura.

Depois de estabelecidos os parâmetros, foram determinados os valores de K pelo nomograma de Wischmeier; Johnson e Cross (1971). Esses autores concordam que, de modo geral, a presença da matéria orgânica auxilia na proteção do solo aumentando sua coesão; os solos arenosos são mais susceptíveis aos processos erosivos, ao contrário dos argilosos. No entanto, o solo comporta-se de maneira muito distinta de acordo com as variações do relevo, pois um solo arenoso em área plana pode ser menos susceptível à erosão do que um solo argiloso em áreas de maiores declividades.

As características pedológicas que definem a erodibilidade dos solos estão intimamente relacionadas à topografia. Assim, a seguir, será apresentado o Fator LS que se refere aos atributos do relevo que podem influenciar na formação dos solos, bem como também do escoamento hídrico superficial.

### Fator Topográfico

Os fatores Extensão da vertente (L) e Grau de Declive (S) geralmente são tratados, na bibliografia, conjuntamente, sendo denominados de fator topográfico LS. Zingg (1940, citado por Wischmeier e Smith, 1965), com base em 5 anos de observação em vertentes experimentais, propõe uma fórmula para mensurar a relação entre perdas de solo por escoamento pluvial e comprimento e grau de declive. Esta fórmula é expressa da seguinte maneira:

$$X=C \cdot S^{1,4} \cdot L^{1,6}$$

Onde: X = Total de perdas de solo de uma vertente; C= Constante de variação, a qual se modifica de acordo com o local a ser estudado; S= Grau de declive da vertente; L= Comprimento horizontal da vertente.

O autor constatou que quanto maior for a declividade e o comprimento da rampa, maiores serão as perdas de solo por erosão. De acordo com Bertoni et al. (1972, p. 10), “o comprimento de rampa é um dos mais importantes fatores na erosão do solo. Entretanto, os dados são freqüentemente mal interpretados. Duplicando-se o comprimento de rampa, as perdas de solo são mais do dobro, porém a perda por hectare não é duplicada”. O autor citado alerta então que a quantidade de solo erodido não pode ser generalizada para toda a rampa; não se deve fazer uma média por hectare dos dados quantitativos obtidos no final da rampa.

Bertoni e Lombardi Neto (2005) adaptaram a Equação proposta por Zingg para as condições do estado de São Paulo. Com base em dados obtidos a partir de dez anos de observações em talhões de diferentes comprimentos de rampa e graus de declive, os autores, estabeleceram as seguintes relações para cada um desses fatores:

$$T=0,145 \cdot D^{1,18};$$

$$T=0,166 \cdot C^{1,63}$$

Onde:

T= Perdas de solo, em quilogramas por unidade de área;

D= Grau de declive do terreno em porcentagem;

C= Extensão da vertente do terreno em metros.

Da compilação destas duas fórmulas, os autores propõem uma única fórmula que possibilita calcular, para o estado de São Paulo, os fatores LS conjuntamente:

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

Onde:

**C**= Extensão da vertente em metros;

**D**= Grau de declividade em porcentagem.

Farinasso et al. (2004) utilizaram uma metodologia proposta por Desmet e Govers, (1996), que desenvolveram um algoritmo para calcular o fator L, baseado na equação de Foster e Wischmeier (1974), citado por Farinasso et al. (2004), considerando o fluxo acumulado como estimativa da extensão da vertente. O fluxo acumulado a montante de cada *pixel* consiste na área denominada área de contribuição. Foi gerado um mapa de área de contribuição pelo método matemático desenvolvido por Tarboton (1997), citado por Farinasso et al. (2004), que calcula direção de fluxo d'água de acordo com a declividade do terreno, distribuindo o fluxo proporcionalmente entre as células vizinhas. A equação proposta por Desmet e Govers (1996) para o cálculo do fator L (extensão da vertente) é a seguinte:

$$L_{i,j} = [(A_{i,j-in} + D^2)^{m+1} - (A_{i,j-in})^{m+1}] / [D^{m+2} \cdot x_{i,jm} \cdot (22,13)^m]$$

Onde:

**L<sub>i,j</sub>** = fator de comprimento de vertente de uma célula com coordenadas (i,j)

**A<sub>i,j-in</sub>** = área de contribuição da célula com coordenadas (i,j) (m<sup>2</sup>)

**D** = tamanho da célula

**x** = coeficiente função do aspecto para grade de célula em coordenadas (i,j)

**m** = coeficiente função da declividade para grade de célula com coordenada (i,j)

O coeficiente “m” foi obtido a partir de determinadas classes de declividade sendo, no entanto, necessário que as mesmas estejam expressas em porcentagem, portanto:

**m** = 0,5 se declividade for > 5%

**m** = 0,4 para intervalo de declividade de 3 a 5%

**m** = 0,3 para intervalo de declividade de 1 a 3 %

**m** = 0,2 para declividade < 1%

O coeficiente de “x” é função da direção do fluxo (aspecto); expressa uma relação da extensão da vertente dentro da célula unitária, podendo ser obtido pela equação:

$$x = \text{sen}\alpha + \text{cos}\alpha$$

Onde:

$\alpha$  = é o ângulo de direção de fluxo.

De acordo com a fórmula desenvolvida por Wischmeier e Smith (1978), o fator de declividade (S) é função da declividade média da vertente:

$$S = 0,00654 s^2 + 0,0456 s + 0,065$$

Onde:

S = fator de declividade (adimensional)

s = declividade média da vertente (%)

Finalmente, o Fator LS (fator topográfico) foi obtido pelos autores através do produto do fator de extensão da vertente (L) pela declividade (S). No intuito de se automatizar e espacializar os cálculos, esses autores empregaram a metodologia implementada por Carvalho Junior e Guimarães (2001), que consiste na utilização de um programa (SIG).

Mendes (1993) obteve os dados de declive e extensão da vertente através da construção de cartas de declividade e de dissecação horizontal. A carta de declividade foi elaborada segundo a proposta de De Biase (1970), seguindo as adaptações de Sanchez (1993); já a carta de dissecação horizontal foi elaborada de acordo com Spiridonov (1981) com adaptações de Mauro (1991). A autora aplicou a fórmula proposta por Bertoni e Lombardi Neto (2005) a fim de obter o valor de LS.

Pinto (1995) obteve os dados de declividade através da construção da carta de declividade utilizando um ábaco (DE BIASE, 1970). Os dados de extensão de vertente foram obtidos a partir de medidas realizadas nas cartas topográficas, através de um escalímetro, considerando o caminho preferencial do escoamento superficial pluvial em cada quadrícula da grade, tomando como origem a cota mais elevada à montante (linha de cumeada). No intuito de obter o fator LS, o autor aplicou a fórmula proposta por Bertoni e Lombardi Neto (2005).

A importância da extensão da vertente e da declividade do relevo está no fato de que são determinantes no fluxo de matéria e energia, que por sua vez determinarão a intensidade da capacidade erosiva.

Também importantes são as atividades humanas que são estabelecidas sobre a superfície do relevo, pois podem acarretar desequilíbrios no relevo através da alteração dos fluxos de matéria e energia. Por outro lado, as práticas conservacionistas permitem minimizar ou até mesmo evitar certos impactos provocados pelas alterações humanas. Assim, apresentar-se-á as informações pertinentes ao Fator C e P.

### **Uso e Manejo do Solo (C) e Práticas Conservacionistas (P)**

O valor do Uso e Manejo do Solo (C) deve refletir todas as relações variáveis de cultura e manejo. Gril (1986) faz uso do simulador de chuva, utilizando o método das “microparcelas” para comparar diferentes práticas agrícolas em Beaujolais na França.

Ross (2004) organizou uma tabela (Tabela 6) com os graus de proteção ao solo pela cobertura vegetal natural e cultivada. Apesar destas informações não apresentarem os dados quantitativos para a aplicação como fator C da EUPS, esta tabela serve para uma análise qualitativa envolvendo os tipos de cobertura da terra e os graus de proteção do solo.

Tabela 6 - Graus de proteção por tipos de cobertura vegetal

<b>GRAUS DE PROTEÇÃO</b>	<b>TIPOS DE COBERTURA VEGETAL</b>
1- Muito Alta	Florestas/ matas naturais, florestas cultivadas com biodiversidade
2 – Alta	Formações arbustivas naturais com extrato herbáceo denso. Formações arbustivas densas (mata secundária, cerrado denso, capoeira densa). Mata homogênea de <i>pinos</i> densa. Pastagens cultivadas sem pisoteio de gado. Cultivo de ciclo longo como o cacau.
3- Média	Cultivo de ciclo longo em curvas de nível/ terraceamento como o café, laranja com forrageiras entre ruas. Pastagens com baixo pisoteio, silvicultura de eucaliptos com subbosque de nativas.
4 – Baixa	Culturas de ciclo longo de baixa densidade (café, pimenta do reino, laranja) com solo exposto entre ruas. Culturas de ciclo curto (arroz, trigo, feijão, soja, milho, algodão) com o cultivo em curvas de nível/ terraceamento.
5 – Muito Baixa a Nula	Áreas desmatadas e queimadas recentemente, solo exposto por arado/ gradeação, solo exposto ao longo de caminhos e estradas, terraplanagens, culturas de ciclo curto sem práticas conservacionistas.

Silva e Schulz (2001) estimaram o valor do Fator C para uma cobertura vegetal morta de origem urbana, que se mostrou eficiente como material de controle de erosão. O local de experimento foi uma área às margens da Represa do Lobo ou do Broa (Itirapina - SP). Para tanto, o autor construiu seis parcelas medindo 13,2 m de comprimento e 3,3 m de largura distando 1,5 m uma da outra. Em três parcelas não se colocou nenhuma vegetação (denominadas “condição controle”), no restante foram distribuídas uniformemente sobre a superfície do solo de cada parcela 23 Kg de material vegetal triturado (“condição tratamento”). O fator C resultou de forma variável para este tipo de cobertura vegetal, pois, o material pode ser triturado de diferentes maneiras e depois de decomposto perde em eficiência, dessa forma, os valores variaram de 0,008 a 0,075. Os autores verificaram uma perda de solos de 2.213 t/ha nas parcelas cobertas e 20.028 t/ha nas áreas sem vegetação. Os autores não calcularam o Fator C para as parcelas de “condição controle”, mas Stein et al. (1987) consideraram o valor 1 para o solo nu.

Como a proteção da cobertura vegetal varia durante o ano, Bertoni e Lombardi Neto (2005) propõem que se divida o ano agrícola em cinco períodos e que as perdas de solo sejam avaliadas para cada um desses períodos, os quais são:

1. Preparo - deste o preparo até o plantio;
2. Plantio - do plantio à um mês após o plantio;
3. Estabelecimento - do fim do período 1 até dois meses após o plantio;
4. Crescimento e maturação - de dois meses após o plantio até a colheita;
5. Resíduo - da colheita até o preparo do solo.

Além disso, deve-se, segundo os autores, combinar a intensidade de perdas de solo para cada período com dados relativos à chuva. Stein, et al. (1987) avaliaram o fator uso e manejo do solo (C) com as práticas conservacionistas (P). Estes autores calcularam o que chamam de  $CP_{atual}$ , ou seja, a influência da ocupação atual no condicionamento da erosão laminar, e o  $CP$  tolerável correspondente a um índice de perdas de solo que respeita todas as características do meio físico intervenientes no processo de erosão. Para estabelecer estes dois parâmetros, os autores estabeleceram inicialmente o  $C_{atual}$  de acordo com as

orientações de Bertoni e Lombardi Neto (2005), sendo o  $C_{\text{tolerável}}$  obtido através da seguinte fórmula:

$$C_{\text{tolerável}} = A_{\text{tolerável}} / PN$$

Onde:

$A_{\text{tolerável}}$  = Limite máximo de tolerância de perda de solo por tipo de solo;

$PN = R \cdot K \cdot LS$ , isto é, potencial natural à erosão.

Stein, et al. (1987) anexam a estes dados o valor de P, calculado segundo Bertoni e Lombardi Neto (2005), gerando uma carta de expectativa à erosão laminar em função de fatores de ocupação, a qual expressa a diferença entre  $CP_{\text{atual}}$  e  $CP_{\text{tolerável}}$ .

Donzelli et al. (1992) realizaram um estudo a fim de identificar riscos de erosão; para tanto, utilizaram o índice de risco de erosão ou capacidade de uso-manejo permissível (UMP) para classificar esse risco. Estes autores utilizaram imagens orbitais multiespectrais, TM ou SPOT, como fonte principal de dados sobre o uso do solo. Para a identificação do uso e manejo da terra foram utilizadas 5 imagens orbitais (4 TM e 1 SPOT), cobrindo um período de 9 meses. Os autores definiram seis classes de uso do solo, as quais foram: culturas anuais, citros, cana-de-açúcar, pasto, reflorestamento e vegetação nativa. Estes autores verificaram que o fator C possui uma variabilidade maior e valores maiores entre as culturas anuais do que entre as perenes.

O valor do Uso e Manejo do Solo (C) reflete as relações variáveis da cobertura vegetal, seja natural ou por cultura antrópica. A respeito da influência humana, há uma variação na dinâmica erosiva causada pelo manejo adequado ou não do solo. Dessa forma, o manejo do solo influencia o resultado da EUPS e é conhecido como Práticas Conservacionistas (P), quanto mais adequadas forem as precauções tomadas, menor será a perda de solos por erosão.

Bertoni e Lombardi Neto (2005) estudaram as Práticas Conservacionistas (P) para as condições do estado de São Paulo e identificaram quatro tipos principais e seus respectivos valores, expressos na tabela que se segue:

Tabela 7 – Valores de P de acordo com as práticas conservacionistas.

<b>Práticas Conservacionistas</b>	<b>Valor de P</b>
Plantio morro abaixo	1,0
Plantio em contorno	0,5
Plantio de capinas + plantio em contorno	0,4
Cordões de vegetação permanente	0,2

Porém, para realizar a associação qualitativa entre todos os fatores, atuantes na dinâmica erosiva necessita-se de uma abordagem metodológica que propicie a integração e a correlação dos dados. Dessa forma, a seguir será apresentada a abordagem metodológica, sobre a qual o trabalho se fundamentou, bem como as técnicas utilizadas.

## 4. MÉTODO E TÉCNICAS

### 4.1. Método

O principal problema ambiental identificado na área de pesquisa refere-se à suscetibilidade erosiva; assim a aplicação da modelagem pode diagnosticar e prognosticar tal questão. Busca-se, portanto, uma estimativa que procure refletir as condições de perda de solo face ao conhecimento *a priori* das características físicas da área. Dessa forma, esta pesquisa baseou-se no método dedutivo de investigação, o qual parte da aceitação como ponto de partida de um enunciado geral e depois a contraposição dos casos particulares.

Para tanto, a pesquisa, aqui apresentada, buscou na visão sistêmica o apoio teórico-metodológico para analisar as relações entre o meio físico e os dados obtidos com a aplicação da EUPS. Neste sentido, esta pesquisa aborda a questão relacionada aos processos de degradação ambiental dos solos na perspectiva de um entendimento sistêmico.

Sendo o sistema um conjunto de unidades com relações entre si, pode-se afirmar que o estado de cada unidade é controlado, condicionado ou dependente do estado das outras unidades (MILLER, 1965, citado por CHRISTOFOLETTI, 1979).

Desta forma, compreende-se o relevo da bacia do Córrego da Água Branca (sistema morfológico) como um sistema aberto, pois necessita ser mantido por constante suplementação e remoção de material e energia para sua manutenção e preservação (CHORLEY, 1971). A energia é fornecida pelos agentes de erosão (LAL, 2001); assim, a energia para causar a erosão hídrica vem inicialmente do impacto da gota de chuva (WISCHMEIER, 1962), a energia aumenta quando a intensidade do escoamento é exacerbada pela declividade e pela quantidade de material transportado (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2005).

Neste trabalho são analisadas as seguintes fontes de energia: a energia produzida pela água (através do impacto da gota de chuva e do escoamento superficial), a gravidade (que aumenta a intensidade do fluxo do escoamento através da declividade) e as perturbações antropogênicas, que irão determinar o tipo do processo de erosão (LAL, 2001).

A análise de tais fontes, neste trabalho, foi possível através dos fatores da modelagem:

- a água, através da erosividade da chuva;
- a gravidade, pelo fator topográfico;
- e as perturbações antrópicas, através do uso e manejo da terra.

As atividades antrópicas possuem uma importância primária na dinâmica erosiva, pois podem alterar drasticamente o sistema de processos-respostas. Esse sistema é formado pela combinação de sistemas em seqüência (dinâmica hidrológica), que indicam o processo e sistemas morfológicos (relevo), que representa a forma ou a resposta (CHRISTOFOLETTI, 1979). Existe uma constante busca pelo equilíbrio entre os sistemas em seqüência e morfológico, dessa forma qualquer alteração nas formas altera conseqüentemente o processo e vice-versa.

Surgem então os sistemas controlados, que apresentam a atuação humana sobre os sistemas de processos-respostas (CHRISTOFOLETTI, 1979). Quanto maior é a intervenção antrópica, maior será a complexidade desse sistema. Trata-se da tentativa humana de utilizar e explorar a natureza, sendo que os resultados podem ser esperados ou acidentais. Os resultados acidentais ocorrem pela falta ou erros de planejamento, ou ainda, pela negligência individual ou coletiva; todos esses acidentes geram impactos ambientais, de maiores ou menores proporções, muitas vezes irreversíveis. O uso agrícola do solo, um reflorestamento por espécies nativas ou a silvicultura pode ser considerado como um sistema controlado.

Dentro dessa perspectiva, convém apresentar a conjuntura atual e pretérita da área de estudo, que, regionalmente, possuía vegetação natural predominante de cerrados; neste ambiente uma ruptura no equilíbrio (VON BERTALANFFY, 1952 citado por CHORLEY, 1971) entre relevo-solo-vegetação ocasiona conseqüências drásticas como a perda do solo e de seus nutrientes. O equilíbrio pode ser interrompido por um distúrbio no fluxo de energia ou na resistência do solo, sendo que, a nova conjuntura (desequilíbrio) estabelecida por esse impacto, provoca uma nova busca pelo equilíbrio, um ajustamento das formas do relevo, o que implicará em uma nova dinâmica de entrada e saída de energia e matéria. Essa forma de ajustamento vai variar de acordo com a capacidade de auto-regulação de cada sistema.

No entanto, atualmente prevalecem coberturas advindas dos sistemas agrícolas, muitas vezes utilizando um manejo inadequado da vegetação e do solo. A erosão acelerada, provocada pela ação humana, resulta em impactos na hidrografia da área (sistema em seqüência), pois os sedimentos transportados do relevo da bacia (sistema morfológico) irão se depositar nos fundos de vale ou diretamente nos cursos de água, causando assoreamento.

Dessa forma, é importante fazer o diagnóstico e prognóstico da dinâmica erosiva na área. Para tanto, optou-se, neste estudo, pelo uso de um modelo preditivo de erosão. Assim, de grande importância neste estudo, a modelagem (EUPS) adquire a função de quantificar a perda de solo, sendo que, através da análise geomorfológica, utilizando-se da abordagem sistemática do relevo, será realizada a análise qualitativa dos sistemas erosivos. Através da EUPS é possível analisar os diversos fatores envolvidos no processo erosivo, no entanto, os fatores que compõem o modelo constituem-se de modo quantitativo e não podem ser considerados isoladamente.

Os valores resultantes da modelagem devem, portanto, estar de acordo com a análise geomorfológica, ou seja, as áreas de maior perda de solo, verificadas através da EUPS, devem relacionar-se com as áreas de maior suscetibilidade erosiva, ou vice-versa, verificadas através do mapeamento geomorfológico tradicional.

A Teoria sistêmica permite, dessa forma, o estabelecimento das relações entre o conhecimento geomorfológico da área e os valores quantitativos fornecidos pela modelagem, contribuindo, portanto, na execução deste trabalho, pois os resultados da aplicação do modelo devem ser correlacionados tendo em vista os fluxos de matéria e energia, evitando, deste modo, resultados discrepantes ou errôneos.

Considerando essa abordagem, serão apresentadas a seguir as técnicas de trabalho adotadas, as quais possibilitaram a aplicação do modelo proposto, bem como a análise dos fatores condicionantes da esculturação do relevo e das áreas de maior dinamismo erosivo.

## 4.2. Técnicas

No intuito de alcançar os objetivos deste trabalho foram utilizados os seguintes procedimentos:

- ✓ Digitalização e organização da base cartográfica da Bacia do Córrego da Água Branca através da união de cartas topográficas (SÃO PAULO, 1979) com escala de 1:10.000.
- ✓ Através de técnicas convencionais em meio digital, realizou-se o mapeamento das classes de declividade.
- ✓ Elaboração da Carta de Dissecação Horizontal do relevo.
- ✓ Interpretação de fotografias áreas digitais na escala de 1:30.000 para a construção da Carta Geomorfológica.
- ✓ Elaboração da Carta de Uso da Terra e Cobertura Vegetal e obtenção de dados de uso e manejo da área, visando a identificação do fator C e P.
- ✓ Organização da Carta de Solos, de acordo com o detalhamento das observações em campo e com a ajuda da estereoscopia.
- ✓ Organização da Carta Geológica.
- ✓ Organização dos dados pluviométricos.

Para viabilizar estes procedimentos foram utilizados os materiais que se seguem:

- ✓ Cartas topográficas da Coordenaria de Ação Regional Divisão de Geografia (SÃO PAULO, 1979), Quadrículas: 060/086, 061/086, 060/087, 061/087 com escala de 1:10.000.
- ✓ Carta pedológica semi-detalhada de São Carlos na escala de 1:100.000;
- ✓ Software AutoCad para georreferenciamento, elaboração e vetorização das cartas;
- ✓ Software Spring para a importação dos mapas do AutoCAD em formato dxf e exportação para o Idrisi em formato tif;
- ✓ Nove fotografias aéreas. Faixas: 42, Nº 16, 17, 18, 19, 20 e 43, Nº 21, 22, 23, 24. Escala 1:40.000 da Terrafoto. São Paulo, 1988.
- ✓ Mosaico de fotos de 2000 coloridas digitais da Terrafoto.

- ✓ Mapa Geológico digital de Delgado et al. (2004) em extensão dwg (AutoCAD) e Mapa Geológico de Queiroz Neto (1960) com escala de 1:100.000.
- ✓ Software Idrisi32, para o cruzamento dos mapas com os fatores da EUPS e geração do mapa de perda de solo.

A seguir serão discutidas as técnicas utilizadas para a construção dos documentos cartográficos que constituíram a base para a aplicação da metodologia proposta.

### **4.3. Documentação Cartográfica**

#### **4.3.1. Base Cartográfica**

A base cartográfica foi digitalizada e organizada para posterior aplicação das técnicas de construção das Cartas Clinográfica e de Dissecação Horizontal. Através da união das cartas topográficas da Coordenaria de ação regional divisão de Geografia (SÃO PAULO, 1979), folhas: 060/086, 061/086, 060/087, 061/087 com escala de 1:10.000, foi feito um mosaico compondo a Bacia Hidrográfica do Córrego da Água Branca. Essas cartas foram digitalizadas através do scanner, inseridas no software AutoCAD através do comando "insert – raster image" e vetorizada a área da bacia de interesse, através do comando "polyline", bem como as curvas de nível e a rede hidrográfica. Apesar da escala de trabalho ser 1:10.000, as Cartas elaboradas foram impressas na escala 1:20.000, pois através do AutoCAD é possível alterar a escala de impressão sem comprometer a apresentação dos dados da imagem.

#### **4.3.2. Carta Clinográfica**

Também conhecida como Carta de Classes de Declividade, esta carta foi chamada de Carta Clinográfica, como sugere De Biasi (1992), cujas orientações técnicas subsidiaram a elaboração deste documento. De acordo com Cunha (2001), os dados das classes de declividade são muito importantes para a avaliação das áreas de maior dinamismo geomorfológico.

Através da análise do desnível altimétrico e da distância horizontal entre curvas de nível é possível obter a declividade do terreno. Segundo De Biasi (1992), os dados de declividade são obtidos através da seguinte fórmula:

$$D1 = \frac{n \times 100}{E}$$

Onde:

**D**= Declividade, em porcentagem;

**n** = Eqüidistância das curvas de nível (desnível altimétrico).

**E**= Espaçamento entre as curvas de nível (distância horizontal).

Quanto maior a proximidade das curvas de nível, maior será a declividade do terreno e vice-versa. A partir dessa premissa e utilizando a fórmula apresentada, calculam-se os valores de interesse das classes de declividade e utiliza-se um ábaco graduado para sua delimitação. Com relação às áreas envolvidas por uma mesma curva de nível como topos, fundos de vales ou setores de patamares, foi adotada a proposta de Sanchez (1993), que consiste na utilização de um ábaco suplementar, com metade do valor da eqüidistância das curvas de nível.

Para este trabalho a Carta Clinográfica foi elaborada – apesar de utilizar o software AutoCAD – de maneira analógica, porque deste modo é possível obter grande nível de detalhe nas informações. Zacharias (2001) afirma que, através de um SIG, alguns dados poderiam ser generalizados, sendo a técnica convencional mais indicada qualitativamente, embora demande maior tempo e dedicação. Ao utilizar o AutoCAD e não um SIG, na elaboração desta carta mantém-se a confiabilidade e o detalhamento do método analógico, contudo, através das ferramentas deste software é possível trabalhar em escalas bem maiores, o que permite um detalhamento ainda maior.

Para o cálculo da distância entre as curvas de nível que representa cada classe de declividade fez-se uso da seguinte fórmula:  $dC = \frac{n}{D}$

Onde:

“**dC**” corresponde à distância (comando “dist” no AutoCAD) da classe no ábaco virtual;

“**n**” à eqüidistância das curvas de nível;

“**D**” elevação percentual da superfície, de acordo com a classe de interesse (Figura 10).

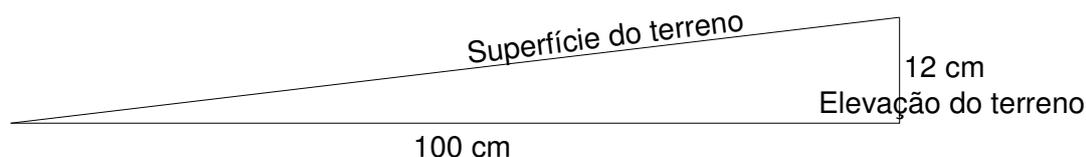


Figura 10 - Exemplo do valor “D” para uma classe de declividade de 12%.

A base desta carta foi a Carta Clinográfica apresentada por Zanchetta et al. (2006), no Plano de Manejo Integrado das Estações Ecológica e Experimental de Itirapina em 2006, que são Unidades de Conservação apoiadas pelo Instituto Florestal do Estado de São Paulo, as quais compõem 43 % da área da Bacia do Córrego da Água Branca. As classes de declividade adotadas (Tabela 8) foram aquelas já definidas no trabalho de Zanchetta et al. (2006), o qual foi utilizado em parte para a elaboração desta carta.

Para o ábaco suplementar dividiram-se os valores dos afastamentos das curvas de nível por dois, seguindo a recomendação Sanchez (1993).

Tabela 8 – Classes de declividade e distanciamento das curvas de nível de acordo com o ábaco “virtual”.

Classes de declividade	Afastamento das curvas no ábaco virtual	Cores de Identificação de cada classe
< 3%	> 166,7 m	Verde
3  —— 6%	166,7  —— 83,3 m	Amarelo
6  —— 12%	83,3  —— 41,7 m	Laranja
12  —— 25%	41,7  —— 20 m	Vermelho
≥ 25%	≤ 20 m	Preto

#### 4.3.3. Carta de Dissecação Horizontal

A Carta de Dissecação Horizontal foi elaborada de acordo com Spiridonov (1981). Esta carta identifica a distância que separa os canais fluviais dos divisores de água da bacia, o que, para Cunha (1997), possibilita avaliar o trabalho de dissecação horizontal elaborado pelos rios sobre a superfície de interesse. Segundo Cunha (2001, p. 47), “a carta auxilia na avaliação da fragilidade do terreno à atuação dos processos morfogenéticos, indicando setores onde interflúvios mais estreitos denotam maior suscetibilidade à atuação destes”.

O primeiro passo para a elaboração desta carta foi a delimitação de todas as sub-bacias na base cartográfica e, num segundo momento, realizou-se a classificação das áreas entre o talvegue e a linha de cumeada de acordo com a sua distância. Utilizou-se a técnica “semi-automática” proposta por Zacharias (2001),

através da cartografia digital pelo software AutoCAD Map. Esse método permite que o usuário acompanhe as etapas de elaboração e ao mesmo tempo requer o pleno conhecimento do mesmo sobre a elaboração desta carta. Silva (2005) detalhou esta técnica ao analisar a morfometria de sua área de estudo.

Para a elaboração das classes de dissecação horizontal foi considerada a recomendação de Spiridonov (1981) de dobrar os valores nos intervalos de classe. Como a escala de impressão das Cartas desta pesquisa é de 1:20.000, a primeira classe foi estabelecida a partir do valor de 20 metros, o que corresponde a um milímetro, menor distância possível de ser mapeada devido a capacidade visual do elaborador e de ser representada nos equipamentos para impressão. Também foram consideradas as características morfoesculturais e morfoestruturais da área para efeito da validação qualitativa do produto final elaborado. Deste modo, foram criadas as classes de dissecação horizontal conforme a tabela seguinte.

Tabela 9 – Classes de Dissecação Horizontal do relevo e cores representativas.

<b>Classes</b>	<b>Cores de Cada Classe</b>
< 20 m	Preto
20 a 40 m	Vermelho
40 a 80 m	Laranja
80 a 160 m	Laranja claro
160 a 320 m	Amarelo
320 a 640 m	Verde claro
≥ 640 m	Verde escuro

#### **4.3.4. Carta de Uso da Terra e Cobertura Vegetal**

A Carta de Uso da Terra e Cobertura Vegetal foi elaborada a partir da vetorização de imagens de fotografias aéreas coloridas do ano de 2000 em meio digital, cedidas pelo Instituto Florestal do Estado de São Paulo. A análise e delimitação das áreas de uso e cobertura foram feitas através da inserção da Imagem no software AutoCAD Map (Map - Image - Insert) e a delimitação dos polígonos pelo comando “polyline” (Figura 11).

Esta carta não foi elaborada de modo automático, mas sim através da interpretação visual das fotografias aéreas e do conhecimento prévio da área. Para identificar os diversos usos da terra da área de pesquisa, considerou-se o padrão de textura, cor e formato das parcelas. Além disso, através de trabalhos de campo, foi possível avaliar o mapa elaborado, assim como colher dados mais atualizados sobre

esta questão. As classes de uso apresentadas são: silvicultura, cana-de-açúcar, campos e pastagens, cerrado, mata, mata ciliar, cultura temporária, cultura perene, granjas e área urbanizada. Além dessas, para solucionar o problema de áreas localizadas próximas às áreas urbanas, foi criada a classe de cobertura herbácea. Esta classe representa áreas de transição do espaço rural para o urbano que não apresentam vegetação natural definida, mas, também não apresentam grande exposição do solo.



Figura 11 - Detalhe da vetorização dos polígonos das classes de uso, utilizando o AutoCAD.

#### 4.3.5. Carta Pedológica

A Carta Pedológica foi elaborada a partir da Carta de Solos, Quadrícula de São Carlos, de Oliveira e Prado (1984), na escala 1:100.000. Através de visita de campo, verificou-se o predomínio do Neossolo Quartzarênico e do Latossolo Vermelho-Amarelo. Pinheiro (2006) salientou a necessidade de mais dados para confirmar e detalhar as informações de Oliveira e Prado (1984), apesar de tratar-se de um mapa de boa qualidade, mas, de escala de menor detalhe (1:100.000). Neste sentido foram feitas alterações no mapa dos autores citados acima, após a verificação em campo das discrepâncias das informações de Oliveira e Prado (1984), devido à escala de trabalho (1:10.000) desta pesquisa.

Através da análise estereoscópica em fotografias aéreas foi possível verificar uma ruptura no relevo - vale destacar que foi utilizado um estereoscópio de espelho, possibilitando uma maior visualização - caracterizada pela área de contato entre o Neossolo Quartzarênico e o Latossolo Vermelho-Amarelo. Essa nova delimitação ficou, então, compatível com a checagem em campo. Desta maneira, foi gerada uma nova carta pedológica, através do software AutoCAD, a qual serve de base para o cruzamento dos mapas no Idrisi32. Foi escaneado o overlay utilizado para a estereoscopia, sobreposto ao mapa antigo, através do comando "insert – raster image" no AutoCAD e vetorizados os novos limites através do comando "polyline".

Nesta nova carta mantiveram-se os cinco tipos de solos (Figura 8) para a bacia: Latossolo Vermelho; Latossolo Vermelho-Amarelo; Neossolo Quartzarênico; Neossolos Litólicos e Gleissolos, no entanto, com a redefinição de alguns limites.

#### **4.3.6. Carta Geológica**

Foi elaborado um "croqui" geológico da área, cuja base foi o mapa geológico apresentado por Delgado et al. (2004), por ocasião da elaboração do Plano de Manejo Integrado das Estações Ecológica e Experimental de Itirapina, feito a partir do Mapa do IPT (1981) de escala 1:500.000 e adaptado com o de Queiroz Neto (1960) com escala de 1:100.000, a partir deste mapas foi feita a adequação para a escala de trabalho no AutoCAD de 1:10000, a checagem de campo foi fundamental para a correlação das informações. Este esboço manteve os dados na parte da bacia hidrográfica que concerne à área da Estação Experimental. Quanto ao restante da área de estudo, os limites foram extrapolados levando-se em conta a topografia e os dados obtidos em campo. Verificou-se, através dos dados disponíveis, que na margem direita do Córrego da Água Branca as áreas similares de maiores altitudes na área apresentam a Formação Botucatu, enquanto nas áreas dissecadas e nos fundos de vale aflora a Formação Pirambóia. Foi mantida a Formação Serra Geral no interflúvio entre os Córregos da Água Branca e Limoeiro 1 e no Morro do Baú foi traçado o limite desta formação de acordo com o limite do escarpamento do relevo, verificado na estereoscopia quando da interpretação dos pares de fotografias aéreas para a elaboração da Carta Geomorfológica. Quanto à margem esquerda da bacia, aflora a Formação Botucatu quase em sua totalidade, excetuando-se a área escarpada do Morro do Baú (Formação Serra Geral).

#### 4.3.7. Carta Geomorfológica

A cartografia geomorfológica de detalhe possibilita o reconhecimento da morfodinâmica dos ambientes e, dessa forma, a identificação dos setores mais susceptíveis aos processos denudativos.

Segundo Tricart (1965) a Carta Geomorfológica deve fornecer uma descrição dos elementos do relevo, na qual toda unidade geomorfológica deve aparecer e as superposições das formas devem ser concebidas. Esta carta é centrada na forma do relevo, de degradação ou de acumulação, correspondente à noção de escultura pelas erosões, ou, de maneira mais geral, da construção do modelado do relevo. A Carta Geomorfológica detalhada deve mostrar as relações no espaço e no tempo das unidades que esta apresenta (TRICART, 1965).

Neste trabalho é importante a utilização desta carta porque permite levantar dados que a modelagem não contempla, tais como a concavidade e a convexidade das vertentes, a presença de sulcos erosivos ou ravinamentos, bem como as áreas de acumulação de sedimentos. Segundo Baccaro (2005, p. 198):

Os estudos da dinâmica das vertentes são essenciais, não somente para uma compreensão da evolução das paisagens geográficas, mas também como um meio para estabelecer o controle dos processos acelerados de erosão e sedimentação, resultantes das alterações feitas pelo homem na paisagem natural.

Com o objetivo de comparar os dados quantitativos da modelagem com dados qualitativos, elaborou-se a Carta Geomorfológica a partir da interpretação de pares estereoscópicos de fotografias aéreas pancromáticas de 1988, também obtidas junto ao Instituto Florestal, São Paulo – SP. As informações obtidas com a fotointerpretação foram ainda complementadas por dados levantados em campo. Para a elaboração desta carta utilizou-se, predominantemente, a simbologia proposta por Tricart (1965) para identificar as diversas formas de relevo, complementando-se estas com alguns símbolos de Verstappen e Zuidam (1975). Conforme a proposta de Tricart (1965) os dados geológicos foram inseridos, sob a forma de um fundo da carta. Além disso, também foram inseridas as curvas mestras distando 25 m entre si.

Através da análise estereoscópica foram mapeados os elementos do relevo relacionados a agradação e degradação, enfatizando-se as formas de vertentes, as linhas de cumeada, os fundos de vale, bem como planícies e terraços fluviais e as interferências antrópicas como terraços agrícolas, sulcos erosivos e ravinas.

Para a edição final desta carta, foi feita a digitalização do overlay resultante da estereoscopia, inserida a imagem no AutoCAD através do comando “insert – raster image” e, por fim, a vetorização através do comando “polyline”.

Os dados obtidos com os documentos cartográficos elaborados foram também utilizados para a obtenção dos fatores da EUPS os quais possibilitaram gerar cartas de estimativa de perda de solo e de potencial natural à erosão. A seguir apresentam-se as técnicas utilizadas com esse objetivo.

#### 4.4. Fatores da EUPS

##### 4.4.1. Fator Erosividade da Chuva (R)

O fator erosividade da chuva é um índice que expressa a capacidade da chuva causar erosão em uma área sem proteção. O fator R da equação deve quantificar o impacto das gotas da chuva e da energia da enxurrada.

A fórmula para cálculo do fator R, neste trabalho, baseou-se em Lombardi Neto e Moldenhausner (1980), citado por Bertoni e Lombardi Neto (1985):

$$Elm = 6,886 (r^2/P)^{0.85} \quad \text{Onde:}$$

**Elm** = média mensal do índice de erosão (MJmm/ha.h);

**r** = precipitação média mensal (mm);

**P** = precipitação média anual (mm).

Para o cálculo do fator R neste trabalho foram utilizados os dados de uma estação meteorológica presente na bacia. Esta estação situa-se no município de Itirapina, com uma altitude de 790m e coordenadas 22°14' S e 47°48' W. O período de coleta é de 1936 a 1999, sendo que inexistem dados para os anos de 1988 e 1989. Para obtenção do EI total faz-se a somatória dos EIs mensais, cujo resultado final para o fator R foi 5741,1 MJmm/ha.h. (Tabela 10).

O índice do Fator R representa uma média para compor a EUPS, por isso seus valores não podem ser considerados em absoluto, contudo servem para uma análise relativa ao restante do estado de São Paulo, onde os valores excedem 6000 MJmm/ha.h. em sua grande maioria alcançando 8000 MJmm/ha.h. nas áreas próximas a Franca. É possível então observar que para a área em questão o índice

não revela uma elevada potencialidade erosiva da chuva, mas caracteriza-se como uma das mais baixas do estado.

Tabela 10 - Valores para aplicação da fórmula para o cálculo de R.

Meses	Precipitação média mensal (mm)	Precipitação média anual (mm)	Média mensal do índice de erosão (MJmm/ha.h)
Jan	240,5	1352,3	1386,3
Fev	217,1		1164,7
Mar	152,9		641,9
Abr	69,1		166,3
Mai	59,4		128,7
Jun	36,8		57,1
Jul	26,4		32,3
Ago	27,4		34,5
Set	61,1		134,9
Out	123,1		443,9
Nov	140,9		558,6
Dez	197,5		991,9
<b>Total (Fator R)</b>			5741,1

#### 4.4.2. Fator Erodibilidade do Solo (K)

Para determinação da erodibilidade dos solos utilizou-se a proposta de Pinto et al. (2002) que se constitui na aplicação da fórmula de Wischmeier e Smith (1978) ajustada pela Embrapa:

$K = 2,8 \cdot 10^{-7} \cdot M^{1,14} (12-a) + 4,3 \cdot 10^{-3} (b-2) + 3,3 \cdot 10^{-3} (c-3)$ , onde

**M**= parâmetro relacionado ao tamanho das partículas (adimensional);

**M** = (% silte + % areia muito fina) x (100 - % argila)

**a** = % matéria orgânica;

**b** = código de estrutura do solo (Tabela 11);

**c** = classe de permeabilidade do perfil do solo (Tabela 11).

Tabela 11- Parâmetros b e c que compõem a fórmula do fator K, de acordo com Pinto et al. (2002).

Valores Parâmetros	1	2	3	4	5	6
<b>B</b>	Granular muito fina	Granular fina	Média a Granular	Em blocos laminar macia	----	----
<b>C</b>	rápida	Moderada a rápida	Moderada	Lenta a moderada	Lenta	Muito lenta

A partir dos dados obtidos de Oliveira e Prado (1984), foram determinados os parâmetros “a”, “b” e “c” da fórmula utilizada. Os resultados estão expressos na tabela abaixo.

Tabela 12 - Valores do fator K.

CLASSES DE SOLOS	M	a	b	c	FATOR K
Neossolo Quartzarênico	3094	0,4	1	1	0,020061
Gleissolos	4635	1,9	2	6	0,052634
Latossolo Vermelho-Amarelo	3360	0,5	2	2	0,021694
Latossolo Vermelho	576	3,2	3	5	0,034387
Neossolos Litólicos	4144	2,4	3	5	0,040174

De posse, então, dos valores do fator K estes são inseridos na carta pedológica, substituindo as informações qualitativas pelas quantitativas no Idrisi32, para o cruzamento com os outros mapas.

#### 4.4.3. Fator Topográfico (LS)

Para o cálculo do fator topográfico seguiu-se a proposta de Mendes (1993) que obteve os dados de declividade e comprimento de rampa através da construção de cartas de declividade e de dissecação horizontal.

Após a elaboração destas duas cartas em ambiente AutoCAD (arquivo de extensão DWG) o arquivo resultante foi exportado (em extensão DXF versão R12) para o Spring e, então, novamente exportado (TIFF / GEOTIFF) para o Idrisi32, onde foi feito o cruzamento dessas duas cartas através do comando “Image Calculator”, aplicando a fórmula proposta por Bertoni e Lombardi Neto (1985) que possibilita calcular, para o estado de São Paulo, os fatores LS conjuntamente:

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

Onde:

C= Comprimento de rampa em metros (Carta de Dissecação Horizontal);

D= Grau de declividade em porcentagem (Carta Clinográfica).

O resultado do cruzamento foi uma nova carta do fator LS, que é uma última vez cruzada com os outros mapas para a geração das cartas de potencial natural à erosão e de perdas de solo.

#### 4.4.4. Fator de Uso e Manejo dos Solos (C)

O fator uso e manejo do solo mede o efeito combinado de todas as relações das variáveis de cobertura e manejo. Neste trabalho foram utilizados os valores de C obtidos para a microbacia do São Joaquim / SP por Donzelli et al. (1992), pela confiabilidade do trabalho e pela similaridade quanto ao clima e relevo.

Os valores de C foram agregados na Carta de Uso da Terra e Cobertura Vegetal elaborada a partir da interpretação de fotografias aéreas. Após a elaboração desta carta, os dados qualitativos foram transformados em quantitativos, através do software Idrisi32, de acordo com a Tabela 13.

Para a estimativa da perda de solos e do PNE foram desconsideradas as áreas urbanas da bacia, pois como a EUPS é utilizada considerando a erosão de superfície e a área urbana possui a maior parte da superfície impermeabilizada, considerou-se, portanto, que o modelo não pode ser aplicado nesta situação.

Tabela 13 - Dados de Valores do Fator C para as classes de uso da terra na Bacia do Córrego da Água Branca.

<b>Cultura/Cobertura Vegetal</b>	<b>Fator C</b>
Cultura Temporária / Milho	0.08
Citros	0.13
Cana-de-açúcar	0.10
Pasto/Pasto Sujo	0.01
Reflorestamento	0.0001
Mata/Vegetação Natural	0.00004
Cerrado	0.0007

Fonte: Donzelli et.al. (1992).

#### 4.4.5. Fator Práticas Conservacionistas (P)

O fator P da EUPS é a relação entre perdas de solo com determinada prática conservacionista e aquelas cuja cultura está plantada no sentido do declive (morro abaixo) (WISCHIMEIER; SMITH, 1978). As práticas conservacionistas mais comuns para as culturas anuais são o plantio em nível, faixas vegetadas, terraceamento e alternância de capinas. Este fator varia de 0 a 1, onde valores iguais a 1 se referem às áreas sem práticas de conservação e valores menores que 1 são áreas que possuem práticas de conservação.

Bertoni e Lombardi Neto (1985) estudaram as Práticas Conservacionistas (P) para as condições do estado de São Paulo e identificaram quatro tipos principais e seus respectivos valores, expressos na tabela que se segue:

Tabela 14 - Valores do fator P.

<b>Práticas Conservacionistas</b>	<b>Valor de P</b>
Plantio morro abaixo	1,0
Plantio em contorno	0,5
Plantio de capinas + plantio em contorno	0,4
Cordões de vegetação permanente	0,2

O valor de P para a área terraceada é o mesmo do plantio em contorno seguindo a proposta estabelecida por Bertoni e Lombardi Neto (1985).

Para a área estudada, utilizou-se o valor de 0,5, pois, verificou-se a utilização de curvas de nível e plantios de contorno na área rural. Desta maneira, os dados qualitativos obtidos através da checagem de campo foram transformados em dados quantitativos e inseridos na fórmula da EUPS, para o cálculo através do comando “image calculator” do Idrisi. Após esse procedimento, por fim, o Idrisi gera o mapa de perdas, ainda não classificado, que receberá o tratamento para o layout final, conforme será explicado a seguir na elaboração dos produtos cartográficos de síntese.

#### **4.5. Os Produtos Cartográficos de Síntese**

##### **4.5.1. Carta de Potencial Natural à Erosão (PNE)**

Segundo Stein et. al. (1987, p.117), “o Potencial Natural à Erosão Laminar representa a interação dos principais fatores naturais do meio físico intervenientes no processo da erosão laminar”. Este mapa corresponde às estimativas de perda de solo em áreas destituídas de cobertura vegetal e de intervenção antrópica. De acordo com estes autores, os valores não devem ser observados quantitativamente, no entanto, pode ser feita uma ordenação qualitativa, distinguindo os distintos potenciais de erosão laminar.

Os resultados podem evidenciar as combinações de K e LS, já que o valor de R é constante para toda a área. Dessa forma, duas áreas de relevos

semelhantes, mas, de solos distintos, podem apresentar valores diferentes de PNE e vice-versa.

Seguindo, então, os parâmetros estabelecidos por Stein et. al. (1987) foi elaborado uma Carta de Potencial Natural à Erosão Laminar (PNE), resultante da multiplicação dos fatores R, K e LS, retirados da EUPS.

Nesta Carta, as áreas de planícies de acumulação não foram consideradas, pois, prevalecem os processos de deposição de sedimentos, enquanto que a EUPS estima apenas a erosão. Para tanto, utilizou-se das áreas de acumulação identificadas na Carta Geomorfológica e, deste modo, foi gerado uma carta apresentando apenas as áreas de acumulação fluvial; esta carta foi exportada para o Idrisi e os valores das classes de acumulação foram zerados, enquanto que o restante da carta recebeu o valor de 1 para o cruzamento com as outras cartas; o resultado foi uma carta apresentando ausência de valores para a área das planícies.

O cruzamento dos fatores da EUPS, exceto os fatores C e P, para geração dessa carta foi realizado no Software Idrisi 32, através do comando “Image Calculator” (Figura 12).



Figura 12 - Utilização do comando Image Calculator.

Desta forma, foram inseridos e cruzados os valores do fator R, a Carta do fator LS, a Carta do fator K e a Carta das áreas de acumulação fluvial. O mapa resultante trata-se de um trabalho preliminar, sendo necessário redefinir os valores, agora qualitativos, através do comando “Data Entry - Edit” (Figura 13).

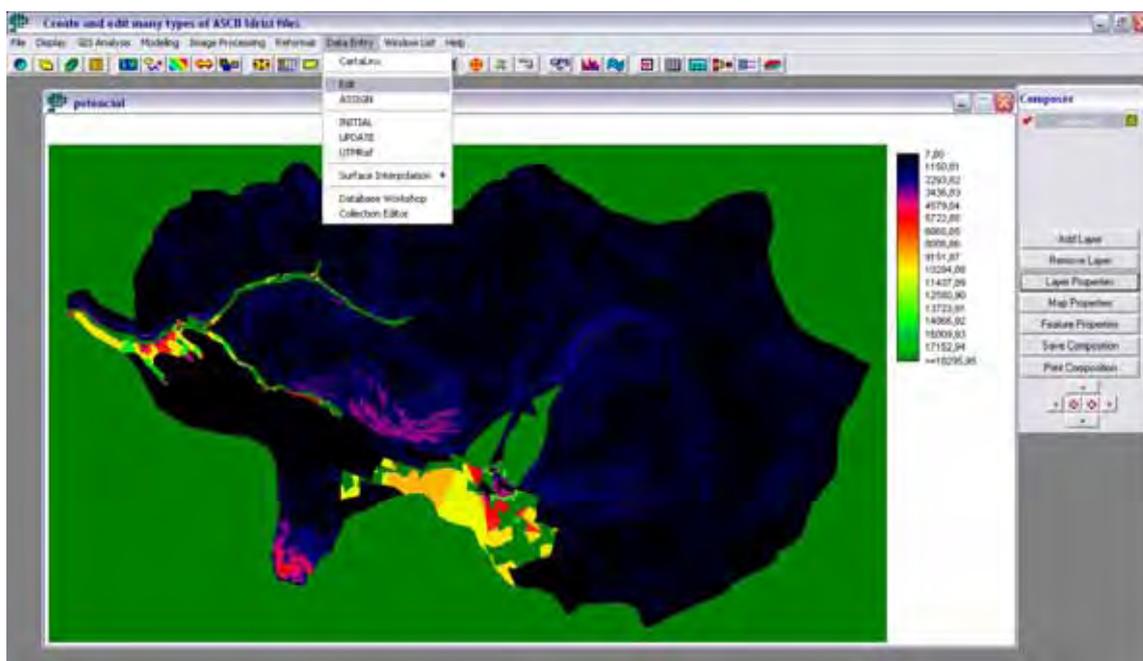


Figura 13 - Utilização do comando Edit.

Em seguida, é preciso aplicar a técnica da reclassificação, através do comando "GIS Analysis - Database Query - ASSIGN" (Figura 14), no qual o mapa gerado deverá conter valores aritméticos iniciando com zero.

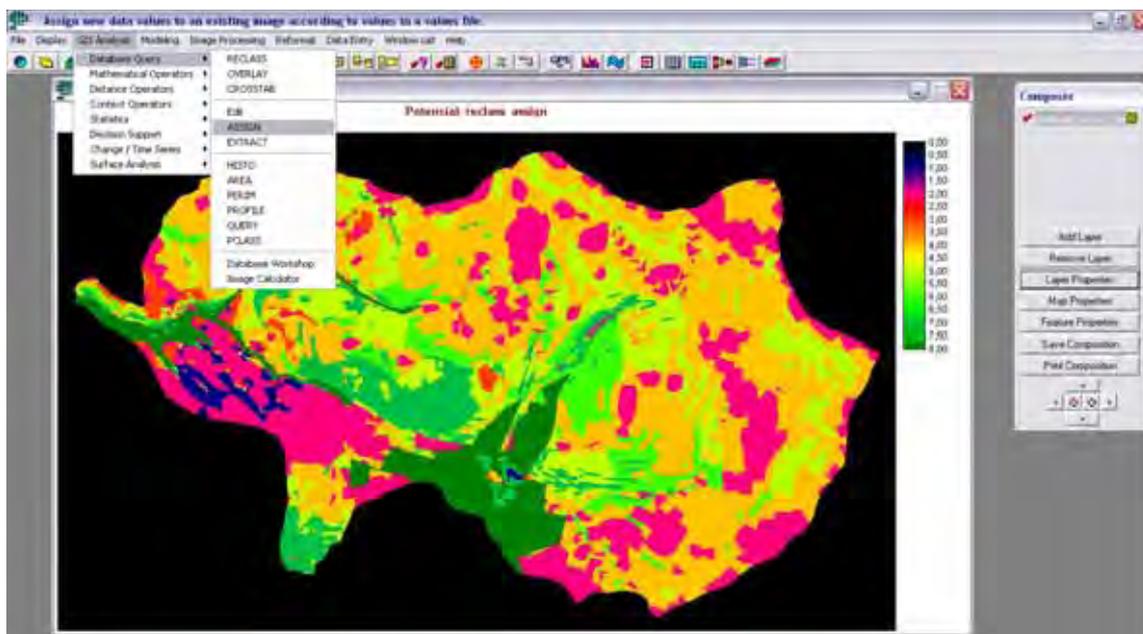


Figura 14 - Utilização do comando ASSIGN.

Após ser executado o comando ASSIGN, os dados foram então reclassificados através do comando “GIS Analysis - Database Query - RECLASS” (Figura 15). O *layout* final foi elaborado no software AutoCAD.

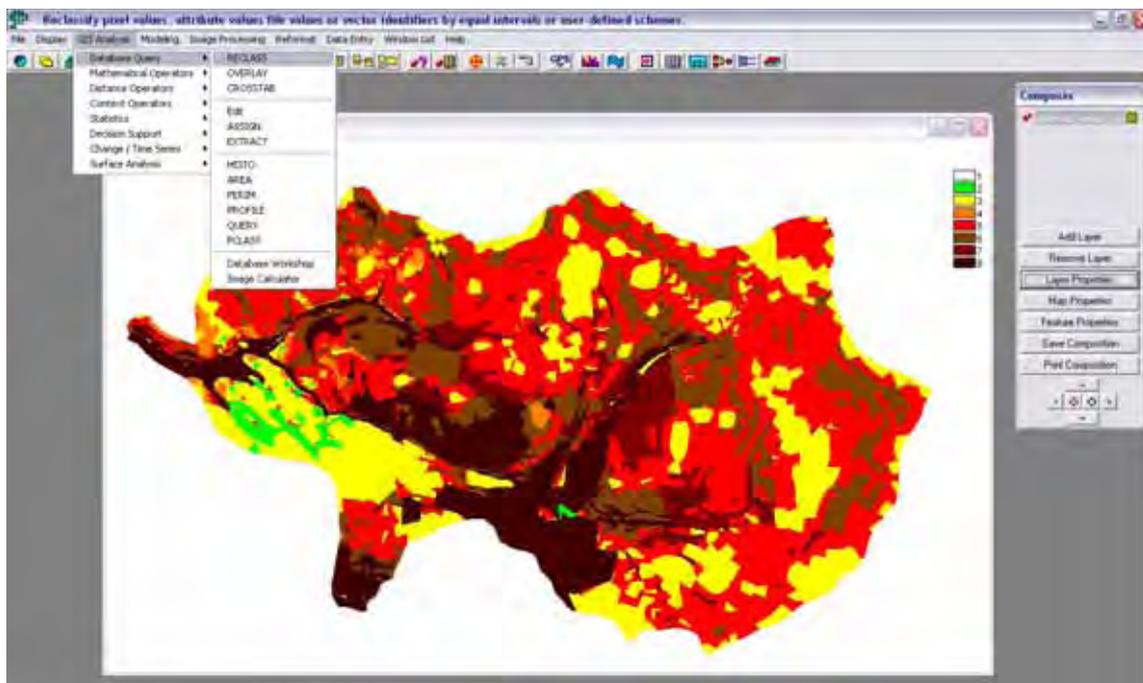


Figura 15 - Utilização do comando RECLASS.

A técnica da reclassificação, através do Idrisi, é muito importante porque esta permite a divisão das classes resultantes do último cruzamento, pois o mapa gerado não apresenta divisão de classes. Sua importância se deve também pelo fato de que após esse procedimento torna-se possível a exportação do arquivo para a elaboração do *layout* final.

As classes selecionadas no processo de reclassificação do software Idrisi foram utilizadas também por Brito et al. (1998), Pinheiro et al. (2007) e Aquino et al. (2007), baseados em Stein et al. (1987), que propuseram a elaboração e aplicação da Carta de PNE para representar a interação dos principais fatores naturais do meio físico atuantes no processo da erosão laminar para todo o estado de São Paulo.

#### 4.5.2. Carta de Estimativas de Perda de Solo

Esta carta é resultante da multiplicação de todos os fatores da EUPS, formulada por Wischmeier e Smith (1978), e permite a representação espacial da estimativa das perdas de solo por erosão laminar. Representa, então, uma estimativa do quanto a área pode perder de solo pela erosão laminar em virtude das condições atuais desta, o que inclui as interferências antrópicas na aplicação da equação.

Nesta Carta foram também desconsideradas as planícies de acumulação, pois o modelo utilizado neste trabalho estima apenas a perda de solo e não a deposição. Além disso, o modelo não foi aplicado às áreas urbanas, pois, estas não se comportam como uma superfície sujeita a erosão laminar devido à presença da impermeabilização.

Os procedimentos são semelhantes à geração da carta de PNE, descrita anteriormente, no entanto, esta resultou do cruzamento de todos os fatores da EUPS para sua geração no Software Idrisi 32, através do comando "Image Calculator", cruzando os valores do fator R, a Carta do fator LS, do fator K, do fator C, do fator P e, ainda, a Carta das áreas de acumulação fluvial. A carta resultante também foi reclassificada, através do comando "GIS Analysis-Database Query-RECLASS", e sua edição final foi elaborada através do software AutoCAD.

A reclassificação dos dados no software Idrisi foi elaborada de acordo com as classes utilizadas por Paranhos Filho et al. (2003). Este procedimento justifica-se devido à semelhança na variedade dos resultados quantitativos obtidos pelos autores com aqueles encontrados nesta presente pesquisa. Além disso, consideram-se de grande confiabilidade os resultados obtidos pelos autores citados.

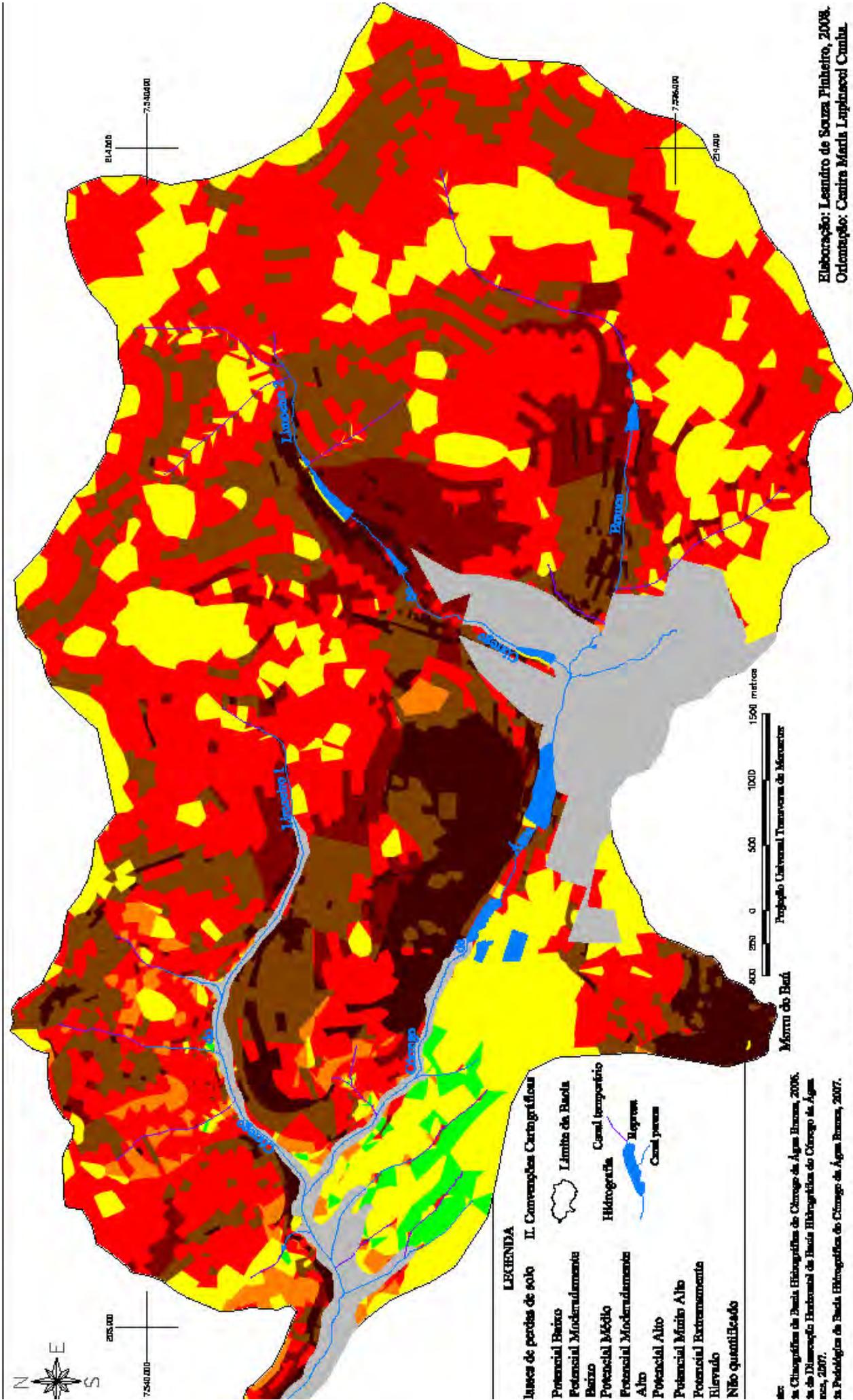
## 5. ANÁLISE DOS RESULTADOS

A área apresenta um potencial erosivo relativamente heterogêneo, expresso na Carta de Potencial (Figura 16), as classes de perdas de solo localizam-se em áreas, de certa forma, bem definidas. Este fato se dá em virtude do uso do solo, pois a Carta de Potencial erosivo supõe que toda área esteja sem cobertura vegetal.

A heterogeneidade da Carta de PNE esta relacionada à variação da declividade (Figura 17) e da Dissecação Horizontal do relevo (Figura 18), bem como das feições geomorfológicas (Figura 19). Existem locais onde a declividade é baixa, mas as longas vertentes potencializam a erosão, fato que Bertoni et al. (1972) confirmam afirmando que com o aumento do comprimento da vertente as perdas de solo aumentam conseqüentemente, pois a quantidade de água no escoamento se acumula potencializando a ação erosiva ao longo da vertente. Em outras situações as vertentes longas são cortadas por linhas de ruptura topográfica, que significam que a declividade do terreno diminui sensivelmente à jusante, representando um rompimento no grau de inclinação da superfície e, conseqüentemente, uma diferenciação no processo erosivo, pois a velocidade do escoamento tende a aumentar com a maior declividade, elevando a capacidade de carreamento de sedimentos. Há, ainda, locais de baixo e médio potencial erosivo, mas em algumas checagens de campo foi possível verificar sulcos erosivos que demandam um maior cuidado com a área.

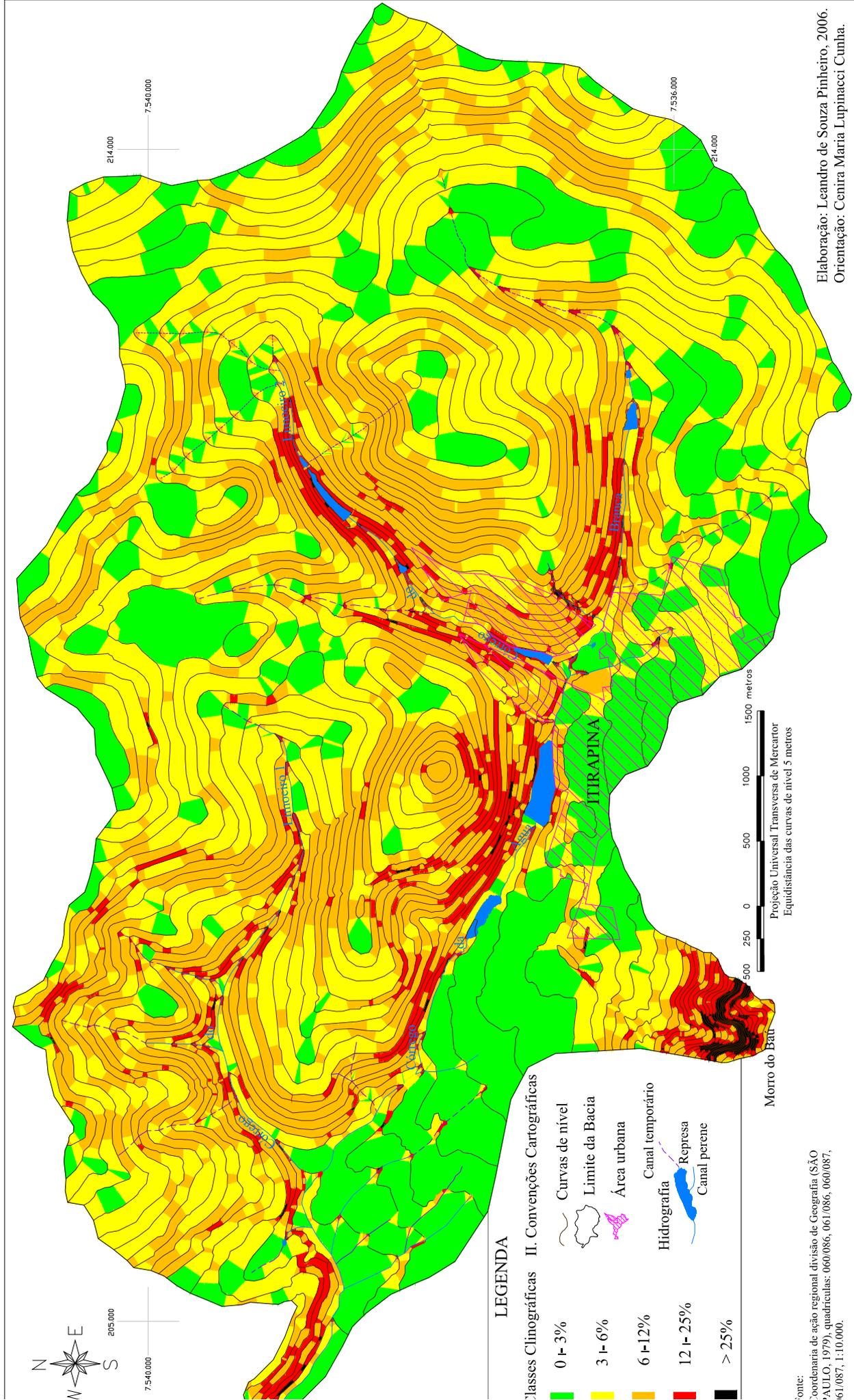
Pinheiro et al. (2007) elaborou uma Carta de PNE para a Bacia do Córrego da Água Branca utilizando dados de declividade obtidos através do Spring e utilizou um valor médio para cada sub-bacia isoladamente. O presente trabalho representa as classes com maior detalhamento e melhor definição em relação ao trabalho de Pinheiro et al. (2007); outro fator de distinção é que, ao contrário desta pesquisa, Pinheiro et al. (2007) quantificou as áreas urbana e de sedimentação.

Na área de estudo prevalecem as classes de potencial natural à erosão moderadamente baixo, moderadamente alto e alto, representando quase  $\frac{3}{4}$  do total da área da bacia. As classes de baixo potencial ocorrem nas áreas com declividades inferiores a 3% no baixo curso do Córrego da Água Branca, à margem esquerda do córrego e do falhamento ao longo do canal, pois, nestas áreas a velocidade do escoamento perde energia diminuindo, assim, o potencial erosivo.



Elaboração: Leandro de Souza Pinheiro, 2008.  
 Orientação: Centra Maria Lupatucci Cunha.

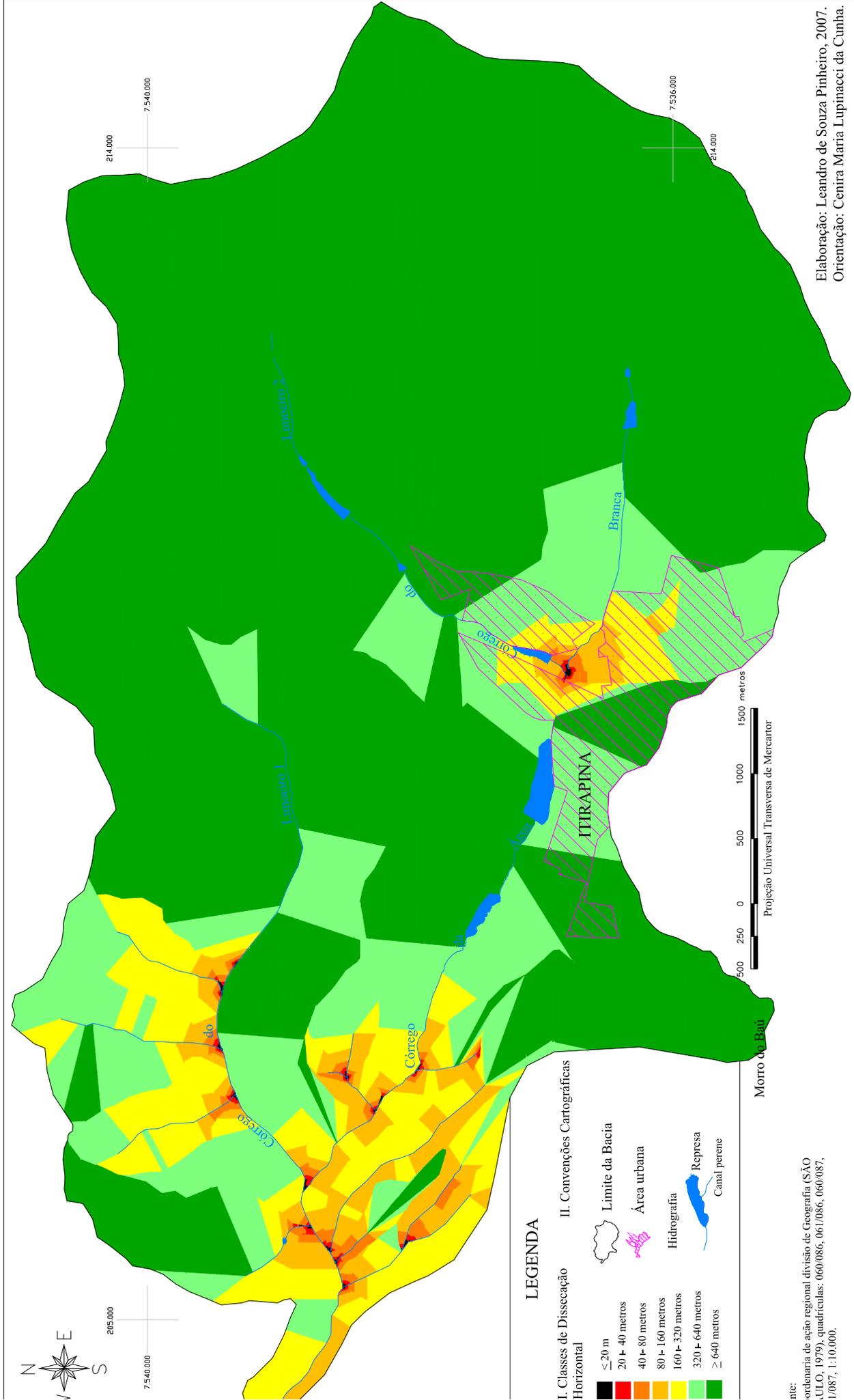
Jura 16 - Carta de Potencial Natural à Erosão da Bacia Hidrográfica do Córrego da Água Branca



Fonte:  
Coordenaria de ação regional divisão de Geografia (SÃO PAULO, 1979), quadriculas: 060/086, 061/086, 060/087, 061/087, 1:10.000.

Elaboração: Leandro de Souza Pinheiro, 2006.  
Orientação: Centra Maria Lupinacci Cunha.

Figura 17 - Carta Climográfica da Bacia Hidrográfica do Córrego da Água Branca



**LEGENDA**

**I. Classes de Dissecção Horizontal**

- ≤ 20 m
- 20 f- 40 metros
- 40 f- 80 metros
- 80 f- 160 metros
- 160 f- 320 metros
- 320 f- 640 metros
- ≥ 640 metros

**II. Convenções Cartográficas**

- Limite da Bacia
- Área urbana
- Hidrografia
- Represa
- Canal perene

nte:  
 ordenaria de ação regional divisão de Geografia (SÃO  
 ULCO, 1979), quadriculas: 060/086, 061/086, 060/087,  
 1/087, 1:10.000.

Elaboração: Leandro de Souza Pinheiro, 2007.  
 Orientação: Cenira Maria Lupinacci da Cunha.

gura 18 - Carta de Dissecção Horizontal da Bacia Hidrográfica do Córrego da Água Branca

Já a classe moderadamente baixo, de modo geral, ocorre em virtude das pequenas declividades predominantes nas vertentes da margem esquerda do Água Branca e das superfícies de cimeira.

Dominante em área, a classe de potencial moderadamente alto é consequência mais das extensas vertentes (Figura 16), em geral acima de 320 m, que potencializa o escoamento hídrico e causa um maior carreamento de sedimentos, do que da declividade, em média entre 3% a 12% (Figura 17). As classes de potencial alto e muito alto ocorrem, em muitos casos, em setores de rupturas topográficas, verificadas através do mapeamento geomorfológico (Figura 19). Nessas rupturas, a dinâmica erosiva permite maior carreamento dos sedimentos. Além disso, as declividades abaixo das rupturas são geralmente maiores das que acima da linha de ruptura, aumentando assim, a velocidade do escoamento hídrico superficial.

A classe de potencial extremamente elevado está restrita às áreas de grandes declividades, nas concavidades e convexidades das vertentes, pois são influenciadas diretamente pelo aumento da velocidade do escoamento. No entanto, esta verificação é qualitativa, visto que o modelo não considera tais formas do relevo, a possibilidade desta observação é em função da análise estereoscópica de fotografias aéreas.

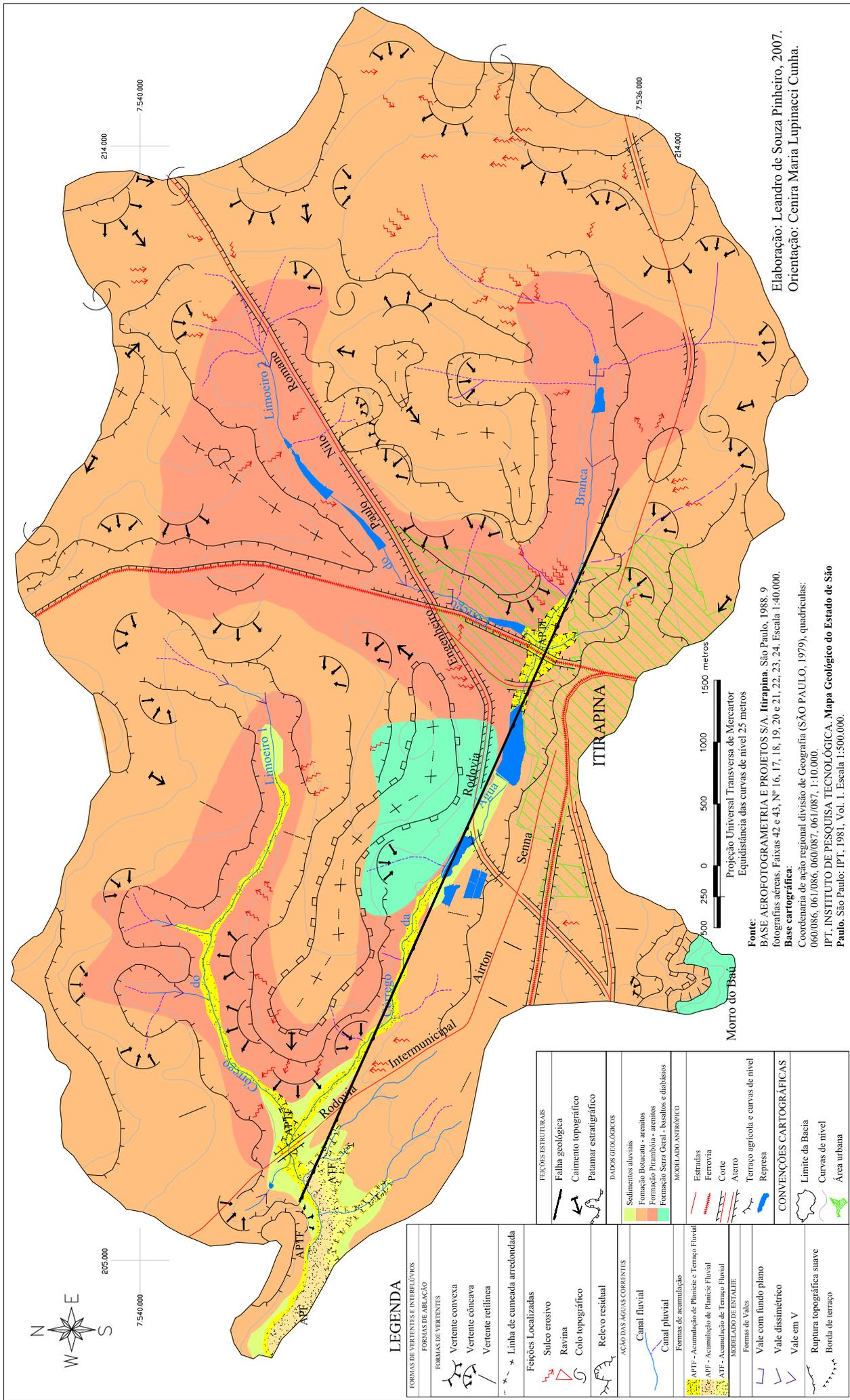
Em geral, ocorrem nas vertentes da margem direita do Água Branca, tanto no alto como no baixo curso. A área mais expressiva localiza-se no interflúvio entre o Água Branca e Limoeiro 1, mas existem ainda áreas localizadas no setor da margem direita do baixo curso, próximas às margens do Limoeiro 2. Nas vertentes da margem esquerda destacam-se as escarpas do Morro do Baú pela sua elevada declividade. O restante desta classe ocorre de maneira incipiente no restante da bacia.

A tabela abaixo apresenta os dados das Classes de potencial Natural à Erosão para a bacia hidrográfica do Córrego da Água Branca.

Tabela 15 – Área ocupada pelas classes de Potencial Natural à Erosão

Classes	Área (ha)	%
Potencial Baixo	54,0	1,3
Potencial Moderadamente Baixo	869,0	20,2
Potencial Médio	89,6	2,0
Potencial Moderadamente Alto	1645,3	38,2
Potencial Alto	675,7	15,7
Potencial Muito Alto	291,0	6,8
Potencial Extremamente Elevado	312,9	7,3
Não Quantificado	366,1	8,5
Total	4303,6	100,0





Elaboração: Leandro de Souza Pinheiro, 2007.  
 Orientação: Cenira Maria Lupinacci Cunha.

Figura 19 - Carta Geomorfológica do Córrego da Agua Branca

Os solos predominantemente arenosos, representados pelo Neossolo Quartzarênico e pelo Latossolo Vermelho-Amarelo, potencializam a fragilidade natural da área.

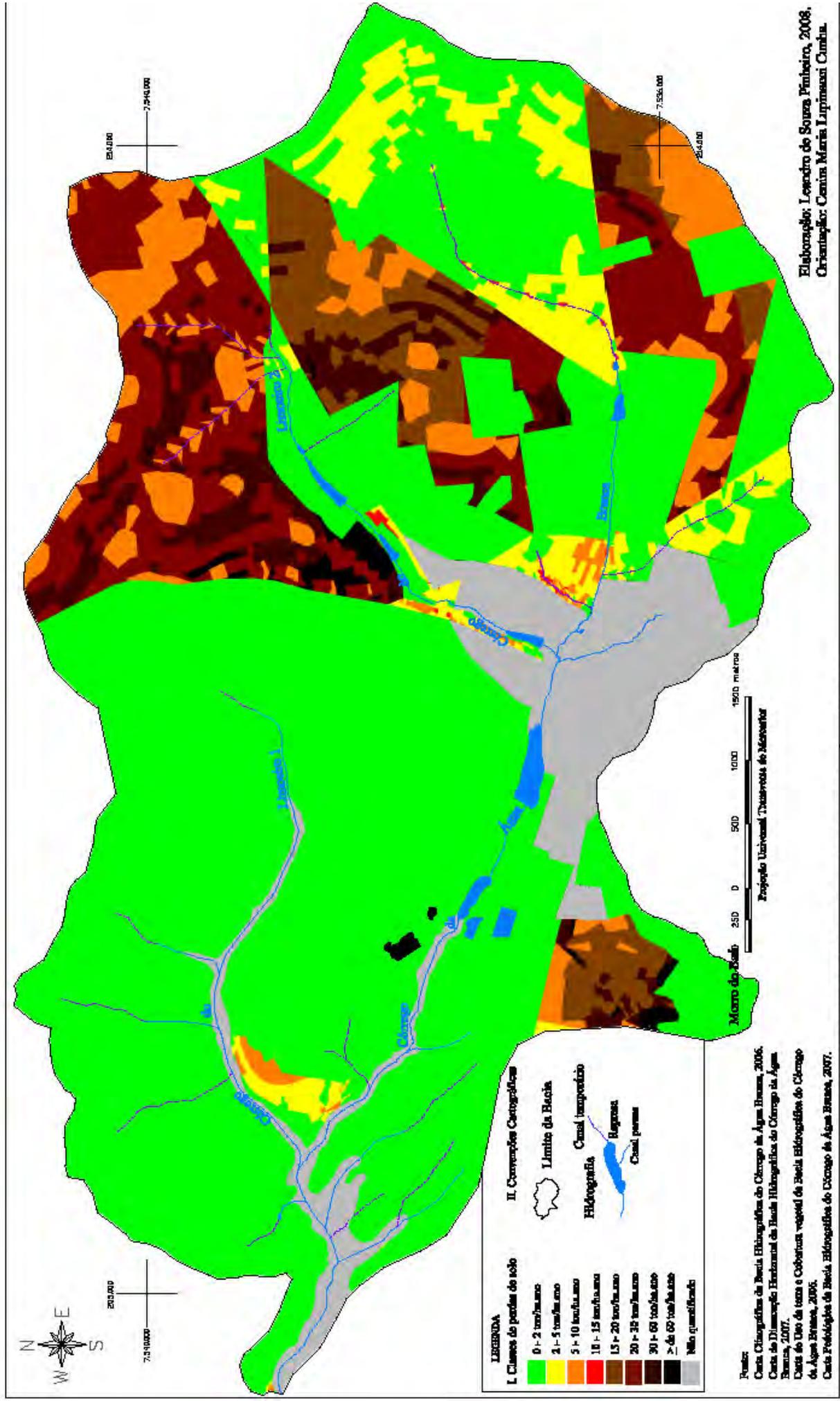
Apesar da heterogeneidade da Carta de Potencial, a Carta de Perdas de Solo por Erosão (Figura 20) apresenta uma grande área homogênea, a qual, na verdade, apresenta pequenas diferenciações que não permitem distinções entre as classes, sendo classificada como de valores menores de 2 ton./ha.ano.

Não obstante, a predominância das áreas de baixas perdas de solo não significa uma baixa fragilidade da bacia, pois existem áreas com elevadas perdas de solos. Apesar de algumas áreas apresentarem baixas taxas de perdas de solo o mapeamento geomorfológico (Figura 19) revelou a presença de sulcos erosivos, verificados através da análise de pares estereoscópicos de fotografias aéreas e através da análise de campo. Isto se dá devido ao manejo inadequado do uso do solo nas áreas consideradas de baixo potencial erosivo. Esta pesquisa não objetivou analisar os sulcos erosivos, mas eles indicam uma susceptibilidade do terreno à erosão de maneira mais visível, visto que a erosão laminar muitas vezes passa despercebida.

A tabela abaixo indica a extensão e relação das áreas das classes de perdas de solo com a totalidade espacial.

Tabela 16 – Área ocupada pelas classes de Perdas de Solo

<b>Classes</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>%</b>
0  —— 2 ton/ha.ano	2609,1	60,5
2  —— 5 ton/ha.ano	228,0	5,3
5  —— 10 ton/ha.ano	274,6	6,4
10  —— 15 ton/ha.ano	4,1	0,1
15  —— 20 ton/ha.ano	209,2	4,9
20  —— 30 ton/ha.ano	386,0	9,0
30  —— 60 ton/ha.ano	188,9	4,4
Acima de 60 ton/ha.ano	37,6	0,9
Não Quantificado	366,1	8,5
Total	4303,6	100,0



Elaboração: Leandro de Souza Pinheiro, 2008.  
 Orientação: Cecília Maria Lupinacci Cunha.

Figura 20 - Carta de Perdas de Solo por Erosão da Bacia Hidrográfica do Córrego da Água Branca

Na margem esquerda do córrego Limoeiro 1, inserida na Estação Experimental, foram constatados vários sulcos erosivos, a maior parte relacionados com uma antiga área de pastagem, além daqueles próximos a estradas ou aceiros. A declividade, nesta área, alcança 12% e a carta de dissecação horizontal indica que há uma diferenciação crescente de classes no sentido do alto curso deste canal, o que significa que à montante as vertentes são mais extensas do que a jusante.

Vale ressaltar, ainda, que neste setor prevalecem as vertentes convexas, que apresentam maior capacidade de dispersão do escoamento hídrico, diferentemente das vertentes côncavas que condicionam o escoamento concentrado. Deste modo, há uma predisposição à erosão laminar, enquanto que nas vertentes côncavas ocorre predisposição a erosão linear. Próximo à confluência do Limoeiro 1 localiza-se uma antiga área de pastagem, dentro da Unidade de Conservação; a área está em processo natural de recuperação, podendo já ser notado um, ainda incipiente, campo sujo de cerrado. Nessa área alterada são verificadas as maiores concentrações de sulcos erosivos de toda a parte da Unidade de conservação presente na área de estudo.

No baixo curso do Água Branca, localizado também na Estação Experimental, a proteção vegetal é maior; assim os sulcos ocorrem próximos à rodovia Intermunicipal Airton Senna onde praticamente não há proteção vegetal natural, pois está próxima aos talhões de *Pinus*. Dessa forma, constata-se a necessidade do estabelecimento de uma faixa de vegetação natural próxima à rodovia, a qual ofereceria maior proteção quanto à presença humana e ao escoamento superficial promovido pela rodovia.

Já no Limoeiro 2, no setor Nordeste da bacia, localiza-se uma área de cultura de *citrus* (Figura 21), situada na margem direita do córrego, com elevada perda de solo (Figura 20). Este fato se relaciona a alguns fatores principais:

- presença de uma extensa ruptura topográfica, que indica que em um setor da vertente o processo denudativo está atuando espacialmente de maneira distinta, ou seja, de forma mais acelerada em um local do que em outro. As rupturas topográficas estão representadas na Carta Geomorfológica (Figura 19), no entanto, pode ser notada também na Carta de PNE (Figura 16), onde, muitas vezes, a ruptura torna-se um marcador da separação de duas classes de PNE. Esta fato ocorre principalmente no setor Nordeste da bacia, no interflúvio do Água Branca e

Limoeiro 1 e no Morro do Baú, confirmando a fragilidade deste setor que apresenta classes de potencial alto a extremamente elevado de erosão. De maneira geral, as classes mais elevadas da bacia ocorrem abaixo da linha de ruptura topográfica, a qual demarca um aumento da declividade. Porém, quando se registram altas declividades, tanto acima como abaixo da ruptura, a distinção pode desaparecer, como no Morro do Baú ou no interflúvio do Água Branca e Limoeiro 1.

- a cultura de *citrus*, aliada à fragilidade dos solos arenosos que existem ali, não oferece proteção suficiente ao solo, mesmo que em declividade baixa e média (3% a 12%).

- a grande extensão das vertentes deste setor, pois nesta área as vertentes possuem mais de 640 metros de extensão, o que potencializa o aumento da velocidade do escoamento hídrico superficial e a perda de material. Este fato corrobora com o que salienta Bertoni et al. (1972) ao afirmarem que o aumento do comprimento da vertente eleva invariavelmente as perdas de solo.

Neste local os sulcos erosivos foram verificados logo abaixo da linha de ruptura topográfica e nas concavidades das cabeceiras do Limoeiro 2 (Figura 19). Contudo, também foi observada a presença de sulco erosivo na superfície de cimeira, o que indica que, apesar da baixa declividade, o manejo da cultura do *Citrus* não está oferecendo condições adequadas de proteção ao solo em alguns locais.

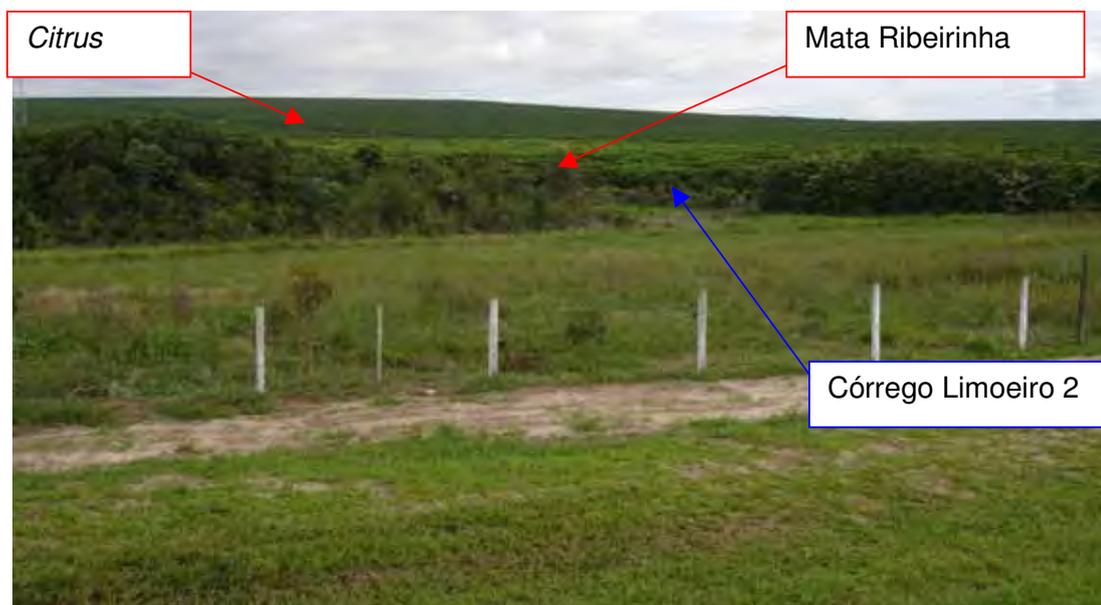


Figura 21 – monocultura de *citrus* (ao fundo) no setor NE da bacia. (fotografia: Leandro de Souza Pinheiro, 2006)

A erosão laminar prejudica a fertilidade do solo, que já é deficiente, ao carrear, juntamente com os sedimentos, os nutrientes e a matéria orgânica, presentes no horizonte A. Dessa forma, os prejuízos podem extrapolar a esfera ambiental alcançando a esfera produtiva econômica.

No interflúvio do córrego Limoeiro 2 e Água Branca, parte centro leste da bacia, há também uma área com grande perda de solo, embora seja uma superfície de cimeira com baixa e média declividade. O principal fator condicionante também é o uso da terra, representado pela cana-de-açúcar (Figura 22). A monocultura da cana não oferece proteção integral ao solo, permanecendo o solo exposto durante o início do seu desenvolvimento; além disso, os carregadores culminam por facilitar o escoamento hídrico concentrado.

A presença de rupturas topográficas, bem como de grandes concavidades de vertentes neste local, revelam a influência da dinâmica geomorfológica, que determina o aumento e a concentração do fluxo de escoamento hídrico superficial. A Carta de Dissecção horizontal revelou, neste setor, vertentes acima de 640 m de extensão. Nestas vertentes as rupturas topográficas atuam na velocidade do escoamento superficial, indicando diferenciações na dinâmica erosiva.

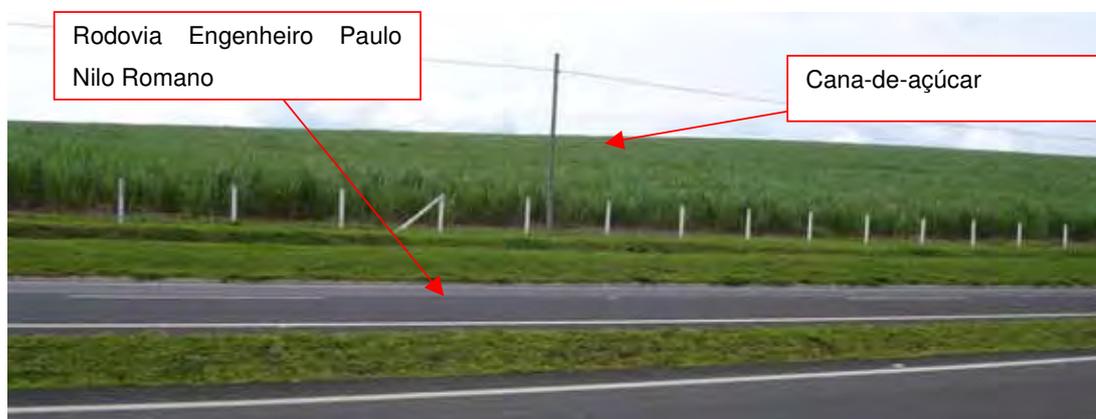


Figura 22– Plantio de cana-de-açúcar no setor centro-leste da bacia. (fotografia: Leandro de Souza Pinheiro, 2006)

Na parte sudeste da bacia, as grandes perdas de solo são também determinadas pela monocultura da cana. As declividades são predominantemente baixas, variando de 0% a 6%, o que, aparentemente resultaria em um caráter de baixo potencial erosivo. Porém, na verdade há uma grande fragilidade do solo, conforme pode ser verificado na Carta de PNE (Figura 17), que apresenta predominantemente classes de potencial moderadamente alto e alto. Aliado a isso, a

baixa proteção vegetal gera a potencialização da perda de solo, conforme a Figura 18. Confirmando a fragilidade da área notou-se, através de checagem de campo, a presença de vários sulcos erosivos, causados pelo escoamento superficial concentrado.

A área situada entre a cabeceira do Água Branca até ao extremo leste da bacia não apresenta os índices mais elevados de perda de solo, contudo deve-se ter cautela neste local, pois foram constatados vários sulcos erosivos. Uma granja aviária (Figura 23) faz parte da área, mas há ainda duas outras atividades, pastagem para gado e plantio de *Eucalyptus*, em desenvolvimento (Figura 24).

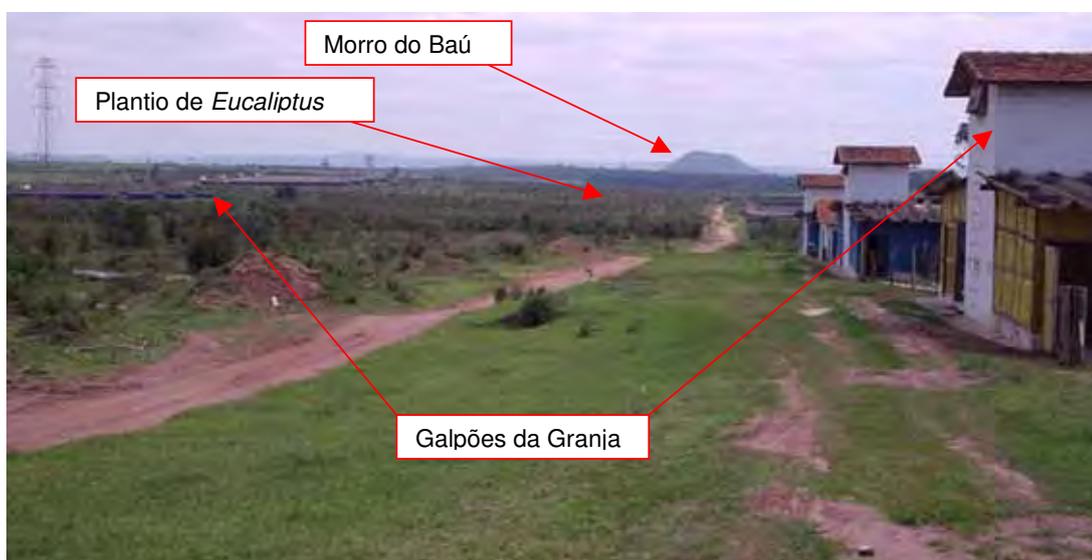


Figura 23– Área parcial da propriedade da granja. (fotografia: Leandro de Souza Pinheiro, 2005)

A área constitui-se em um anfiteatro, no qual a declividade não é grande, mas as vertentes são extensas, condicionando o escoamento hídrico e o conseqüente transporte de sedimentos. A disposição dos galpões utilizados para a granja e o sistema de arruamento do local (Figura 23) culmina por gerar concentração de escoamento hídrico superficial, que por sua vez, através de novos fluxos de matéria e energia, causam, em locais específicos, grande perda de solo. Os processos erosivos são facilitados e desencadeados pela granulometria arenosa e conseqüente maior friabilidade do solo. Outro fator que condiciona a formação de sulcos erosivos é o pisoteio do gado, já que a área serve também à pastagem. Estas granjas estão inseridas em uma ampla concavidade onde existem vários canais pluviais que concentram o escoamento hídrico superficial. Neste local, além de inúmeros sulcos

erosivos verifica-se ainda uma grande vulnerabilidade (Figura 25), representada por uma paisagem alterada quanto aos seus aspectos naturais.

Constataram-se ainda, nesta área, muitas alterações na topografia local, como aplainamentos e rebaixamentos do solo, causadas pela influência humana. Observou-se também a influência antrópica em cursos d' água aparentemente abandonados. Nas fotografias aéreas de 1988 é possível ver um nítido curso d' água, porém, em campo, observou-se que este curso não existe mais, restando apenas à concavidade do antigo canal (Figura 24).



Figura 24 – Área localizada à jusante da granja. (fotografia: Leandro de Souza Pinheiro, 2005)



Figura 25– Vulnerabilidade em Neossolo Quartzarênico. (fotografia: Leandro de Souza Pinheiro, 2005)

Próximo ao Morro do Baú há outra área de elevada perda de solo, o principal fator condicionante é a baixa proteção oferecida pela cultura canavieira aliado à grande declividade e extensão da vertente, no entanto nas áreas do Morro onde existe a proteção oferecida pela vegetação nativa (Figura 26), a perda de solo é baixa, apesar das mesmas condições topográficas. Na fotografia abaixo é possível observar que há, em parte do sopé do Morro do Baú, uma relativa proteção ao solo oferecida pela vegetação. Nota-se, ainda, ao fundo um patamar estratigráfico localizado na Estação Experimental, coberto por *Pinus*.



Figura 26– Vegetação de parte do sopé do Morro do Baú. (fotografia: Leandro de Souza Pinheiro, 2006)

Abaixo da área com cobertura vegetal, está a área de grande perda, possuindo uma extensa vertente que recebe os fluxos hídricos que provém do escoamento desde o topo do Morro do Baú. Esta área está coberta por cana-de-açúcar (Figura 27) e notou-se a presença de vários sulcos erosivos.

Áreas, como a do Morro do Baú, caracterizam-se por declividades altas na parte superior e setores mais planos na transição com as demais formas topográficas. Assim, os setores com grande declividade tendem a perder material à montante (degradação) e, nas partes mais planas, a jusante, ocorre deposição. Porém, na ausência da vegetação, pode ocorrer erosão nessas áreas de baixo potencial, pois, a deposição será menor do que a remoção do material pelo escoamento superficial. Este fato deve-se a uma maior quantidade de energia provinda do fluxo do escoamento superficial, que ganha velocidade nos setores mais declivosos onde não há cobertura vegetal. Isto pode ser comprovado na área em questão, visto que foram verificados vários sulcos erosivos em áreas de baixas declividades (Figura 19), causados pela energia do escoamento de água proveniente das vertentes mais íngremes do Morro do Baú.

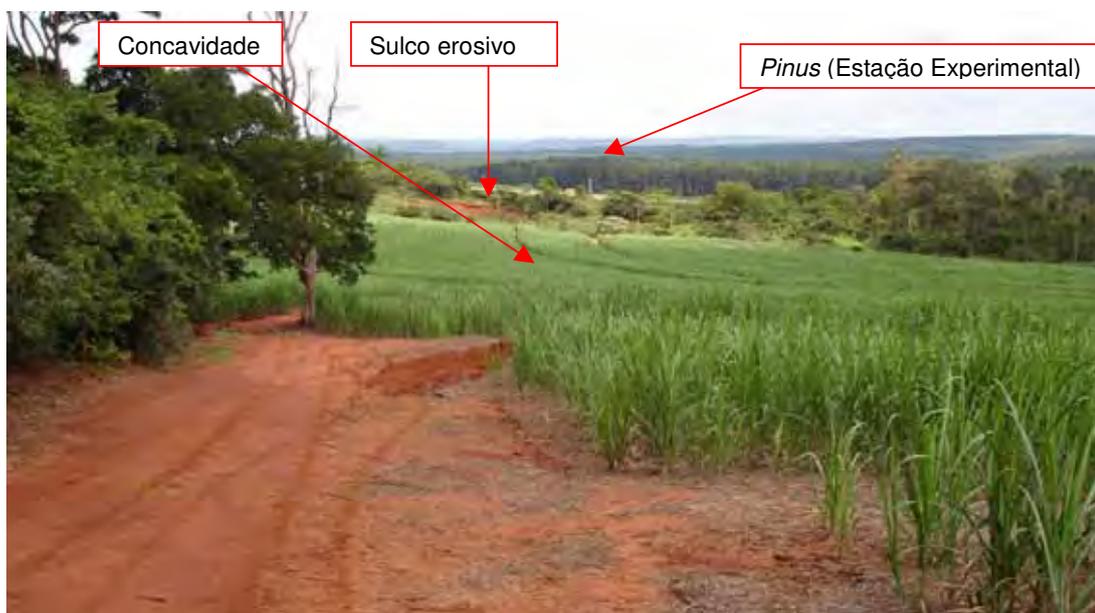


Figura 27– Plantio de cana em área côncava no sopé do Morro do Baú. (fotografia: Leandro de Souza Pinheiro, 2006).

Próximo à área urbana há um local que merece atenção, pois em fotografias de 1988 foi constatada uma ravina. Em campo, verificaram-se tentativas de recuperação da área, conforme aponta a Figura 28. Nesta área existe um pequeno canal pluvial, verificado através da estereoscopia, situado poucos metros da margem do córrego da Água Branca, trata-se de uma concavidade onde havia um ravinamento causado pelo escoamento superficial. O poder público buscou minimizar o impacto através de curvas de nível e terraceamento, no entanto ainda é possível observar essas tentativas não conseguiram conter o escoamento hídrico superficial, devido à falta de vegetação natural no local. Esta área apresenta elevado potencial erosivo como demonstra a Carta de PNE (Figura 17); neste local a declividade atua como fator decisivo na dinamização dos processos erosivos. Este local é contíguo à área urbana de Itirapina, apresentando, na superfície de cimeira à montante, baixa declividade plantada com *Eucaliptus*; à jusante, o local é utilizado para a horticultura e, na média vertente, onde a declividade é elevada, há a presença do gado bovino. Trata-se, portanto de uma área onde as atividades humanas condicionam muitos dos processos erosivos.



Figura 28– Área com curvas de nível para contenção de escoamento hídrico. (fotografia: Leandro de Souza Pinheiro, 2005)

Na Estação Experimental há uma área de máxima perda de solo, apesar de estar circundada por vegetação natural. Esta área foi utilizada para a extração de cascalho e não foi recuperada, permanecendo o solo constantemente exposto. Trata-se de um solo extremamente compacto, onde a infiltração, portanto, é quase nula, gerando escoamentos hídricos concentrados de grande energia.

Assim, pode-se afirmar que a predição da erosão através da modelagem é muito útil para prognosticar e diagnosticar as perdas de solo. Verificou-se, neste trabalho, que a vegetação natural exerce um papel fundamental na proteção do solo. Contudo, ao analisar os diversos tipos de atividades antrópicas, constatou-se que a silvicultura por *Pinus* e *Eucaliptus* oferece uma proteção razoável se comparada a outros usos. Tal proteção está condicionada a um manejo adequado. Assim, na Estação Experimental verificou-se que o *Pinus* permite o desenvolvimento de um incipiente sub-bosque, o qual, apesar do pouco desenvolvimento, cria uma maior proteção ao solo (Figura 29).



Figura 29– Presença de sub-bosque incipiente em cultura de *Pinus*. (fotografia: Leandro de Souza Pinheiro, 2006)

Os solos predominantemente arenosos neste local geram um grande potencial erosivo, dificultando o uso e ocupação da terra visto que a proteção ideal seria a cobertura natural oferecida pelo cerrado. Assim, das atividades antrópicas, a que mais se viabiliza nesta situação é o plantio de *Pinus* e *Eucaliptus*. Do ponto de vista erosivo, a silvicultura, na presente área de estudo, é mais eficiente na proteção desses solos extremamente friáveis (Figura 30), apresentando baixas taxas de perdas de solo, tendo em vista que a área faz parte da Estação Experimental, uma Unidade de Uso Sustentável, ou seja, de produção madeireira.

Segundo Ross (2004), uma área homogênea, densamente plantada por *Pinus* oferece um alto grau de proteção ao solo o qual só é ultrapassado pelas florestas e matas naturais. Contudo, a área utilizada para a silvicultura deve seguir um planejamento, de modo que o manejo seja o mais adequado possível, evitando impacto ambiental e prejuízo econômico.



Figura 30– Aceiro na Estação Experimental de Itirapina - SP. (fotografia: Leandro de Souza Pinheiro, 2007)

A figura acima ilustra perfeitamente a friabilidade do solo, verificou-se que este aceiro recebe uma quantidade considerável de água pluvial como pode ser notado pela disposição dos sedimentos através da ação da água da chuva. Desta forma, percebe-se que estes sedimentos podem ser carreados com facilidade e depositados nos leitos dos cursos hídricos comprometendo a vazão.

Os assoreamentos não foram quantificados neste trabalho, mas, foi possível fazer uma análise qualitativa da dimensão dessa problemática através da observação de campo. Os assoreamentos representam o acúmulo de sedimentos que se depositam nos leitos dos cursos d' água; esses sedimentos provêm da atividade erosiva nos interflúvios à montante e são também transportados pela dinâmica fluvial.

Constatou-se que os assoreamentos ocorrem em diversos locais da bacia, mesmo nas áreas que apresentam baixas perdas de solo, visto que os cursos d' água transportam sedimentos e os depositam em áreas distantes de onde foram retirados. Assim, pode haver influência no abastecimento da cidade de Itirapina, já que o Córrego da Água Branca é afluente do Ribeirão Itaqueri que desemboca na represa do Lobo, que abastece a cidade, a pouco mais de mil metros dessa área de confluência. Um fato verificado a esse respeito foi o assoreamento de uma represa das águas do Córrego Água Branca (Figura 31), dentro dos limites da Estação

Experimental de Itirapina, próxima à rodovia Engenheiro Paulo Nilo Romano que corta a bacia estudada.



Figura 31 - Assoreamento de uma represa na Estação Experimental de Itirapina. (fotografia: Leandro de Souza Pinheiro, 2005)

Esta represa localiza-se em área de vale de fundo chato, sendo precedida por outra represa localizada na sede da Estação Experimental; entre essas duas represas há uma área de sedimentos aluviais recentes. A presença de vales de fundo chato indica uma maior deposição de sedimentos, processo esse que também se propaga para as represas, mesmo com a proteção vegetacional. Assim, os sedimentos derivados da erosão laminar e linear ficam, em parte, retidos no interior da própria bacia.

A identificação dos depósitos sedimentares recentes foi realizada através do mapeamento geomorfológico. Dessa forma, verificou-se a ocorrência de outro depósito de sedimentos no curso do Limoeiro 1, próximo à sua nascente, onde havia uma antiga represa cujo barramento das águas foi destruído.

O mapeamento geomorfológico permitiu, ainda, a análise qualitativa dos resultados quantitativos demonstrados nas Cartas de Perdas e de PNE. Dessa forma, foi possível visualizar alguns setores onde a distribuição espacial de feições de origem erosiva observadas na Carta Geomorfológica coincide com áreas de maior PNE e de maiores perdas de solos, a exemplo do setor Nordeste da área de estudo.

As feições de maior destaque e maior influência, verificadas na Carta Geomorfológica, na área de estudo são as rupturas topográficas, pois estas influenciam na dinâmica erosiva. A declividade do terreno exerce uma grande influência no potencial erosivo; áreas onde a declividade sofre mudança brusca foram interpretadas na Carta Geomorfológica, como ruptura topográfica, embora esta Carta não quantifique a declividade, cabendo esta função à Carta Clinográfica.

As vertentes convexas, verificadas no mapeamento geomorfológico, também coincidem com as áreas de maior PNE, assim como, em locais de baixa proteção da vegetação, a Carta de Perdas também revela essa coincidência.

Considerando o relevo como um sistema aberto, é possível afirmar que, em áreas de concavidade, mas com a proteção vegetal adequada, as perdas de solo podem ser relativamente baixas apesar da Carta de PNE, em algumas situações, indicar alta potencialidade à erosão. Neste caso, devido à vegetação, o sistema está em equilíbrio quanto à entrada e saída de fluxos de energia e matéria. Também é possível afirmar que em áreas de baixa declividade e ausência de concavidade, mas sem proteção vegetal, o aparente equilíbrio do sistema é afetado quanto aos fluxos de saída de matéria e energia.

Do exposto, conclui-se que, de modo geral, as atividades antrópicas influenciam na dinâmica erosiva, pois interferem diretamente nos fluxos de entrada e saída de matéria e energia. Na atual conjuntura, sabe-se que é inviável ou impossível o homem renunciar aos sistemas controlados, pois, as atividades econômicas necessitam da extração de recursos naturais ou da utilização da superfície do relevo para a instalação de tais atividades.

Dessa forma, algumas medidas devem ser tomadas e a principal é a execução do Planejamento Ambiental e Territorial. A fim de minimizar os impactos, sugere-se a instalação de culturas perenes e temporárias apenas em áreas de potencial baixo e moderadamente baixo. No caso da inviabilidade dessa alteração, devem ser adotadas as práticas conservacionistas adequadas para a diminuição dos impactos. Conforme foi verificado em campo os plantios em contorno e em curvas de nível não foram suficientes para conter a dinâmica erosiva; propõe-se, então, a utilização de cordões de vegetação permanente (BERTONI; LOMBARDI NETO, 1985). O manejo, desta forma, pode diminuir a intensidade da dinâmica erosiva em função das longas vertentes predominantes na bacia.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta pesquisa teve por contribuição primeira a análise quantitativa e qualitativa da dinâmica erosiva na bacia hidrográfica do Córrego da Água Branca. A abordagem sistêmica permite verificar que o uso da terra tem uma grande influência na degradação dos solos, pois, altera os fluxos de matéria e energia. Há que haver muita precaução quanto aos sistemas controlados, pois influenciam no sistema de processos-resposta, onde os diversos tipos de uso da terra podem fornecer ou induzir uma nova dinâmica de fluxos de matéria e energia e causar resultados desagradáveis.

A proximidade da área urbana de Itirapina também contribui para a dinamização da erosão, pois a dinâmica da paisagem na área de transição urbano-rural atua na manutenção das atividades agropecuárias em detrimento dos ambientes naturais, há uma influência humanamente tendenciosa para maior conservação e sustentação apenas das paisagens humanizadas.

É indispensável a existência das atividades rurais, mas, é importante a sociedade preferir as atividades humanas em caso de impacto ambiental previsto, por isso deve-se ter a consciência da aplicação do manejo adequado das atividades agrícolas. O manejo adequado do solo observando-se as variações e limitações que o relevo impõe ao terreno permite um melhor rendimento e evita transtornos na esfera ambiental ou econômica.

Na bacia do Córrego da Água Branca houve uma retração nas áreas de silvicultura, em contrapartida à expansão da monocultura da cana-de-açúcar. Esse aumento representa maior perda de solo, pois, a cobertura vegetal oferecida pela cultura da cana não tem a mesma proteção que a silvicultura. É necessário, portanto, o planejamento para o manejo adequado do solo.

As práticas agrícolas devem visar a sustentabilidade do solo o que implica em menores gastos com insumos agrícolas e em atividades mitigadoras dos impactos. No entanto, são avaliadas apenas as atividades que geram mais lucros e menores gastos, como a atividade da cana-de-açúcar que, não obstante de ocupar grandes áreas no estado de São Paulo, está em contínua expansão. Mas, ainda existem áreas dispersas de cerrado e matas que, apesar de cercadas pelas atividades humanas, estão pouco degradadas e oferecem uma boa proteção ao solo.

A segunda contribuição deste trabalho destina-se ao Planejamento Ambiental, que pode vir a solucionar ou evitar muitos transtornos que ocorrem ou poderão ocorrer. Mas, em contrapartida é notório, na atual conjuntura, o desinteresse da sociedade de maneira geral, pois, apesar de ser tão discutido pelos acadêmicos e até mesmo pela mídia, o Planejamento Territorial Ambiental ainda é pouco utilizado pelos produtores rurais. O problema da perda de solos é bem conhecido a nível mundial, tendo em vista a quantidade de trabalhos nesta temática por autores estrangeiros ou até mesmo pelo prejuízo que alguns países têm assumido no âmbito da economia agrária. Dessa forma, permanece a situação onde o produtor primeiro causa o impacto e espera, em seguida, corrigir o efeito ou analisar as conseqüências. Contudo, espera-se que haja uma crescente conscientização para o Planejamento Ambiental, não apenas uma “educação ambiental” limitada como nos dias atuais.

As maiores perdas de solo localizam-se na metade leste da bacia, mais propriamente nas áreas cultivadas por *citrus* e cana-de-açúcar e no sopé do Morro do Baú, também ocupado por cana-de-açúcar. Dessa forma, na bacia do Córrego Água Branca, verificou-se que o uso inadequado da terra interfere na dinâmica plúvio-erosiva, pois em algumas áreas de grande potencial erosivo, como as áreas de encosta do Morro do Baú, tiveram baixa perda de solo graças à proteção da mata nativa e à dificuldade do acesso humano. Por outro lado, em algumas áreas de baixo potencial erosivo ocorreram grandes perdas de solo condicionadas ao manejo e cobertura vegetal inadequada para o solo ou a topografia.

Do exposto, conclui-se que a utilização da EUPS para a modelagem foi satisfatória, pois permitiu a predição da erosão para a bacia hidrográfica e os resultados mostraram-se coerentes com os fatores envolvidos. A Carta de Potencial Natural à Erosão revelou a grande vulnerabilidade das áreas onde a declividade é elevada e o comprimento das vertentes é maior, já a Carta de Perda de Solo permitiu a conclusão de que a cobertura vegetal interfere de maneira decisiva na dinâmica erosiva. No entanto, há limitações da EUPS e a principal está no fato de não quantificar de maneira diferenciada as vertentes côncavas e convexas, assim o modelo generaliza as vertentes ignorando a ação diferenciada do escoamento superficial nas duas situações. Contudo, o modelo pode ser aplicado como auxílio no Planejamento Ambiental, pois é uma importante ferramenta para predição de perda de solo.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, F. F. M. de. **Os fundamentos geológicos do relevo paulista**. São Paulo: IGEOG, 1974. (Série teses e monografias, n.14)
- ALVES, A. et al. Avaliação do potencial à erosão dos solos: uma análise comparativa entre Lógica Fuzzy e o Método EUPS. *In*: XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2005, Goiânia - GO. **Anais...** Goiânia: INPE.
- AQUINO, A. de Distribuição Textural e Estado de Superfície de Duas Sequências de Solos: Caracterização para Irrigação com Efluente de Esgoto Tratado. *In*: XII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, 2007, Natal - RN. **Anais...** Natal: Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2007.
- ASADI, H. et al. Interrill soil erosion processes and their interaction on low slopes. **Earth Surface Processes and Landforms**. DOI: 10.1002/esp. 1426, 2006. Disponível em: <http://www.interscience.wiley.com>. Acesso em: 17 Jan. 2007.
- BACCARO, C. A. D. Processos Erosivos no Domínio do Cerrado. *In*: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S. da; BOTELHO, R. G. M. (Organizadores) **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações**. 2ª ed., Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2005. Cap. 6, p. 195-227.
- BERTONI, J. et al. **Conclusões gerais das pesquisas sobre conservação do solo, no Instituto Agrônomo**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1972. (Circular, n.20)
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do Solo**. São Paulo: Ícone, 2005. (5. ed.)
- BRITO, J. L. S. et al. Uso do Geoprocessamento na Estimativa da Perda de Solos por Erosão Laminar em Iraí de Minas - MG. *In*: Anais IX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 1998, Santos - SP. **Anais...** Santos: INPE. p. 501-512
- CAVALCANTE, S. P. P.; TEIXEIRA, A. S. Avaliação Espacial da Erosão através do Uso de SIG - Sistemas De Informações Geográficas. **Revista Tecnologia**, Fortaleza, v. 26, n. 2, p. 186-195, dez. 2005.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Análise de Sistemas em Geografia**. São Paulo: HUCITEC, 1979.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. 2a edição. São Paulo: Edgard Blücher, 1980.
- CHORLEY, R. J. A Geomorfologia e a Teoria do Sistemas Gerais. **Notícia Geomorfológica**, Campinas, v. 11, n. 21, p. 3 –22, 1971.

CORRECHEL, V. **Avaliação de índices de erodibilidade do solo através da técnica da análise da redistribuição do “fallout” do  $^{137}\text{Cs}$** . 2003. 79 f. Tese (Doutorado em Ciências). Centro de Energia Nuclear na Agricultura. Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

COSTA, F. O et al. Monitoramento de Processos Erosivos em três Encostas Urbanas no Município de Viçosa-Minas Gerais. in: V Simpósio Nacional de Geomorfologia – I Encontro Sul-americano de Geomorfologia, 2004, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria. 1 CD-ROM.

CRUZ, J. C. H. O. et al. Dinâmica Hidro-Erosiva Superficial e Revegetação em uma Cicatriz de Movimento de Massa. Maciço Da Tijuca, Rj. in: V Simpósio Nacional de Geomorfologia – I Encontro Sul-americano de Geomorfologia, 2004, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria. 1 CD-ROM.

CUNHA, C. M. L. A. **Quantificação e Mapeamento das Perdas de Solo por Erosão com Base na Malha Fundiária**. 1997. 152 f. Dissertação (Mestrado em Geografia). Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1997.

CUNHA, C. M. L. A. **Cartografia do Relevo no Contexto da Gestão Ambiental**. 2001. 128 f. Tese (Doutorado em Geografia). Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2001.

CUNHA, S. B. da; GUERRA, A. J. T. Degradação Ambiental. *In*: CUNHA, S. B. da; GUERRA, A. J. T. (Organizadores) **Geomorfologia e Meio Ambiente**. 5<sup>o</sup> ed., Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004.

DE BIASI, M. Cartas de Declividades: Confecção e Utilização. **Geomorfologia**, São Paulo, n. 21, p. 8 – 12, 1970.

DELGADO, J. M. et al. **Plano de Manejo Integrado das Unidades de Itirapina-SP**. São Pulo: IF, 2004. 153 p. (Série Registros, n. 27)

DEMO, P. **Introdução à metodologia da Ciência**. Editora Atlas S.A, São Paulo, 1985.

DERRUAU, M. **Précis de Géomorphologie**. Paris : Masson, 1988.

DE SANTISTEBAN, L. M.; CASALI, J.; LÓPEZ, J. J. Assessing soil erosion rates in cultivated areas of Navarre (Spain). **Earth Surf. Process. Landforms** 31, p. 487–506, 2006. Disponível em: <http://www.interscience.wiley.com>. Acesso em: 17 Jan. 2007.

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**, 51, p. 427–433, 1996.

DONZELLI, P. L. et al. **Técnicas de sensoriamento remoto aplicadas ao diagnóstico básico para planejamento e monitoramento de microbacias hidrográficas**. Campinas: IAC, Boletim 29, p. 91-119, 1992.

ELER, M. N. (org.) **Bacia do Alto Jacaré-Guaçu: Monitoramento e Diretrizes para o Gerenciamento de Recursos Hídricos**. Relatório de Projeto de Pesquisa. Agência Nacional de Águas (ANA). 2007. Disponível em: <http://cadastrocthidro.ana.gov.br/relatorioProjeto.php?&id=138&voltar=projetos&orderBy=&filtro=&regs=10&bt=&bn=&pag=50>. Acesso em: 27 Out. 2008.

FARINASSO, M. et al. Determinação do Fator Topográfico da Equação da EUPS por Meio de Geoprocessamento - Bacia do Rio Gurguéia. in: V Simpósio Nacional de Geomorfologia – I Encontro Sul-americano de Geomorfologia, 2004, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria. 1 CD-ROM.

FRANCO, R. M.; RODRIGUES, S. C. Monitoramento dos processos de erosão laminar na Bacia do Rio Uberabinha em Uberlândia – MG. in: V Simpósio Nacional de Geomorfologia – I Encontro Sul-americano de Geomorfologia, 2004, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria. 1 CD-ROM.

FUJIHARA, A. K. **Predição de erosão e capacidade de uso do solo numa microbacia do oeste paulista com suporte de geoprocessamento**. 2002. 118 f. Dissertação (Mestrado em Ciências). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2002.

GRIL, J. J. L' érosion hydrique de sols dans lê vignoblo: Etude comparative de l' influence des techniques culturales à l' exemple du Beaujolais (France). **Zeitschrift für Geomorphologie**. Berlin-Stuttgart. N. 60, p. 149-160, September, 1986.

GUERRA, A. J. T. (org.) **Coletânea de Textos Geográficos de Antonio Teixeira Guerra**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1994.

GUERRA, A. J. T. O Início do Processo Erosivo. *In*: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S. da; BOTELHO, R. G. M. (Organizadores) **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações**. 2<sup>o</sup> ed., Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2005. Cap. 1, p. 17-50.

GUERRA, A. J. T. Experimentos e Monitoramentos em Erosão dos Solos. **Revista do Departamento de Geografia**, n. 16, p. 32-37, 2005. Disponível em: <http://www.geografia.fflch.usp.br/publicacoes>. Acesso em: 30 mar. 2007.

GUERRA, A. T.; CUNHA, S. B. (org.) **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. 2<sup>o</sup> ed., Bertrand, Rio de Janeiro, 1995.

INSTITUTO DE PESQUISA TECNOLÓGICA. **Mapa Geológico do Estado de São Paulo**. São Paulo: 1981a, v. 1-2. Escala 1:500.000.

INSTITUTO DE PESQUISA TECNOLÓGICA. **Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo**. São Paulo: 1981b, v. 1 e 2. Escala 1:1.000.000.

IPT/SP-DAEE/SP. **Orientações para o combate à erosão no Estado de São Paulo (Bacia do Peixe – Paranapanema)**. São Paulo, IPT/SP, n. 24739, v.3, 1996.

JETTEN, V.; GOVERS, G.; HESSEL, R. Erosion models: quality of spatial predictions. **Hydrological Processes**. 17, 887–900 (2003). Disponível em: <http://www.interscience.wiley.com>. Acesso em: 17 Jan. 2007.

LAL, R. Soil Degradation by erosion. **Land Degradation e Development**. 12: 519-539, 2001.

LESER, H. et al. Soil erosion in catchment áreas of Northwestern Switzerland Methodological conclusions from a 25-year research programme. **Zeitschrift für Geomorphologie**. Berlin-Stuttgart. N. 46, v. 1, p. 35-60, März 2002.

LIMA, E. R. V. de **Análise espacial de indicadores da erosão do solo através de técnicas estatísticas e de geoprocessamento, com apoio do modelo EUPS**. 2000. 296 f. Tese (Doutorado). Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2000.

LIMA, E. R. V. de et al. **Avaliação do Uso das terras Agrícolas na Bacia do Córrego Jacu (Rio Claro - SP) por meio de Técnicas de geoprocessamento**. In: Encontro Nacional de Geógrafos, 1996, Recife. Anais. Recife: Universidade Federal de Recife, 1996, v. 1, p. 61-62.

LOMBARDI NETO, F.; BERTONI, J. Erodibilidade de solos Paulistas. **Boletim Técnico**. Campinas, nº 27, 1975.

MAURO, C. A. et al. Contribuição ao Planejamento Ambiental de Cosmópolis - SP - BR. In: Encuentro de Geógrafos de América Latina, 3, 1991. Toluca. **Memórias**. Toluca, UAEM, v. 4, pp 391-419, 1991.

MENDES, I. A. **A Dinâmica Erosiva do Escoamento Pluvial na Bacia do Córrego Lafon – Araçatuba-SP**. 1993. Tese (Doutorado). Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993.

MENKE, S. V. et al. **Sensoriamento Remoto e Mídia**. In: XII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, 2007, Natal - RN. **Anais...** Natal: Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2007.

MONTEIRO. C. A. de F. **A Dinâmica Climática e as Chuvas no Estado de São Paulo**. São Paulo: USP/IG, 1973. 130p.

OLIVEIRA, A. M. M. de **Análise da dinâmica do uso da terra: o estudo da bacia hidrográfica do Ribeirão São João, SP**. 2000. 127 f. Dissertação (Mestrado em Geografia). Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2000.

OLIVEIRA, J. B. de.; PRADO, H. do. Levantamento pedológico semidetalhado do Estado de São Paulo: quadrícula de São Carlos II. Memorial Descritivo. **Boletim Técnico do Instituto Agrônomo**, Campinas, n. 98, 188p., 1984.

PAPY, F. Effets des Structures Agraires sur le Ruissellement et l'Érosion Hydrique. **Bull. Assoc. Géogr. Franç.**, Paris, 2, p. 115-125, 1992.

PARANHOS FILHO, A. C. et al. Avaliação Multitemporal das Perdas de Solos na Bacia do Rio Taquarizinho-MS. **Boletim Paranaense de Geociências**. Editora UFPR, n. 52, p. 49-59, 2003.

PENTEADO, M. M. **Fundamentos de geomorfologia**. 2. ed. - Rio de Janeiro: IBGE, 1978.

PEREZ FILHO, A.; SEABRA, F. B. Análise Sistêmica Aplicada ao Estudo da Fragilidade de Terras do Cerrado Paulista. in: V Simpósio Nacional de Geomorfologia – I Encontro Sul-americano de Geomorfologia, 2004, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria. 1 CD-ROM.

PINHEIRO, L. de S. **O Mapeamento Geomorfológico como Subsídio ao Planejamento Ambiental: Bacia Hidrográfica do Córrego da Água Branca (SP)**. Rio Claro, IGCE/UNESP. 2006(Trabalho de Conclusão de Curso)

PINHEIRO, L. de S.; CUNHA, C. M. L. da. Análise Morfométrica da Bacia do Córrego da Água Branca, Itirapina – SP. In: VI Seminário de Pós-Graduação em Geografia da Unesp - RC, 2006. Rio Claro – SP. **Anais...** Rio Claro: Universidade Estadual Paulista, 2006.

PINHEIRO, L. de S. et al. Caracterização do Potencial Natural de Erosão em uma Bacia Hidrográfica Utilizando a Equação Universal de Perda de Solo e Geoprocessamento. In: VI Seminário de Pós-Graduação em Geografia da Unesp - RC, 2006. Rio Claro – SP. **Anais...** Rio Claro: Universidade Estadual Paulista, 2006.

PINTO, S. A. F. P. **Contribuição Metodológica para Análise de Indicadores da Erosão do Solo Utilizando Técnicas de Sensoriamento Remoto, Geoprocessamento e Modelo Predictivo**. 1995. Tese (Livre-Docência). Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1995.

PINTO, S. A. F. et al. **Modelo predictivo, sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados à caracterização de indicadores da erosão do solo**. Belo Horizonte, PUCMinas, 2002. Relatório Técnico-Científico Projeto FAPEMIG. (Processo CRA – 1006/97).

QUEIROZ, O. T. M. M. A Problemática Ambiental da expansão dos loteamentos de residências de veraneio no interior do estado de São Paulo: o caso do entorno da Represa do Lobo, Itirapina, SP. In: IV Encontro Nacional de Turismo com Base Local, 2000, Joinville - SC. **Anais...** Joinville: Instituto Superior e Centro Educacional Luterano Bom Jesus / IELUSC, 2000.

QUEIROZ NETO, J. P. de. Notas Preliminares sobre a Geologia e Estrutura da Serra de Santana, Estado de São Paulo. **Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia**, São Paulo, v. 9, N.º 2, p. 13-23, 1960.

QUEIROZ NETO, J. P. de; CHRISTOPHOLETTI, A. Ação do escoamento superficial das águas pluviais na Serra de Santana (E. S. Paulo). **Boletim Paulista de Geografia**, São Paulo, v. 4, p. 59-71, 1968.

RENSCHLER, C. S.; HARBOR, J. Soil erosion assessment tools from point to regional scales—the role of geomorphologists in land management research and implementation. **Geomorphology**, n. 47, p. 189–209, 2002. Disponível em: <http://www.elsevier.com/locate/geomorphology>. Acesso em: 17 Jan. 2007.

ROCHA, A. A.; LIMA, E. R. V. de **Aplicação do Sistema de Informações Geográficas no Diagnóstico Sócio Ambiental de Nascentes e Mananciais em Bacias Hidrográficas e Áreas Urbanas**. In: XII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, 2007, Natal - RN. **Anais...** Natal: Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2007.

ROSS, J. L. S. Geomorfologia Ambiental. In: CUNHA, S. B. da; GUERRA, A. J. T. (Organizadores) **Geomorfologia e Meio Ambiente**. 5<sup>o</sup> ed., Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004.

ROSS, J. L. S.; MOROZ, I. C. **Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo**. São Paulo: 1997. v. 1 e 2. Escala 1:500.000

ROUGERIE, G. **Geografia das Paisagens**. Tradução de: Heloysa de Lima Dantas. São Paulo; Difusão Européia do Livro, 1971.

SANTANA, N. M. P. de et al. Índices de Erosividade das Chuvas Para a Alta Bacia do Rio Araguaia (Go/Mt). in: VI Simpósio Nacional de Geomorfologia – Regional Conference on Geomorphology, 2006, Goiânia - GO. **Anais...** Goiânia: Universidade Federal de Goiás. 1 CD-ROM.

SANCHES, M. C. A Propósito das Cartas de Declividade. In: Simpósio De Geografia Física Aplicada, 5, 1993, São Paulo. **Anais...** São Paulo: FFLCH/USP, 1993.

SILVA, A. M. da; SCHULZ, H. E. Estimativa do Fator “C” da EUPS para Cobertura Morta de Resíduos Vegetais de Origem Urbana para as Condições de São Carlos (SP, Brasil). **Asociación Interciencia**. Caracas, v. 26, n. 12, p. 615-618, 2001.

SILVA, A. M. da; ALVARES, C. A. Levantamento de Informações e Estruturação de um Banco Dados sobre s Erodibilidade de Classes de Solos no Estado de São Paulo. São Paulo, UNESP, **Geociências**, v. 24, n. 1, p. 33-41, 2005

SILVA, D. L. da **Análise Morfométrica do Córrego do Lajeado (SP)**. Rio Claro, IGCE/UNESP. 2005 (Trabalho de Conclusão de Curso, IGCE, UNESP, Campus de Rio Claro).

SPIRIDONOV, A. I. **Princípios de la Metodología de lãs Investigaciones de Campo y el Mapeo Geomorfológico**. Havana: Universidad de la Havana, Facultad de geografía, 1981, 3v.

STEIN, D. P. et al. Potencial Natural de Erosão Laminar, Natural e Antrópico, na Bacia do Peixe – Paranapanema. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSÃO, 4, 1987, Marília. **Anais...** São Paulo: S.C.P., 1987.

STOCKING, M. Soil loss estimation for rural development: a position for geomorphology. **Zeitschrift für Geomorphologie**. Berlin-Stuttgart. N. 36, p. 264-273, Dezember, 1980.

TAVARES, A. C.; SOARES, C. A. Considerações sobre Modelos Análogos de Evolução das Vertentes. **Notícia Geomorfológica**, Campinas, v. 18, n. 36, p. 79 – 94, 1978.

TAVARES, A. C.; VITTE, A. C. Erosão do Solo e Assoreamento: O Caso de Monte Aprazível - SP. **Geografia**. Rio Claro, 18 (1), pp. 51-95, abril, 1993.

TEIXEIRA, A. L.; CHRISTOFOLETTI, A. **Sistema de Informações Geográficas**. São Paulo: Hucitec, 1999.

TERMIER, H.; TERMIER, G. **Érosion et Sedimentation**. Masson & C<sup>ie</sup>, Paris, 1960.

THOMAZ, E. L.; LUIZ, J. C. Mensuração de Remoção do Solo entre Ravinas por meio de Técnica Dinâmica e Volumétrica. in: V Simpósio Nacional de Geomorfologia – I Encontro Sul-americano de Geomorfologia, 2004, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria. 1 CD-ROM.

TRICART, J. **Principes et méthodes de la géomorphologie**. Paris, Masson, 1965.

VENIZIANI JÚNIOR, J. C. T. **Utilização de índices de vegetação para estimativa da proteção do solo pela cobertura vegetal: uma contribuição para o uso da Equação Universal de Perdas de Solo**. 2004. 121 f. Dissertação (Mestrado em Geografia). Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2004.

VERSTAPEN, H. T.; ZUIDAM, R. A. V. System of geomorphological survey. Netherlands. **Manuel ITC Textbook**, Vol. VII, Chapter VII.3, 1975.

VEYRET, Y.; WICHEREK, S. Réflexion sur une Cartographie des Risques d' Erosion des Terres Agricoles en Région de Plaines et de Plateaux. **Bull. Assoc. Géogr, Franç.**, Paris, 2, p. 169-176, 1992.

WISCHMEIER, W. H. Storms and Soil Conservation. **Journal of soil and water conservation**. Vol. 17, p. 55-59, March-April, 1962.

WISCHMEIER, W. H. et al. A soil erodibility nomograph for farmland and construction sites. **Journal of soil and water conservation**. Vol. 26, p. 189-193, september-october, 1971.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. **Predicting Rainfall Erosion Losses from Cropland East of the Rocky Mountains**. Washington: USDA Handbook, 1978.

XAVIER, R. A. et al. A Influência do Uso e Manejo do Solo na Erosão Causada pelo Escoamento Superficial: Município de Coité do Nóia, Região Agreste de Alagoas. in: VI Simpósio Nacional de Geomorfologia – Regional Conference on Geomorphology, 2006, Goiânia - GO. **Anais...** Goiânia: Universidade Federal de Goiás. 1 CD-ROM.

ZACHARIAS, A. A. **Metodologias convencionais e digitais para a elaboração de cartas morfométricas do relevo**. 2001. 166f. Tese (Doutorado em Geografia). Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2001.

ZANCHETTA, D. et al. **Plano de manejo**: Estação Ecológica e Estação Experimental de Itirapina, SP. SMA, Instituto Florestal de São Paulo. Itirapina, 2006. Não publicado.