

VALDEIR DEMETRIO DA SILVA

**ANÁLISE DE PERDA DE SOLO, UTILIZANDO O MODELO (RUSLE)
REVISED UNIVERSAL SOIL LOSS EQUATION, APLICADO COM
AUXÍLIO DAS TÉCNICAS DE GEOPROCESSAMENTO NA BACIA DO
RIBEIRÃO REIS, MARINGÁ-PR.**

Florianópolis

2008

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE FILOSOFIA E CIÊNCIAS HUMANAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA**

VALDEIR DEMETRIO DA SILVA

**ANÁLISE DE PERDA DE SOLO, UTILIZANDO O MODELO (RUSLE)
REVISED UNIVERSAL SOIL LOSS EQUATION, APLICADO COM AUXÍLIO DAS
TÉCNICAS DE GEOPROCESSAMENTO NA BACIA DO RIBEIRÃO REIS,
MARINGÁ-PR.**

ORIENTADOR: JOEL PELLERIN

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Área de concentração: Utilização e Conservação de Recursos Naturais

FLORIANÓPOLIS-SC, Março de 2008.

**ANÁLISE DE PERDA DE SOLO, UTILIZANDO O MODELO (RUSLE)
REVISED UNIVERSAL SOIL LOSS EQUATION, APLICADO COM AUXÍLIO DAS
TÉCNICAS DE GEOPROCESSAMENTO NA BACIA DO RIBEIRÃO REIS,
MARINGÁ-PR.**

VALDEIR DEMETRIO DA SILVA

Coordenador: Carlos José Espíndola

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Geografia, área de Concentração Utilização e Conservação de Recursos Naturais do Centro de Filosofia e Ciências Humanas da Universidade Federal de Santa Catarina, em cumprimento aos requisitos necessário à obtenção do grau acadêmico de Mestre em Geografia.

Presidente / Orientador: Joel Robert Georges Marcel Pellerin

Prof.Dr Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)

Membro: Angela da Veiga Beltrame

Prof^a.Dra. Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)

Membro: Paulo Nakashima

Prof.Dr Universidade Estadual de Maringá (UEM)

Florianópolis-SC, Março de 2008.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro momento, agradeço a Deus por me conceder sabedoria necessária para realização deste trabalho e por permitir saúde durante esta trajetória. À minha família que mesmo estando longe apoiaram e me deram forças para concluir meu objetivo, em minha família incluo minha namorada e futura esposa Aline Tiemi Watanabe. Posteriormente agradeço em particular meu orientador Joel Pellerin pela orientação concedida, incentivo e dedicação, pois a todo o momento solicitado estava pronto a me atender. Também agradeço ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Santa Catarina, sob a coordenação do professor Dr. Carlos José Espíndola que juntamente com órgão de fomento neste caso CAPES, disponibilizou os recursos financeiros representado na forma de bolsa. Também ao Laboratório de Geoprocessamento pela disponibilização e atenção nos trabalhos de mapeamento da pesquisa. Aos amigos e colegas também registro meus agradecimentos pelo companheirismo nos momentos formais e informais e, na troca de idéias.

Se enxerguei mais longe, foi porque me apoiei sobre os ombros de gigantes
“ σοφια “
Johannes Kepler

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo avaliar a presença de processos erosivos e mensurar a quantidade de material erodido durante o período de um ano na bacia hidrográfica do Ribeirão Reis, Maringá – PR, não foram constatadas cicatrizes como voçorocamentos, somente alguns sulcos provenientes de chuvas torrenciais. As perdas de solo relacionada ao uso e ocupação da área, rotação soja e milho apresentaram as maiores perdas 17,92 ton/ha, abrangendo uma área de 92,2 % da área total, seguido pelos arbustos com perdas de 8,73 ton/ha, porém representa a menor área 1,3 %, em terceiro, o cultivo de café com perdas de 3,52 ton/ha e 1,6 % da área, em quarto, as pastagens com 2,68 ton/ha e área de 1,7 % e por último a vegetação arbórea com apenas 0,16 ton/ha e área de 3,1% do total. As perdas com relação ao tipo de solo apresentaram no gleissolo 8,52 ton/ha, seguido pelo latossolo vermelho 5,46 ton/ha e o nitossolo 3,93 ton/ha dentro da rotação de cultura soja/milho. As perdas de solo relacionada as três classes de solo ficaram abaixo da tolerância que são de 10,9 à 12,5 ton/ha para o latossolo vermelho e 11,6 à 13,6 ton/ha para o nitossolo. O uso adequado de práticas conservacionistas por parte dos produtores com rotação de culturas, plantio em contorno e uso de curvas de nível contribuiu para esses valores ficarem abaixo da tolerância. O modelo selecionado para o cálculo da quantidade de perda de solo foi a RUSLE (*Revised Universal Soil Loss Equation*), dentro de um ambiente SIG, no software Idrisi Andes, o modelo apresentou-se satisfatório quanto à mensuração da perda de solo, bem como o resultado dessa dissertação servindo como base em tomadas de decisões no planejamento do uso do solo. Portanto, fica constatado que o fator de maior relevância no tocante à perda de solo, é a cobertura vegetal, pois os períodos com maiores índices pluviométricos como os meses de fevereiro, março, setembro e dezembro não apresentaram as maiores perdas, no entanto períodos com pouca cobertura vegetal e menor índice pluviométrico como os meses de setembro, outubro e novembro apresentaram maiores perdas, o único mês coincidente é o de setembro, pois, além de apresentar elevado índice pluviométrico, foi o mês em que estava ocorrendo o plantio de lavouras.

ABSTRACT / RESUMO

The objective this work is an valuation about erosion process and calculate how much the material of erosion at about one year in hydrographi basin of Ribeirão Maringá – P.R., don't have present cicatrix of gully just some interrill of the torrential rains. The soil loss was considerable about the use and occupation area, the rotation of corn and soybean culture show the biggest loss 17,92 ton/ha, comprehend an area of 92,2% of total area, after shrubs with loss of 8,73 ton/ha, but this represent the smallest area 1,3% in third the coffee culture with loss of 3,52 ton/ha and 1,6% of area, in fourth the pasture with 2,68 ton/ha and area of 1,7% and finish the vegetation arboreal with 0,16 ton/ha and area of 3,1% of total. The loss about the type of soil show in gleysoils 8,52 ton/ha, followed of red latosol 5,46 ton/ha and the nitisol 3,93 ton/ha in the rotation of soybean/corn culture. The loss of soil related with three type of soil stay down of tolerance that is 10,9 until 12,5 ton/ha for red latosol and 11,6 until 13,6 ton/ha for the nitisol. The use adequate of practices of conservation for producers with rotation of cultures, plantation in contour and the use curve of level help the value stay down of tolerance. The model selected for the calculation of quantity of soil loss was a RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation), in the environment SIG, in software Idrisi Andes, the model shows satisfactory how much the soil loss, as well as the result this dissertation served like base for decisions in planning the use of the soil. In so far as, it stays prove that the factor more important in loss of soil is the vegetable cover as the periods with more rain register like the months: February, March, September, December don't show the most loss, however periods with few vegetable cover and smallest register rain like the months September, October and November show the most loss, the only month that coincide things is September, because, besides it shows elevated rain register, September was the month that the farming has been planted.

Lista de Figuras

FIGURA 1: Principais compartimentos geológicos e geomorfológicos do Paraná.....	5
FIGURA 2: Localização da área de estudo.....	6
FIGURA 3: Velocidade de infiltração de água no solo.....	15
FIGURA 4: Geometria das três principais formas de encosta: retilíneas, convexa e côncava.....	18
FIGURA 5: Representa os diversos tipos de textura através do triângulo.....	19
FIGURA 6: Representa os diversos tipos de estruturas encontrados em solos minerais.....	20
FIGURA 7: Perda de solo por erosão laminar de acordo com diferentes tipos de cobertura.....	22
FIGURA 8: Representa o impacto de uma gota sobre o solo.....	24
FIGURA 9: Representa o impacto de uma gota sobre a superfície do solo causando uma micro-cratera e lançando partículas de solo.....	25
FIGURA 10: Principais tipos e formas de voçorocas.	28
FIGURA 11: Evolução de uma voçoroca no Noroeste do Paraná, pelo efeito do fluxo tubular (<i>piping</i>) junto ao nível freático.	29
FIGURA 12: Desabamento das paredes da voçoroca como consequência da presença de <i>piping</i>	29
FIGURA 13: Representa a relação entre dado e informação.	37
FIGURA 14: Representa um processo de análise de perda de solo utilizando SIG..	43
FIGURA 15: Representa a estrutura de um SIG	44
FIGURA 16 – Erosividade Anual do Paraná.....	47
FIGURA 17 – Pluviógrafo na Estação Climatológica Principal de Maringá.....	48
FIGURA 18 – Vista panorâmica da Estação Climatológica de Maringá.....	48
FIGURA 19 – Acumulo de água sobre o solo.....	51
FIGURA 20 – Acumulo de água sobre o solo com material em suspensão.....	52
FIGURA 21 – Escoamento superficial	52
FIGURA 22 – Nomograma Wischmeier.....	55
FIGURA 23 – Mapa das Principais classes de solo da área de estudo.....	56
FIGURA 24 – Mapa Hipsométrico da área de estudo.....	59

FIGURA 25 – Modelo Numérico de Terreno em 3D.....	60
FIGURA 26 – Modelo Digital do Terreno indicando fluxo d'água.....	60
FIGURA 27 – Mapa de Declividade.....	62
FIGURA 28 – Vista panorâmica da montante da bacia.....	63
FIGURA 29 – Vista panorâmica dos divisores de água.....	64
FIGURA 30 – Vista panorâmica dos divisores de água e nascente	64
FIGURA 31 – Mapa de Uso e Ocupação da área de estudo.....	66
FIGURA 32 – Cultivo de Soja e Milho.....	67
FIGURA 33 – Vista panorâmica de propriedades com cultivo de soja e milho.....	67
FIGURA 34 – Cultivo de Banana.....	68
FIGURA 35 – Cultivo de Café.....	68
FIGURA 36 – Vista panorâmica de solo parcialmente descoberto.....	71
FIGURA 37 – Solo recoberto por restos de cultivo de milho.....	72
FIGURA 38 – Modelo de terraço tipo base larga.....	76
FIGURA 39 – Terraço base larga recém reformado.....	77
FIGURA 40 – Vista panorâmica de plantio em contorno.....	78
FIGURA 41 – Vista aérea de terraços em uma propriedade.....	78
FIGURA 42 – Ribeirão com material em suspensão	84
FIGURA 43 – Ribeirão com cores avermelhada de material em suspensão.....	84

Lista de Tabelas

TABELA 1 – Índice de precipitação diários, mensais do ano de 2006.....	49
TABELA 2 – Meses e dias mais chuvosos acima de 30 minutos.....	50
TABELA 3 – Índice de Erosividade Fator (R).....	53
TABELA 4 – Classe de solo, pontos de coleta de amostras.....	57
TABELA 5 – Granulometria das amostras de solo.....	58
TABELA 6 – Índice de Erodibilidade do solo Fator (K).....	58
TABELA 7 – Principais formas de uso ocupação da área.....	69
TABELA 8 – Cobertura vegetal e Fatores (C e P).....	79
TABELA 9 – Perda de solo em relação área ocupada.....	80
TABELA 10 – Perda de solo de acordo com suas classes.....	82
TABELA 11 – Tolerância de perda de solo.....	85

Lista de Gráficos

GRÁFICO 1 – Valores de precipitação em (mm) para o ano de 2006.....	50
GRÁFICO 2 – Erosividade Fator (R) para ano de 2006.....	54
GRÁFICO 3 – Distribuição de uso/ocupação da área.....	69
GRÁFICO 4 – Comparação de perda de solo de acordo com Fator (R), (K), (C/P)..	81
GRÁFICO 5 – Perda de solo nas três classes de solo.....	83

Lista de Quadros

QUADRO 1: Taxas de infiltração para diversos tipos de solo.	15
QUADRO 2: Relação entre comprimento de rampa e perdas de solo.....	17
QUADRO 3: Classificação das partículas de solo em função de seu tamanho.....	19
QUADRO 4: Relação entre o tipo de cultura anual e sua perda de solo.....	23
QUADRO 5: Valor médio anual do índice de erosão acumulado.....	71
QUADRO 6: Fase de desenvolvimento das culturas.....	73
QUADRO 7: Razão de perda de solo entre área cultivada e descoberta.....	73
QUADRO 8: Cálculo do Fator (C).....	75
QUADRO 9: Fator (C), para demais tipos de uso e ocupação.....	76

Lista de Siglas

MDT: Modelo Digital de Terreno

MDE: Modelo Digital de Elevação

mm: Milímetros

Ton: Toneladas

ha: Hectare

MJ: Megajoule

MO: Matéria Orgânica

h: Hora

USLE: Universal Soil Loss Equation

RUSLE: Revised Universal Soil Loss Equation

SIG: Sistema de Informação Geográfica

GPS: Global Position System

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. JUSTIFICATIVA.....	3
3. OBJETIVOS.....	4
3.1. GERAL	4
3.2. ESPECÍFICOS	4
4. CARACTERIZAÇÃO DOS ASPECTOS FÍSICOS DA ÁREA DE ESTUDO.....	4
4.1. GEOLOGIA	7
4.2. SOLO E RELEVO	9
4.3. VEGETAÇÃO	9
4.4. CLIMA	10
5. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	10
5.1. PROCESSOS EROSIVOS	10
5.1.1. Erosão como Fenômeno de Desgaste Superficial.....	10
5.1.2. Agentes que Influenciam a Erosão.....	12
5.1.2.1. Precipitação.....	12
5.1.2.2. Infiltração.....	13
5.1.2.3. Topografia do terreno.....	15
5.1.2.4. Natureza do solo.....	18
5.1.2.5. Cobertura vegetal.....	21
5.1.3. Principais Tipos de Erosão Hídrica.....	23
5.1.3.1. Erosão hídrica.....	23
5.1.3.1.1. <i>Erosão por salpicamento</i>	24
5.1.3.1.2. <i>Erosão laminar</i>	25
5.1.3.1.3. <i>Erosão em sulcos</i>	26
5.1.3.1.4. <i>Erosão em voçorocas</i>	27
5.2. USO DE MODELO COMO METODOLOGIA NA ANÁLISE DE PERDA DE SOLO	30
5.2.1. Utilização de Modelo como Representação da Realidade.....	30
5.2.2. Principais Características e Funções dos Modelos.....	31
5.2.3. Concepções acerca dos Modelos na Análise de Perda de Solo.....	33

5.2.3.1. Modelo RUSLE na análise de perda de solo.....	33
5.3. USO DO GEOPROCESSAMENTO COMO TÉCNICA DE OBTENÇÃO E ANÁLISE DE DADOS, A FIM DE GERAR INFORMAÇÕES.....	35
5.3.1 Considerações conceituais dos SIG's.....	36
5.3.2. Principais Características Operacionais e Funcionais dos SIG's.....	38
5.3.2.1. Aquisição de dados.....	39
5.3.2.2. Armazenamento e manipulação de dados.....	39
5.3.2.3. Análise dos dados.....	40
5.3.2.4. Exibição dos resultados.....	43
6. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS E METODOLOGIA APLICADA.....	43
6.1. FATOR (R)	45
6.2. FATOR (K)	54
6.3. FATOR (L , S)	59
6.4. FATOR (C , P).....	65
7. CONCLUSÕES E SUGESTÕES	86

1. INTRODUÇÃO

A questão ambiental tem sido um dos principais temas discutidos no mundo nos últimos tempos. Buscar alternativas que minimizem os impactos causados diretamente ou indiretamente ao meio ambiente passa pelo estágio de reconhecimento do meio físico natural, tais como: hidrografia, vegetação, clima, solos entre outros, uma vez que dentre esses existem restrições à forma de uso e ocupação do solo.

O solo, além da grande superfície que ocupa no globo, é uma das maiores fontes de energia para os animais e vegetais (incluindo o homem) na Terra. O mesmo carece de equilíbrio dinâmico com os fatores que determinam suas características: clima, material de origem, topografia, biota e tempo, pois o não equilíbrio entre o solo e seus constituintes desencadeia processos de degradação, no entanto, a reação à determinada mudança ambiental varia de solo para solo, em função de suas características físicas, químicas, e biológicas. As alterações no solo podem ser naturais, por exemplo, devido ao aumento ou diminuição da precipitação, que contribui para a desagregação de material, ou antrópicas (ações provocadas pelo homem), através de atividades como culturas anuais, queimadas, urbanização entre outras. As mudanças mais drásticas correspondem normalmente às tentativas, bem sucedidas ou não, de melhorar a produtividade do solo (fertilidade) com uso de fertilizantes e adubos químicos, irrigação ou drenagem, Drew (1986).

Uma das alterações mais marcantes sobre o solo e nem sempre perceptível é a erosão, que segundo Bigarella (2003) está ligado aos processos de desgaste da superfície do terreno com a retirada e transporte dos grãos minerais.

Algumas das causas do esgotamento do solo pela erosão podem ser controladas, as técnicas utilizadas para aumentar a resistência do solo ou diminuir as forças do processo erosivo, denominam-se práticas conservacionistas. Uma das formas de se evitar tal processo é através de estudos de casos de processos erosivos, e para mensurar e representar áreas com processos erosivos utiliza-se a RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation) que é um modelo de equação

adaptada da USLE (Universal Soil Loss Equation) que foi desenvolvida nos Estados Unidos por Wischmeier & Smith (1978), posteriormente adaptada por Bertoni & Neto (1975), para as condições brasileiras, apresentando grandes resultados, sendo muito utilizada por pesquisadores brasileiros (Scopel, 1988; Pinto, 1991; Guedes, 2001). Ambas as equações USLE ou RUSLE levam em consideração fatores naturais do meio físico, como: precipitação, características físicas do solo, declividade e uso/ocupação da terra. Essa equação é representada desta forma:

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

Onde:

A: representa perda computada de solo por unidade de área, ton/ha; R: a erosividade das chuvas; K: a erodibilidade dos solos; L: comprimento do declive; S: grau do declive; C: uso e manejo do solo; P: práticas conservacionistas.

Na proposta original, a USLE limitava-se apenas à estudos de vertentes ou pequenas glebas, no entanto com passar dos anos foram incluídas diversas modificações na equação para poder adaptá-la a áreas maiores, com isso surge a RUSLE, que é uma equação revisada da equação universal de perda de solo. Nesta nova versão os fatores que a compõem podem ser extraídos através de técnicas de geoprocessamento e sistema de informação geográfica (SIG) que são de forma geral, tecnologias computacionais de obtenção, armazenamento e manipulação de dados afim de gerar informações.

A utilização do geoprocessamento e Sistemas de Informações Geográficas (SIG's), viabiliza sua aplicação. Especificamente no caso do uso do solo, diversos trabalhos têm sido desenvolvidos mostrando a potencialidade e o desempenho de imagens orbitais para a discriminação de classes e acompanhamento de modificações de uso do solo.

Para o desenvolvimento deste trabalho foi selecionada a bacia hidrográfica do Ribeirão Reis, no Município de Maringá-PR e visa não somente a análise dos processos erosivos, como também a quantificação de material transportado no período de um ano, assim como a comparação de perda de solo em latossolos

vermelho, nitossolos e gleissolos em relação aos solos de mesma ordem quantificados por outros pesquisadores como (Henklain, 1983; Hernani *et al.*, 1997; Santana *et al.*, 1994; Carvalho & Lombardi Neto, 1993 IAPAR, 1999 entre outros).

Esta dissertação encontra-se estruturada da seguinte forma: primeira parte, justificativa e objetivos da pesquisa; segunda, caracterização dos aspectos físicos presentes na área de estudo; terceira, fundamentação teórica relacionada ao tema; quarta, metodologia, análise dos resultados, e conclusão.

2. JUSTIFICATIVA

Motivados por influências econômicas, ou seja, aumento da produtividade visando maior lucro, o homem desmata grandes áreas a fim de ampliar a produção, desencadeando problemas ambientais como: erosão do solo e conseqüentemente o assoreamento de outras áreas. Isto causa perdas inaceitáveis, mesmo havendo aplicação de práticas intensivas de controle à erosão, porque, de acordo com as características físicas, químicas e biológicas do solo, existem áreas que são mais susceptíveis aos processos erosivos que outras, aumentando a necessidade de um planejamento adequado em seu uso e ocupação.

Para que se possa estruturar e viabilizar um planejamento a fim de evitar perda de material do solo, tanto local como regional, é necessária a implementação de uma política adequada, necessitando de informações confiáveis e atualizadas referentes ao uso/ocupação do solo. Estas informações e análises da ocupação antrópica e suas adequações às condições do meio físico podem ser realizadas e agilizadas com a utilização de modelos como a RUSLE, juntamente com geoprocessamento.

Com isso compreende-se a importância deste trabalho, que contribuirá não só como base de conhecimento científico, tendo em vista que não há trabalhos envolvendo essa metodologia para a bacia selecionada. Como também, servindo de suporte para o planejamento e melhor uso/ocupação da área, evitando assim problemas ambientais futuros, como: assoreamento de rios e lagos, perda da fertilidade e produtividade do solo e processos de ravinamento e voçorocamento.

3. OBJETIVOS

3.1. GERAL

Avaliar a perda de solo por erosão laminar dos latossolos vermelhos férricos, nitossolos e gleissolos, na Bacia do Ribeirão Reis – PR, utilizando o modelo RUSLE concomitante com técnicas de geoprocessamento.

3.2. ESPECÍFICOS

Analisar os principais processos erosivos presentes na bacia em estudo;

Realizar levantamento da cobertura vegetal, tipos de solo, declividade e uso/ocupação da bacia mediante técnicas de geoprocessamento;

Utilizar a RUSLE como aporte para mensuração da quantidade de material erodido no período de um ano;

Mapear e quantificar as áreas com potencial erosivo na bacia em estudo;

4. CARACTERIZAÇÃO DOS ASPECTOS FÍSICOS DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo está localizada no Estado do Paraná, que tem cerca de 199.362 km², e compreende a 2,4% do território nacional.

O Paraná pode ser dividido de leste “A” para oeste “B”, em quatro zonas geomorfológicas conforme Figura 1. A zona litorânea, a zona da serra (Serra do Mar), o 1º Planalto, o 2º Planalto e o 3º Planalto, no qual, se encontra a área de estudo.

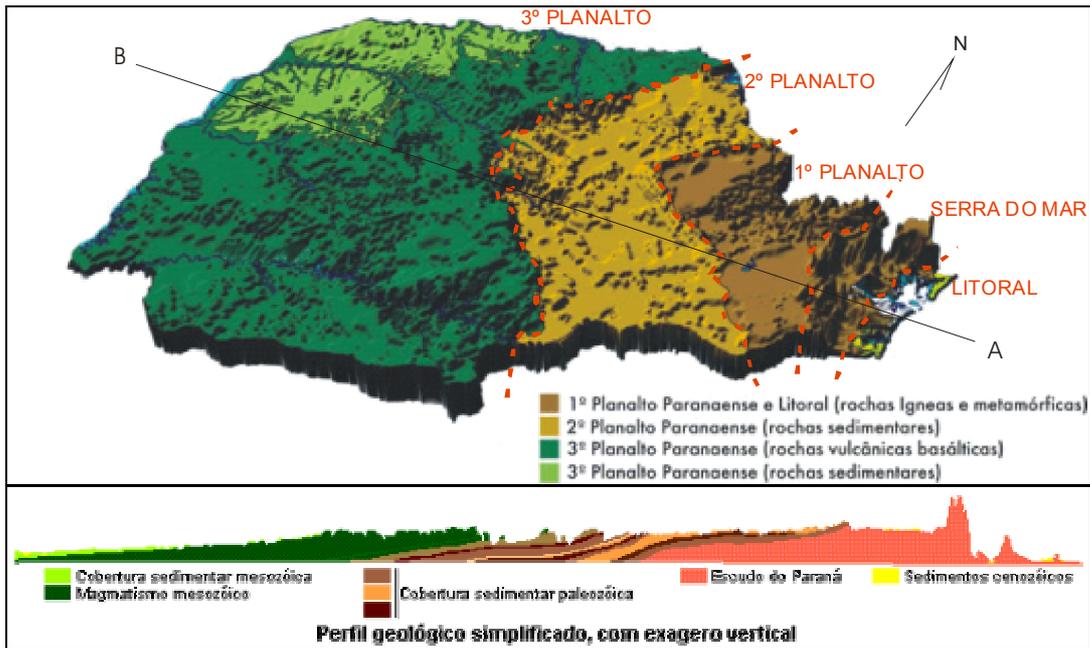


Figura 1 – Representa os principais compartimentos geológicos, geomorfológicos do Paraná e seu perfil.

Fonte: MINEROPAR, construído por Otávio A. B. Licht, (2006).

A área de estudo compreende a bacia do Ribeirão Reis, ao Sul da cidade de Maringá-PR, esta tem cerca de 5km² com coordenadas limites de latitude sul 23° 31' 02" e 23° 32' 52"; longitude oeste 51° 59' 11" e 52° 00' 30" conforme Figura 2.

A cidade de Maringá é dividida por um espigão no sentido (E – W), com isso, os córregos que nascem ao norte do espigão deságuam no Rio Pirapó, em seguida no Rio Paranapanema. Os córregos que nascem ao sul como é o caso do Ribeirão Reis, deságua no Rio Pingüim, que por sua vez é um afluente do Rio Ivaí.

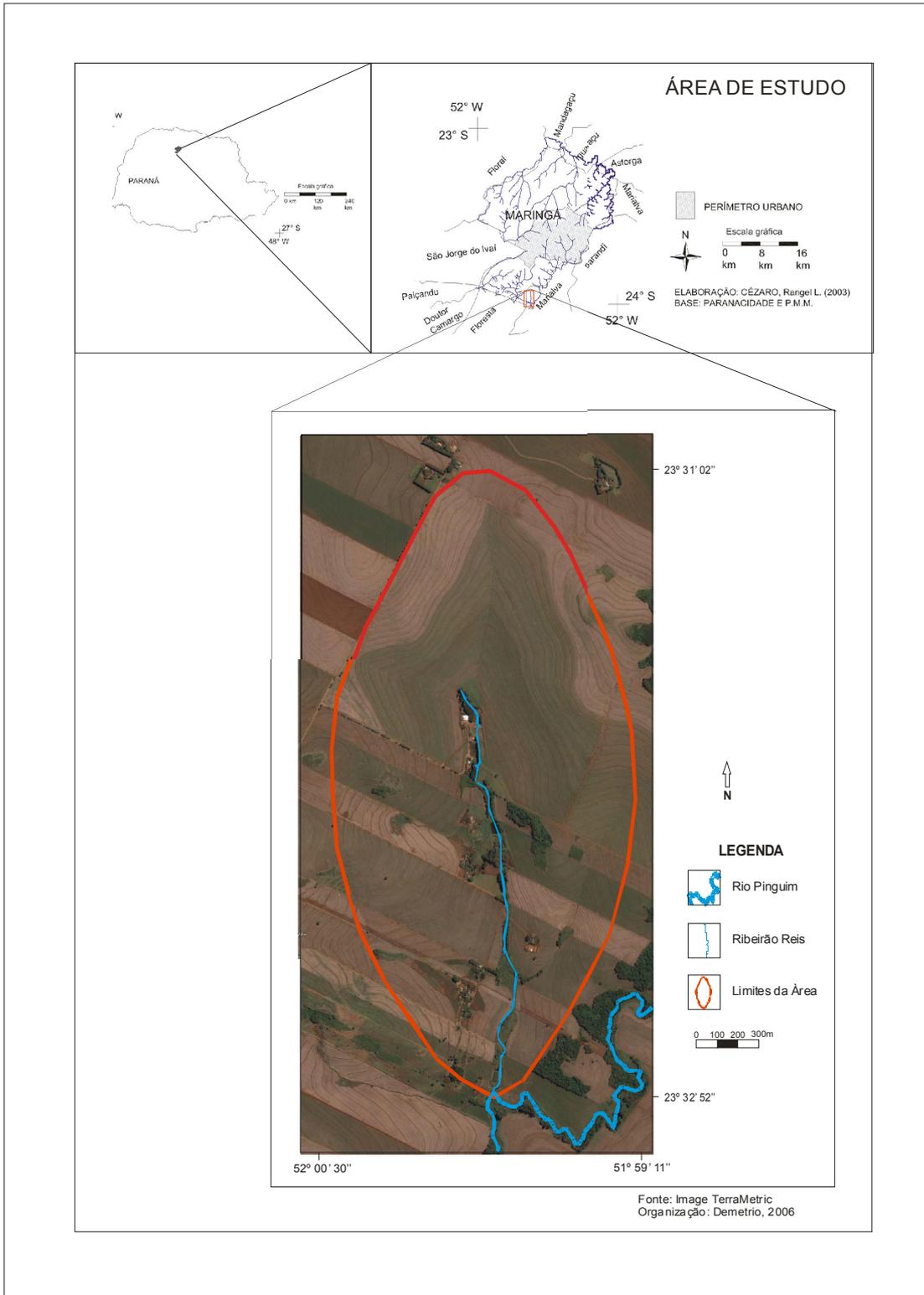


Figura 2 – Representação esquemática da área de estudo na bacia do Ribeirão Reis Maringá – Pr.

4.1. GEOLOGIA

Uma breve história geológica do Estado do Paraná está relacionada com a geologia da Terra, pois na Era Pré-Cambriana formaram as rochas mais antigas agrupadas nos chamados "escudos cristalinos brasileiro", encontrados no Primeiro Planalto e na Serra do Mar. A Era Mesozóica por sua vez é a mais marcante principalmente no Terceiro Planalto onde o clima, que a princípio era árido, formou um extenso deserto no sul do Brasil, cujo vestígio é o arenito Botucatu, intercalado ao arenito vieram os derrames basálticos, que se espalhou por uma vasta área, através de fendas abertas na superfície. A decomposição dessas lavas deu origem aos férteis solos conhecidos como "terra roxa". Da Era Cenozóica aos dias atuais, ocorreram intenso processo de erosão, modelando às formas atuais do relevo.

Afim de melhor compreensão da formação geológica do Paraná, bem como, da área de estudo foi considerado a classificação proposta por MAACK, 1968, Figura 1.

- Zona litorânea:

A faixa litorânea são terras baixas com cerca de vinte quilômetros de largura média. Compreende terrenos baixos e inundáveis (planícies aluviais e formações arenosas) e morros cristalinos com aproximadamente cinquenta metros de altura. Em sua porção setentrional, a mesma se fragmenta, dando lugar à baía de Paranaguá, cujo aspecto geomorfológico resulta na penetração do mar através de antigos vales fluviais.

- Serra do Mar:

A serra do Mar constitui o rebordo oriental do "escudo cristalino brasileiro", sendo constituída essencialmente por gnaisses e granitos, que foram intensamente desgastados. Na serra do Mar se encontram as mais elevadas altitudes do estado. O ponto mais alto do estado é o pico Paraná, com 1.877m.

- Primeiro planalto:

Apresenta uma faixa de terrenos cristalinos, que se estende em sentido norte-sul, a oeste da serra do Mar. É constituído por terrenos cristalinos pré-cambrianos, intercalados por formações de rochas sedimentares como o calcário, com relevo suavemente ondulado inclinando em direção ao segundo planalto à oeste.

- Segundo Planalto:

Também chamado de Planalto de Ponta Grossa, apresenta grande sedimentação paleozóica e mesozóica, inclinado para oeste, sudoeste e noroeste. Onde foram encontrados fósseis importantes para a determinação da idade das camadas devonianas e dos membros das camadas Gondwânicas paranaense. Todo esse complexo sedimentar circunda o suave abaulamento do complexo cristalino brasileiro num arco quase retangular aberto para leste.

As séries de diques de diabásio nas cristas das elevações constituem características importantes para a topografia do segundo planalto, formando linhas que determinam a orientação da maior parte dos espigões rumo noroeste. O limite entre o segundo e terceiro planalto são as manifestações dos derrames basálticos.

- Terceiro planalto:

Também chamado de planalto de Guarapuava, é a mais extensa das unidades de relevo do estado. Apresenta em sua maioria derrames basálticos ocorridos na Era Cenozóica, esse derrame intercala-se com a sedimentação do Arenito Botucatu, formando diversas camadas, pois o processo de sedimentação assim como os derrames basálticos ocorreram em fases distintas.

Os derrames basálticos desenvolvem inclinação suavemente na direção noroeste, sentido à calha do Rio Paraná, nas bordas desse derrame basáltico sobrepoem-se a formação Caiuá, que corresponde a deposição arenosa do processo eólico ocorrido no Triássico Superior.

A área de estudo está localizada exatamente sobre os derrames basálticos do Terceiro Planalto.

4.2. SOLO E RELEVO

Ao estudar os diferentes tipos de solos, deve-se considerar a influencia da variação do relevo na formação da cobertura pedológica. O relevo influi, uma vez que, a declividade das vertentes é responsável pela maior ou menor infiltração da água pluvial, além da velocidade do escoamento superficial. Assim, pode-se afirmar, que entre outros fatores, a espessura e o grau de desenvolvimento dos solos estão relacionados com a inclinação dos terrenos.

Embasado nos fatores descritos no parágrafo anterior, os três tipos de solos e classes de relevo presentes na área de acordo com (Derpsch *et al.*, 1990; Embrapa, 1999; Sala, 2005) são:

Latossolo vermelho férrico: solo espesso e desenvolvido, derivado do basalto e ocorre nas áreas de relevos planos no topo da bacia.

Nitossolo Vermelho distroférico: solo com característica latossólica, horizonte (B) nítico que se desenvolve nas áreas de média vertente, com relevo suavemente ondulado e ocupa quase toda área da bacia.

Gleissolo: solo com característica glei (hidromórfica), encontrado próximo aos canais de drenagem de relevo plano nas baixadas.

4.3. VEGETAÇÃO

A vegetação no Paraná é representada pela floresta tropical e campos, este ocupa o primeiro e segundo planaltos em sua maioria, já a floresta tropical abrange o em sua maioria o terceiro planalto, na área de estudo essa floresta é subdividida e classificada como sendo Floresta Estacional Semidecidual, que outrora possuía vegetação exuberante, onde segundo Maack (1968), existiam árvores que chegavam a 40 metros de altura, dentre elas, espécies como a peroba, canela, cedro, pau-d´alho, ipês, entre outras. Porém, com a descoberta da qualidade do solo favorável à cultura cafeeira, no início do século XX, ocorreu na região uma acelerada substituição da cobertura vegetal natural pelo plantio de café. Nos últimos anos em decorrência do desenvolvimento e aumento das culturas anuais de soja, trigo e

milho, as áreas florestadas restantes ainda foram reduzidas, restando apenas alguns remanescentes nas propriedades rurais e nascentes de rios.

4.4. CLIMA

O Estado do Paraná, dada sua localização geográfica, sofre ação das massas de ar quentes e frias, em especial as massas de ar tropical marítima e polar. O choque entre as duas massas de ar gera uma zona de descontinuidade, em que os ventos convergentes tornam o tempo instável e geralmente chuvoso. Essas zonas são dinâmicas e possuem estrutura perturbada.

O clima do estado do Paraná é influenciado pelas correntes perturbadas do noroeste, por serem típicas da circulação atmosférica tropical, são restritas às regiões norte e oeste do estado e também pelas correntes perturbadas do sul, que são as frentes polares, abrangendo o estado como um todo, sendo as principais responsáveis pelas maiores freqüências e índices de precipitações pluviométricas (MONTEIRO, 1968).

Na área de estudo, um dos fatores determinantes do clima é sua localização na altura do trópico de Capricórnio. Esta posição condiciona a ocorrência de elevadas temperaturas nos períodos de verão. Além desse fator, a condição topográfica favorece a penetração dos sistemas atmosféricos tanto tropicais quanto extra-tropicais, com temperaturas nos meses mais quentes acima de 22° e nos meses mais frios abaixo de 18°, com raras geadas noturnas. A precipitação média anual varia entre 1.250 a 1.500mm/ano, onde a maior precipitação geralmente ocorre nos meses de verão.

5. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

5.1. PROCESSOS EROSIVOS

5.1.1. Erosão como Fenômeno de Desgaste Superficial

O termo erosão segundo Zachar *apud* Silva *et al.* (2004), originou-se do *latim*, do verbo *erodere* (escavar) e nas ciências ambientais define-se erosão como sendo o processo de desprendimento e/ou desgaste e transporte de partículas pela ação

da água, vento ou gelo, incluindo arraste gravitacional (ACIESP, 1987; VEIGA *et al.*, 1994).

A erosão segundo (Carvalho 1994; Bigarella, 2003; Silva *et al.*, 2004) é classificada em dois grandes grupos, geológica e acelerada. A geológica ou também conhecida como natural se processa pelo desgaste da superfície da terra por água, gelo ou outros agentes naturais, sob condições correspondentes em termos de clima e vegetação estabelecendo-se o ciclo natural de erosão. Com uma seqüência de fases evolutivas das formas de relevo, a partir da dissecação e aplainamento vertical da paisagem, essas fases podem ser divididas em juvenil, madura e senil (ACIESP, 1987; SILVA *et al.*, 2004).

Já a erosão acelerada, ou também conhecida como antrópica, é mais rápida que a natural, sendo entendida como o processo de desprendimento e arraste “acelerado” das partículas do solo, causado pela água e/ou vento e constitui, sem dúvida, a principal causa do depauperamento acelerado das terras (SILVA, *et al.*, 2004; BERTONI & LOMBARDI NETO, 2005).

A ação antrópica constitui o principal fator na deflagração dos processos erosivos acelerados conforme Rodrigues *apud* Silva *et al.* (2004) este processo se constitui pela ruptura do equilíbrio natural existente no solo, no qual, forças advindas de fatores climáticos, como: a chuva e o vento são suficientes para desequilibrar esse sistema, associadas a outros fatores relativos às condições do terreno sobre o qual a chuva incide.

Essas forças determinam a intensidade do processo erosivo e dentre os fatores relacionados às condições do terreno que interferem no processo erosivo destacam-se: a declividade, a capacidade de infiltração de água no solo, distância percorrida pelo escoamento superficial, rugosidade superficial, resistência do solo à ação erosiva da chuva e percentagem de cobertura vegetal existente nele (GALETI, 1984; BERTONI & LOMBARDI NETO, 2005).

5.1.2. Agentes que Influenciam a Erosão

Os principais fatores que influenciam a erosão são subdivididos em ativos e passivos. Segundo (Amaral, 1978; Bertoni & Lombardi Neto, 2005), afirmam que os ativos compreendem as características da precipitação, infiltração e declividade. Já os passivos são representados pelas características físicas e estruturais dos solos, bem como a cobertura vegetal.

5.1.2.1. Precipitação

A água da chuva exerce sua ação erosiva sobre o solo por meio do impacto das gotas que caem com velocidades e energias variáveis dependendo do seu diâmetro e escoamento da enxurrada.

Segundo Bertoni & Lombardi Neto (2005), um dos fatores climáticos de maior importância na erosão do solo é a precipitação. Pois, o volume e a velocidade da enxurrada causada pela precipitação dependem da intensidade, duração e frequência da chuva.

Assim, valores de precipitação em totais ou médias mensais e anuais pouco significam em relação à erosão, por exemplo: em duas regiões podem cair em um ano a mesma quantidade de chuva, onde uma delas com vários eventos pluviométricos e na outra ocorrer dois ou três eventos, é provável, que esta última ocorra uma erosão mais severa, ambas em condições semelhantes de relevo, vegetação e tipos de solo (BERTONI & LOMBARDI NETO, 2005).

Dessa forma, no que se refere à precipitação, definida como a quantidade de chuva que cai de forma contínua em um período mais ou menos longo, deve-se considerar principalmente as características de intensidade e frequência (LEPSCH, 1977; SALOMAO, 1999; BERTONI & LOMBARDI NETO, 2005).

A intensidade é o fator de maior relevância, porque quanto maior a intensidade de chuva, maior a perda por erosão. Dados obtidos por Suarez Castro *apud* Bertoni & Lombardi Neto (2005), revelaram que: para uma mesma chuva total

de 21mm, uma intensidade de 7,9mm/h produziu perda de terra cem vezes maior que uma de 1mm/h.

A freqüência, está relacionada aos intervalos entre as precipitações, pois quanto maior a freqüência maior o teor de umidade no solo, conseqüentemente a enxurrada é mais volumosa, mesmo com chuvas de menos intensidade. E quanto menor a freqüência menor é a umidade no solo, assim, menor a possibilidade de enxurrada, ou seja, a freqüência é diretamente proporcional ao teor de umidade e enxurrada, ou seja, erosão (BERTONI & LOMBARDI NETO, 2005).

5.1.2.2. Infiltração

A infiltração constitui o processo pelo qual a água da superfície penetra no solo, sendo controlada por diversos fatores, entre eles: freqüência, intensidade (já mencionados no item anterior), duração da precipitação, estrutura do solo (porosidade, umidade, agregação e fendas), declividade e cobertura vegetal (BIGARELLA, 2003; BERTONI & LOMBARDI NETO, 2005).

A duração da precipitação é o fator mais expressivo na infiltração, pois, no início, a infiltração é rápida (solo seco), diminuindo com o transcorrer do tempo, até chegar a um valor mínimo, porque quando a taxa de precipitação excede a capacidade de infiltração, a água acumula-se na superfície do solo iniciando o escoamento, no qual pode ocasionar erosão laminar (REICHARDT, 1975; GALETI, 1984).

A porosidade é representada pelo movimento da água no solo, sendo realizada por forças da gravidade e capilaridade¹. O movimento realizado através dos macroporos em solo saturado é fundamentalmente gravitacional, enquanto que num solo não saturado ou com microporos ocorre principalmente pela capilaridade (BIGARELLA, 2003; BERTONI & LOMBARDI NETO, 2005).

¹Capilaridade: Propriedade física que permite a água intersticial de um solo atingir pontos situados acima do lençol freático. Esta propriedade está relacionada à tensão capilar, cuja intensidade aumenta em função do decréscimo da porosidade (SUGUIO, 1998).

Tratando-se ainda sobre a porosidade, esta pode aumentar devido à atuação biológica dos organismos através de perfurações feitas por térmitas e raízes de plantas, porém pode ser reduzida pela compactação causada por maquinários agrícolas assim como o salpicamento ocasionado pelo impacto da gota de chuva no solo (BIGARELLA, 2003).

Com relação à estrutura do solo, a velocidade de infiltração está relacionada aos coloides dos agregados que tendem a se dilatar quando molhado, reduzindo, com isso, o tamanho e o espaço dos poros e, conseqüentemente, a capacidade de infiltração. Solos com alto conteúdo de material coloidal podem romper quando secos, resultando em alta velocidade de infiltração, até que as fendas se saturem. Assim, solos com maior porcentagem de material coloidal, dilatam-se com maior umidade e conseqüente diminuição de infiltração (BERTONI & LOMBARDI NETO, 2005).

Com base nisso Veiga *et al.* (1994), em suas pesquisas determinou a capacidade de infiltração com relação aos diferentes tipos de granulometria dos solos. Quadro 1.

QUADRO 1 – Taxas de infiltração com relação aos diversos tipos de granulometria dos solos.

Tipo de Solo	Infiltração Final (mm/h)
Areias	20
Arenosos e siltsosos	10 – 20
Francos	5 – 10
Argilosos	1 – 5

Fonte: VEIGA *et al.*, (1994).

Segundo Cabeda (1984), diferentes usos e manejos no solo podem modificar suas características com relação à infiltração. Na Figura 3, a seguir, observam-se os resultados da taxa de infiltração da água em função de diferentes usos e seu tempo.

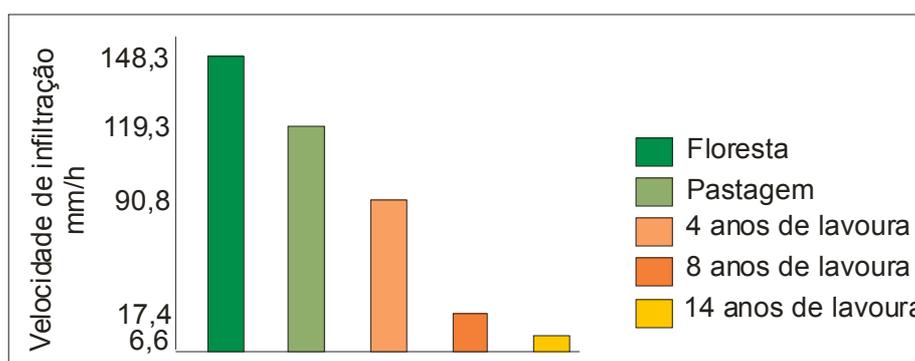


FIGURA 3 – Velocidade de infiltração de água no solo Santo Ângelo, após 9 horas de observação sob diferentes usos.

Fonte: MACHADO, (1976) *apud* VEIGA *et al.*, (1994).

Com base na figura 3, percebe-se a influência da cobertura vegetal no processo de infiltração, assim como o manejo do solo. Segundo Primavesi (1982), as práticas de melhoramento do solo no controle da erosão vem da habilidade de produzir uma eficiente cobertura vegetal.

5.1.2.3. Topografia do Terreno

A influência da topografia do terreno na intensidade erosiva conforme (Salomão, 1999; Bertoni & Lombardi Neto, 2005), verifica-se principalmente pela

declividade e comprimento de rampa (comprimento da vertente). Pois esses fatores interferem diretamente na velocidade da enxurrada, deste modo, quanto maior a velocidade da enxurrada, maior a capacidade de arraste superficial das partículas do solo (SALOMÃO, 1999).

Em geral, associa-se a erosão, unicamente com relação à inclinação do terreno, ou seja, com sua declividade. Poucos são os que se preocupam com o comprimento de rampa. Pelos dados apresentados por Bertoni, 1959 *apud* Bertoni & Lombardi Neto (2005 p. 58).

[...] Pode-se estimar que um terreno com 20 metros de comprimento e 20% de declividade tem a mesma perda de terra que um de 180 metros de comprimento com apenas 1% de declividade [...]

Deste modo, percebe-se a importância do comprimento de rampa juntamente com a declividade. Pois, à medida que o caminho percorrido aumenta, não somente as águas avolumam-se proporcionalmente como, também, sua velocidade de escoamento aumenta progressivamente. Assim, quanto maior o comprimento de rampa, mais enxurrada se acumula, com maior energia cinética resultando em potencial à erosão (BERTONI & LOMBARDI NETO, 2005).

Com relação ao comprimento de rampa e declividade Bertoni, 1959 *apud* Bertoni & Lombardi Neto (2005), desenvolve uma equação baseada em experimentos realizados em estações experimentais do Instituto Agrônomo de Campinas, com auxílio de talhões experimentais munidos de coletores especiais, determinam o efeito dessas duas características topográficas (grau de declive e comprimento de rampa), representado pela seguinte equação.

$$T = 0,018 D^{1,18} \cdot C^{1,63} \quad (2)$$

Onde:

T= perda de solo em quilograma por unidade de largura;

D= grau de declive em porcentagem;

C= comprimento de rampa em metros

Utilizando a equação o mesmo autor obteve valores de perda de solo com relação ao declive e o comprimento de rampa, que podem ser analisado conforme quadro 2.

QUADRO 2 – Relação entre comprimento de rampa e perdas de solo, com médias de 1.300mm de chuva e declives entre 6,5 e 7,5%.

Comprimento de Rampa (metros)	Perda de Solo (ton/ha)
25	13,9
50	19,9
100	32,5

Fonte: BERTONI & LOMBARDI NETO, (2005).

Outro aspecto com relação à topografia do terreno são as formas das vertentes, pois a dinâmica das encostas, traduzidas na forma de “complexo de rampa²”, atuam diferencialmente no tempo e no espaço, porque, de acordo com o tipo de vertente, retilínea, côncava e convexa, ocorre diferenciação no processo erosivo, com maior ou menor facilidade de atuação dos diferentes tipos de erosão.

Neste sentido, Silva *et. al.* (2004), afirmam que a relação entre forma erosiva e geometria das encostas serve de subsidio à detecção de áreas mais propícias aos processos de ravinamentos, sulcos e voçorocamentos, apresentando as principais formas de vertentes, conforme Figura 4.

² Complexo de rampa: utilizado no sentido de que existem diferentes formas de vertentes, que influenciam complexos escoamentos em detrimento desses tipos de vertentes.

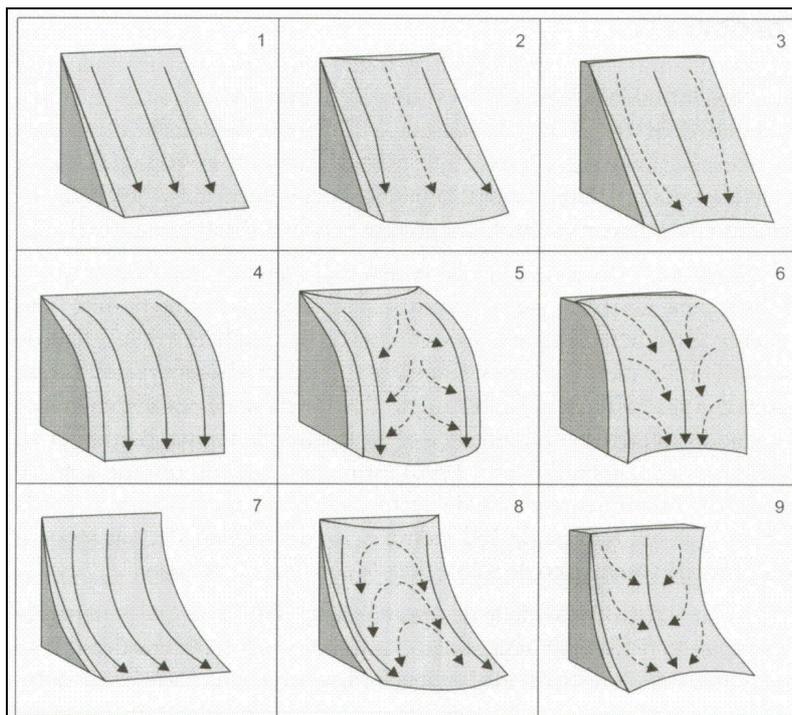


FIGURA 4 - Representa a geometria das três principais formas de encosta: retilíneas, convexa e côncava.

Fonte: SILVA *et. al.*, (2004).

5.1.2.4. Natureza do Solo

O solo, por influenciar e sofrer a ação dos processos erosivos, constitui o principal fator natural relacionado à erosão.

Segundo Lepsch (1977), alguns solos são mais suscetíveis que outros devido suas propriedades físicas, principalmente: textura, estrutura, permeabilidade, densidade, além das propriedades químicas, biológicas e mineralógicas (SALOMÃO, 1999).

A textura representa o tamanho das partículas minerais, que são separadas de acordo com seus tamanhos, via de regra. O Quadro 3, mostra as principais classes granulométricas e seus respectivos tamanhos, bem como a relação entre as diferentes texturas representadas pelo triângulo, Figura 5.

QUADRO 3 – Classificação das partículas de solo em função de seu tamanho.

Nome	Intervalo de tamanho das partículas (mm).
Areia muito grossa	2,00-1,00
Areia grossa	1,00-0,50
Areia média	0,50-0,25
Areia fina	0,25-0,125
Areia muito fina	0,125-0,0625
Silte grosso	0,0625-0,0310
Silte médio	0,0310-0,0160
Silte fino	0,0160-0,0080
Silte muito fino	0,0080-0,0040
Argila grossa	0,0040-0,0020
Argila média	0,0020-0,0010
Argila fina	0,0010-0,0005
Argila muito fina	0,0005-0,00024

Fonte: American Geophysical Union *apud* SILVA *et al.*, (2004).

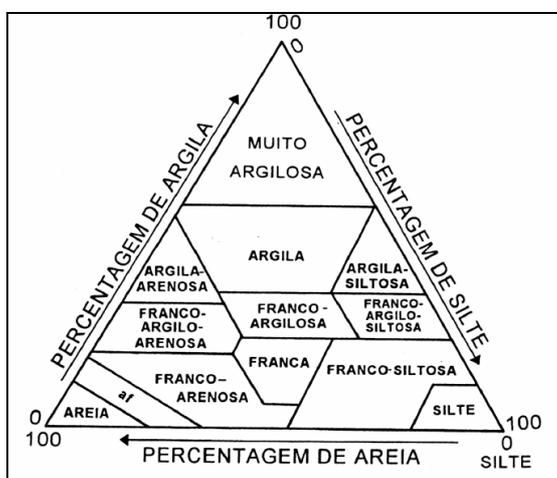


FIGURA 5 - Representa a textura através do triângulo.

Fonte: BRADY, (1989).

A textura está relacionada ao tamanho das partículas e isto influi no processo erosivo com relação a maior ou menor capacidade de coesão entre as partículas de solo que podem ser arrastadas, assim como a capacidade de infiltração e absorção da água da chuva (BRADY, 1989; SALOMÃO, 1999).

A estrutura relaciona-se ao modo como se arranjam as partículas do solo nos grupos ou agregados. Os principais tipos estruturais presentes em solos minerais conforme Brady (1989), estão representados na Figura 6:

EM FORMA DE PLACA		LAMINAR também encontrado em forma de folhas e flocos	Poderá ocorrer em qualquer parte do perfil. Às vezes proveniente do material do solo
EM FORMA DE PRISMA		PRISMÁTICO (topo plano) COLUNAR (topo arredondado)	Ambos ocorrem usualmente nos subsolos. São comuns em solos de regiões áridas e semi-áridas
EM FORMA DE BLOCOS		CONSTITUIDA DE BLOCOS (semelhante a blocos) NUCIFORME (semelhante a nozes)	Estas formas são comuns em subsolos pesados, particularmente nos de regiões úmidas
EM FORMA DE ESFEROIDE		GRANULAR (porosa) GRUMO (muito pososa)	Característica da camada de aradura. Sujeita a modificações rápidas e amplas

FIGURA 6 – Representa os diversos tipos de estruturas encontrados em solos minerais com suas localizações nos perfis.

Fonte: BRADY, (1989).

A estrutura, bem como a textura, influencia nos processos erosivos, no tocante à capacidade de infiltração da água da chuva, como também, na capacidade de arraste das partículas do solo (SALOMÃO, 1999; BERTONI & LOMBARDI NETO, 2005).

Com base nessas afirmativas Salomão (1999), afirma que solos com estrutura microagregada ou granular, como os latossolos, apresentam alta porcentagem de poros e, conseqüentemente, alta capacidade de infiltração com agregação entre suas partículas, aumentando a resistência do solo contra o arraste de partículas pela ação das águas.

A permeabilidade, por sua vez, determina a maior ou menor capacidade de infiltração das águas de chuva, estando diretamente relacionada com a porosidade do solo (SALOMÃO, 1999).

A densidade do solo representa a relação entre sua massa total e volume, que é inversamente proporcional à porosidade e permeabilidade, ou seja, quanto maior o valor da massa e volume, isto é, a densidade, menor será a porosidade e a capacidade de permeabilidade do solo ou vice versa (SALOMÃO, 1999).

Finalmente as propriedades químicas, biológicas e mineralógicas do solo influem com relação à estrutura e forma como se interagem e inter-relacionam os agregados (SALOMÃO, 1999).

5.1.2.5. Cobertura Vegetal

A cobertura vegetal está relacionada a qualquer forma de vegetação presente no solo, sejam florestas, campos, pastagens, ou mesmo cultivo agrícola.

A cobertura vegetal é um aspecto de grande relevância como fator que influencia a erosão, pois o solo sem ou, com pouca cobertura, possibilita maiores índices de processos erosivos.

Assim, a cobertura vegetal é a defesa natural de um terreno contra a erosão, em que (Bertoni & Lombardi Neto, 2005; Salomão, 1999) destacam os seguintes aportes:

- Proteção contra o impacto direto das gotas de chuva;
- Dispersão e quebra da energia das águas de escoamento superficial;
- Aumento da infiltração pela produção de poros no solo por ação das raízes;
- Aumentos da capacidade de retenção de água pela estruturação do solo, devido à produção e incorporação de matéria orgânica;

Isto é possível pelo fato de que a cobertura vegetal representada por florestas, campos, serrapilheira³ entre outros, interceptam o impacto das gotas das chuvas, diminuindo sua energia cinética evitando o salpicamento do solo e também o escoamento superficial (BERTONI & LOMBARDI NETO, 2005).

No entanto, a desagregação e o transporte das partículas podem variar de acordo com o tipo de cobertura. Pois, alguns tipos vegetais tornam o solo mais suscetível à erosão que outros. Por exemplo, solos com culturas anuais, como: milho, algodão e soja, estão mais expostos à erosão que solos cultivados com plantas perenes ou semi-perenes, como: café, cana-de-açúcar, laranja entre outros (LEPSCH, 1977).

De acordo com a Figura 7, pode-se observar a quantidade de perda de solo por erosão laminar de acordo com diferentes tipos de cobertura. Assim como o Quadro 4, que apresenta a quantidade de perda de material, de acordo com o tipo de cultivo do solo, conforme dados de Bertoni & Lombardi Neto (2005).

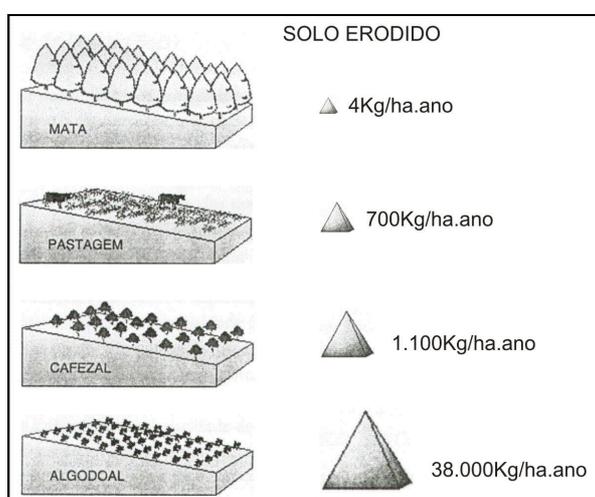


FIGURA 7 – Perda de solo por erosão laminar de acordo com diferentes tipos de cobertura.

Fonte: LEPSCH, (1977).

³ Serrapilheira: Camada superficial do solo constituído de folhas, galhos, frutos e outros restos orgânicos caídos e não decompostos, que se acumulam na superfície do solo sob uma floresta (SUGUIO, 1998).

QUADRO 4 – Relação entre o tipo de cultura anual e as perdas por erosão, com média de 1.300mm de chuva e declive entre 8,5 a 12,8%.

Culturas Anuais	Perdas Solo (ton/ha)
Mamona	41,5
Feijão	38,1
Mandioca	33,9
Amendoim	26,7
Arroz	25,1
Algodão	24,8
Soja	20,1
Batatinha	18,4
Cana-de-açúcar	12,4
Milho	12,0
Milho+Feijão	10,1

Fonte: BERTONI & LOMBARDI NETO, (2005).

Com base nesses valores percebe-se a influencia que a cobertura vegetal exerce como fator de combate à erosão. Porém, não é só o tipo de cobertura ou cultivo que irá combater a erosão, mas também faz-se necessária, a realização de práticas conservacionistas adequadas, como por exemplo: culturas em faixas, terraceamento, curvas de níveis entre outros (BERTONI & LOMBARDI NETO, 2005).

5.1.3. Principais Tipos de Erosão Hídrica

5.1.3.1. Erosão Hídrica

A erosão hídrica constitui o processo de erosão ocasionado pela água, influenciada pelas características do solo, topografia, vegetação, uso/manejo e principalmente pela precipitação pluviométrica.

Através da erosão hídrica ocorre a perda de partículas de material do solo e nutrientes contidos no sedimento da enxurrada. Pois de acordo com Guadagnin *et al.* (2000), a perda de nutrientes por erosão hídrica é um dos principais fatores responsáveis pelo empobrecimento do solo e pela redução da produtividade das culturas.

A erosão hídrica pode ser representada conforme suas características de atuação, sendo subdivididas em: erosão por salpicamento, laminar, em sulcos e voçorocas. As quatro formas de erosão podem ocorrer simultaneamente no mesmo terreno. Essa classificação está dentro dos estádios correspondentes à progressiva concentração de enxurrada na superfície do solo.

5.1.3.1.1. Erosão por salpicamento ou (splash)

A erosão por salpicamento é considerada por pesquisadores como (Lepsch, 1977; Guerra, 1999), como sendo o início do processo erosivo, pois ocorre devido ao impacto das gotas de chuva sobre superfícies desprotegidas, fazendo com que ocorram dois efeitos: desagregação de material do solo e selagem dos poros do solo. A desagregação se dá pelo fato de que uma gota golpeando o solo faz com que torrões ou blocos de terra seja fragmentado em partículas menores. A selagem ocorre devido à gota formar micro-cratera e compactar a área imediatamente sob o centro da gota, movimentando as partículas soltas para fora em um círculo ao redor da sua área, Figura 8.



FIGURA 8 – Representa o impacto de uma gota sobre a superfície do solo causando uma micro-cratera e lançando partículas de solo.

Fonte: DERPSCH *et al.*, (1990).

As partículas desagregadas segundo (Primavesi, 1980; Nolla, 1982) são capazes de serem lançadas a uma altura de 1,00m com raio de 1,50m conforme Figura 9.

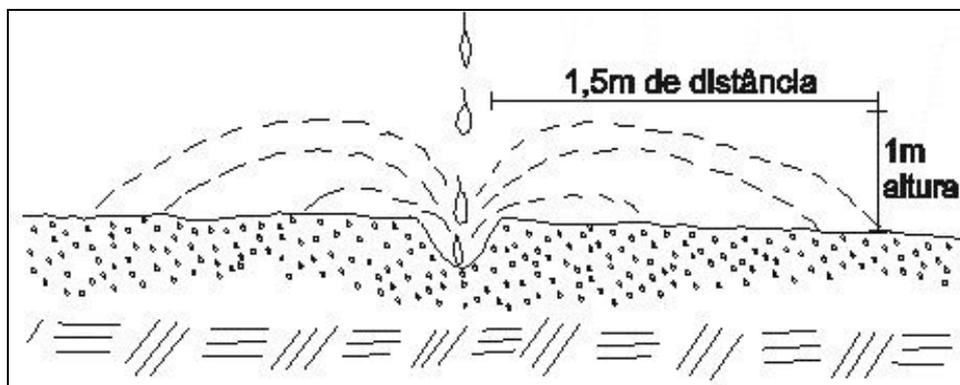


FIGURA 9 – Representa o impacto de uma gota sobre o solo sendo capaz de lançar partículas à 1m de altura e raio de 1,5m de distância.

Fonte: BIGARELLA, (2003).

A ação deste impacto depende do tamanho das gotas e da intensidade das precipitações, (Primavesi, 1980; Nolla, 1982; Silva *et al.*, 2004). Tal impacto é diminuído com a existência de cobertura vegetal e também quando se forma uma película de água iniciando o escoamento superficial.

5.1.3.1.2. Erosão Laminar

A erosão laminar constitui um processo de remoção gradual da camada superficial do solo, Bertoni & Lombardi Neto (2005 p. 76), discordam da definição de remoção de uma “camada laminar uniforme”.

[...] Pois a água se move morro abaixo raramente se movimenta em uma lamina uniforme sobre a superfície da Terra; isso aconteceria se a superfície do solo fosse lisa e uniformemente inclinada, o que raramente pode acontecer, pois ela é quase sempre irregular [...]

Assim, cada pequena porção de água toma o caminho de menor resistência concentrando em pequenas depressões ganhando velocidade à medida que a lamina de água e a declividade do terreno aumenta. Tal processo se caracteriza ou intensifica dependendo de alguns fatores como natureza do solo, precipitações e tipo de cobertura vegetal (BERTONI & LOMBARDI NETO, 2005).

A erosão laminar se processa inicialmente a partir do escoamento superficial, pois à medida que a água se infiltra no solo e começa a saturá-lo ocorre a formação de poças na superfície, dando início ao escoamento superficial (GUERRA, 1999).

Segundo Horton (1945), a força de cisalhamento imposta pelo fluxo ou escoamento superficial não é suficiente para transportar partículas, mas, à medida que o fluxo de água aumenta encosta abaixo, ocorre o cisalhamento das partículas do solo e com isso ocorre a erosão. Caso neste estágio do processo evolutivo ocorra uma pequena incisão no solo, em especial onde o fluxo d'água começa a se concentrar, pode dar início a formação de sulcos ou voçorocas (GUERRA, 1999).

A enxurrada, por sua vez, se concentra nas depressões do terreno, o fluxo de água torna-se mais turbulento, as diferentes velocidades e pressões causam correntes verticais e redemoinhos. O movimento ascendente dessas águas desprende as partículas por ação elevatória. O desprendimento pela abrasão⁴ ocorre quando as partículas já em trânsito na enxurrada golpeiam ou arrastam outras partículas na superfície do solo, colocando-as em movimento. A quantidade de material transportado depende da capacidade de transporte da enxurrada, que é influenciada pelo tamanho, densidade e forma das partículas do solo e pelo efeito de retardamento da vegetação e outras obstruções (BERTONI & LOMBARDI NETO, 2005).

Tal processo causa conseqüências danosas, pois o desgaste das partículas mais finas da superfície do solo é onde se concentra a maior quantidade de nutrientes como: matéria orgânica, nitrogênio, fósforo, potássio, colóides entre outros, que são essenciais para as plantas conforme Mello *et al.* (1983).

5.1.3.1.3. Erosão em sulcos

Sobre a erosão em sulco existe divergência quanto a sua conceituação, pois há casos em que é conceituada quanto ao tamanho ou formas. Neste trabalho, a

⁴ Abrasão: Desgaste de uma superfície rochosa ou de elementos clásticos (detríticos) do solo, por ação do atrito (SUGUIO, 1998).

erosão em sulco é considerada com relação ao tamanho, em que (Nolla, 1982; Oliveira, 1999; Bigarella, 2003), afirmam como sendo feições representadas por traços ou cicatrizes no solo, que vão de 2 cm até 50 cm de profundidade e largura. E assim, como a erosão laminar, a evolução dos sulcos depende de fatores como: natureza do solo, precipitações, cobertura vegetal e declividade, ou comprimento da vertente, pois quanto maior o lançante⁵ de uma vertente mais intenso é o fluxo de água e conseqüente erosão.

O processo de formação dos sulcos se constitui através da evolução e concentração dos filhetes de água, que antes corriam pela erosão laminar, filhetes estes que se dividem em ramificações espalhando e juntando-se constantemente, desta forma, a concentração dos filhetes desenvolve pequenos sulcos, que com aumento do fluxo de água tornam-se cada vez maiores (FERREIRA, 1981).

Entretanto segundo (Carvalho, 1994; Bertoni & Lombardi Neto, 2005) os sulcos podem também se desenvolver durante uma única chuva torrencial. Pois a erosão torna-se mais efetiva devido grandes fluxos de água carregado de sedimentos.

Solos com esse tipo de erosão tornam-se, em pouco tempo, ou mesmo em anos, pobres e imprestáveis para as práticas de agricultura e pecuária, pois além do material e nutriente erodido, também afetam a movimentação de máquinas agrícolas sobre a superfície do solo, devido suas cicatrizes (AMARAL, 1978).

5.1.3.1.4. Erosão em voçorocas

A erosão em voçorocas assim como as em sulcos apresenta divergência em sua conceituação, no entanto, nesta dissertação é considerada como sendo formações resultantes de avançado processo erosivo, formando valas de grandes dimensões, com profundidade de dezenas de metros, por exemplo: entre 10 e 30m. E largura que também podem atingir dezenas de metros, segundo (PINCHLER, 1953; SILVA *et al.* 1985; BIGARELLA, 2003).

⁵ Lancante: utilizado como sinônimo de vertente.

A formação de voçorocas se estabelece através da concentração de enxurrada que flui com grande intensidade pelos canais de sulcos, que ao ampliá-los em grandes dimensões recebem a denominação de voçorocas. As voçorocas representam um estágio avançado de perda de solo.

Na Figura 10 são representados os principais tipos e formas das voçorocas.

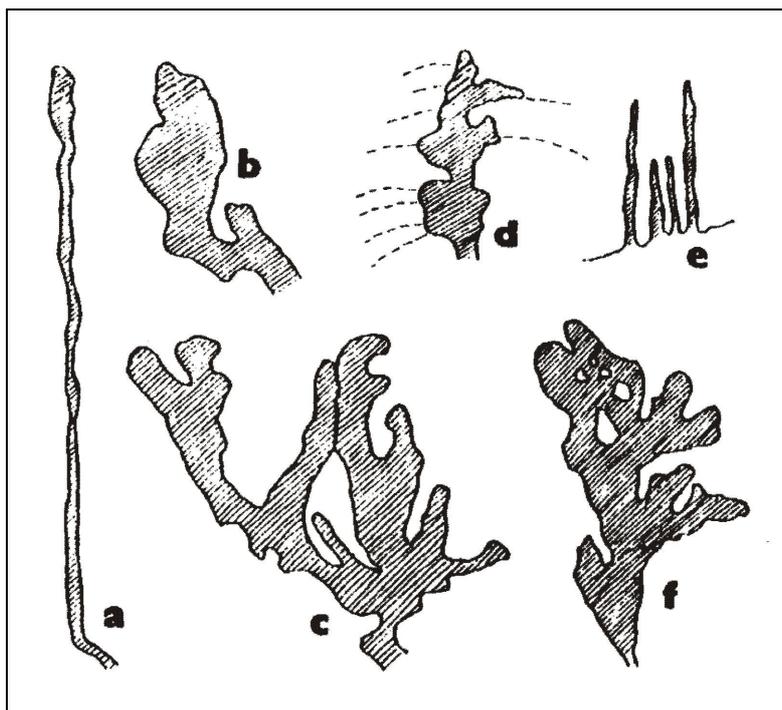


FIGURA 10 – Principais tipos e formas de voçorocas: (a) linear; (b) bulbiforme; (c) dendrítica; (d) treliça; (e) paralela; (f) composta.

Fonte: IRELAND et al. (1939) *apud* BIGARELLA, (2003).

Uma característica marcante das voçorocas é a presença de *piping*, que segundo (Pichler, 1953; Salomão, 1999, Bigarella, 2003), consiste no fenômeno em que provoca a remoção de partículas do interior do perfil do solo, formando canais que evoluem em sentido contrário ao do fluxo de água, ou seja, uma fonte de água surgindo na base da parede da voçoroca, podendo originar colapsos no terreno, com desabamentos e conseqüente alargamento da mesma, bem como novas ramificações, Figuras 11 e 12.

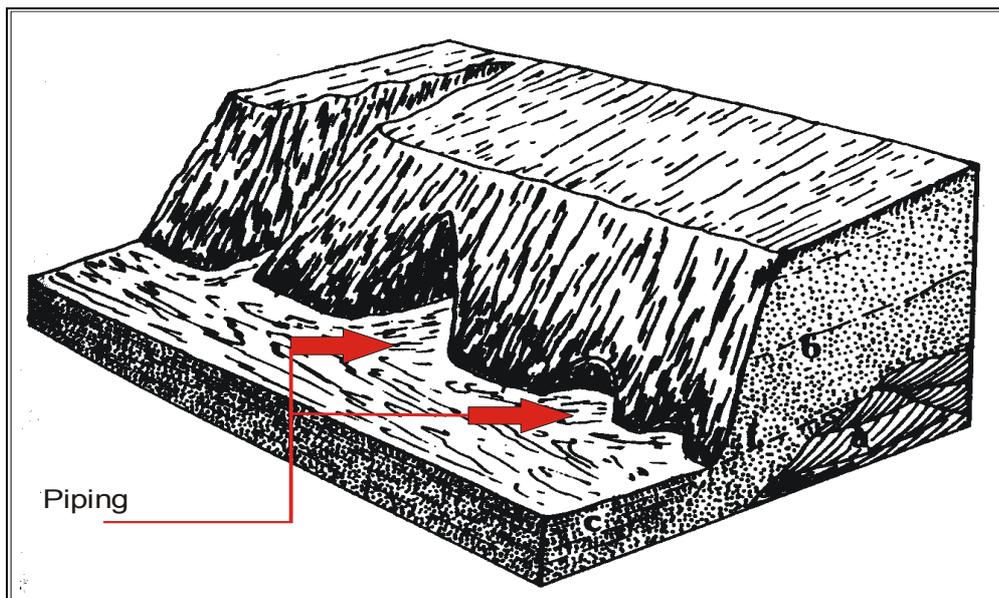


FIGURA 11 – Evolução de uma voçoroca no Noroeste do Paraná, pelo efeito do fluxo tubular (*piping*) junto ao nível freático, causando escavações e progredindo em túnel com subsequente desabamento do terreno.

Fonte: BIGARELLA & MAZUCHOWSKI, (1985) *apud* BIGARELLA, (2003).

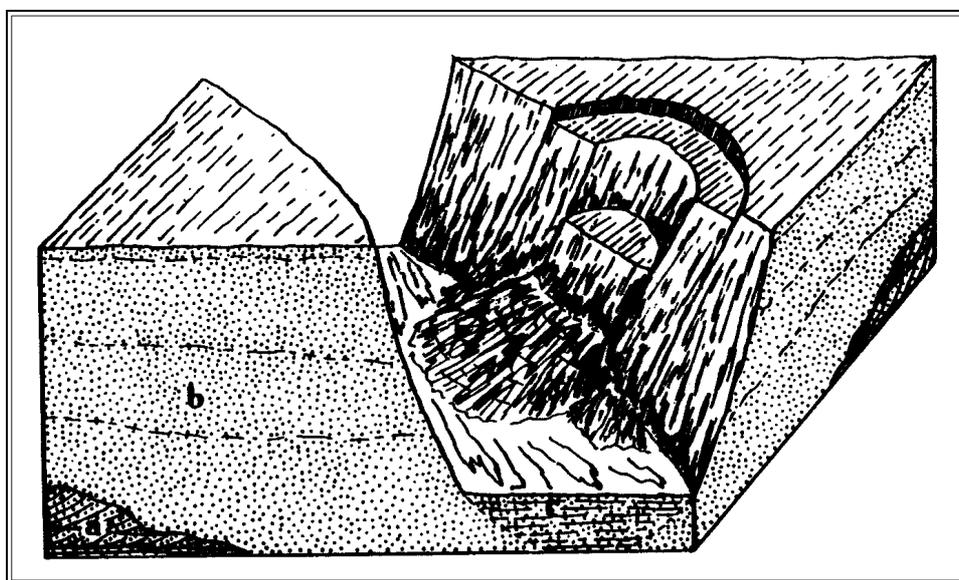


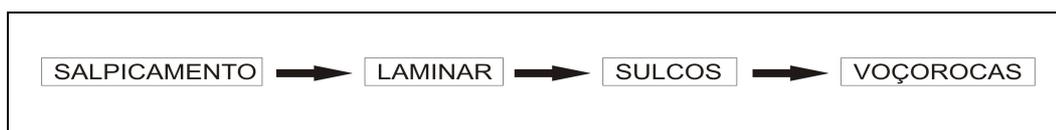
FIGURA 12 – Desabamento das paredes da voçoroca como consequência da presença de *piping*.

Fonte: BIGARELLA & MAZUCHOWSKI, (1985) *apud* BIGARELLA, (2003).

A voçoroca constitui um canal de drenagem com paredes abruptas e fluxos hídricos efêmeros ou, eventualmente pequenos. Ocorre em grande parte em terrenos sedimentares arenosos, em sua maioria de idade cenozóica, com alto grau de desenvolvimento pedológico (em grande parte latossolos). Também é encontrada em solos derivados de rochas cristalinas, de origem basáltica, com solapamento e desmoronamento das paredes (BIGARELLA, 2003).

As grandes conseqüências causadas pelas voçorocas assim como os sulcos são perda de nutrientes e também cicatrizes de grandes dimensões sobre a superfície.

De certo modo o processo evolutivo dos tipos de erosão hídrica estão interligados, ou evoluem de um para outro, como no esquema a seguir:



Fonte: DEMETRIO, (2006).

Deve-se deixar claro que nem sempre esse esquema é regra, pois como já mencionado anteriormente um sulco pode surgir em apenas um evento chuvoso de grande intensidade.

5.2. USO DE MODELO COMO METODOLOGIA NA ANÁLISE DE PERDA DE SOLO

5.2.1. Utilização de Modelo como Representação da Realidade

A palavra modelo possui muitas nuances em seu significado, pois de acordo com que é analisado, ou objeto de interesse do pesquisador pode ser definido seguindo características específicas, mas de uma maneira geral, conforme Christofletti (1999 p.8), pode ser compreendido como sendo “qualquer representação simplificada da realidade” ou de um aspecto do mundo real que surja como de interesse ao pesquisador, que possibilite reconstruir a realidade, prever um comportamento, uma transformação ou uma evolução. Entretanto deve-se salientar

que não é a realidade em si que se encontra representada, mas sim a nossa visão e a maneira de como percebemos e compreendemos essa realidade. Também de acordo com Skilling, (1964) *apud* Haggett & Chorley (1975), considera-se modelo como uma teoria, uma lei, uma hipótese ou uma idéia estruturada, podendo representar uma função, uma relação, uma equação ou ainda uma síntese de dados. E, mais importante do ponto de vista geográfico, pode incluir também argumentos sobre o mundo real por meio de representações no espaço (para produzir modelos espaciais) ou no tempo (para produzir modelos históricos).

A definição segundo Haggett e Chorley (1975) *apud* Christofolletti (1999 p. 8), ainda permanece como sendo mais adequada, assinalando que:

[...] modelo é uma estruturação simplificada da realidade que supostamente apresenta, de forma generalizada, características ou relações importantes. Os modelos são aproximações altamente subjetivas, por não incluírem todas as observações ou medidas associadas, mas são valiosos por obscurecerem detalhes acidentais e por permitirem o aparecimento dos aspectos fundamentais da realidade [...]

5.2.2. Principais Características e Funções dos Modelos

Aos modelos são empregados noções como: substantivo, significando uma representação; adjetivo, significando um grau de perfeição; ou verbo, significando demonstrar ou apresentar como é alguma coisa. Na realidade, os modelos possuem todas essas propriedades (HAGGETT & CHORLEY, 1975).

As principais características dos modelos seguindo as proposições de Haggett & Chorley (1975) são:

Seletividade – É uma das características fundamentais dos modelos e sua construção implica numa atitude altamente seletiva quanto às informações, na qual os ruídos e os sinais menos importantes são eliminados para permitir que se veja algo que realmente interessa, a fim de se eliminar os detalhes acidentais.

Enunciativo – O delineamento da estrutura mostra existência de determinado padrão, no qual os fenômenos são considerados em termos de relação sistêmica.

Análogo – Os modelos são analogias, porque são diferentes do mundo real, mostrando uma maneira aproximada de se compreendê-lo.

Reaplicabilidade – A reaplicabilidade é pré-requisito dos modelos nas ciências empíricas. Isso significa que o modelo não se apresenta apenas como descritivo de um caso, mas possibilita que seja usado para outros casos da mesma categoria. A estruturação e formulação do modelo são destinadas ao nível da categoria do sistema. Obviamente, em função das mensurações especificadas, cada exemplo oferece valores diferenciados para as variáveis mensuradas.

Com relação às funções dos modelos, Haggett & Chorley (1975), atestam que são:

Comunicativa – Está relacionada ao modelo que proporciona arcabouço dentro do qual as informações podem ser definidas, ordenadas e relacionadas. Dessa maneira, constituem estruturas que os cientistas utilizam para comunicar suas idéias e concepções. Um exemplo bem característico desse processo comunicativo é ciclo de erosão, proposto por William Morris Davis, que devido esquema explicativo foi muito disseminado por sua simplicidade relativa e a flexibilidade.

Lógica – Os modelos possuem a função lógica, ajudando a explicar como acontece e se encadeiam determinados fenômenos.

Sistemática – A construção do modelo insere-se no contexto dos procedimentos metodológicos, possibilitando o enunciado, a verificação de hipóteses, levando à validação, refutação de leis e teorias. Os modelos devem apresentar adequabilidade à análise pretendida. Nestes parâmetros, não podem ser avaliados como sendo verdadeiros ou falsos, mas como apropriados, corretos, ajustados, entre outros.

Previsibilidade – Os modelos são construídos para fornecer previsões específicas como base para tomadas de decisões imediatas. Por exemplo, os modelos usados para prever fluxos fluviais em respostas às precipitações, de base para o manejo da água a ser liberada nos reservatórios e propiciar sinais de advertência sobre possíveis cheias.

5.2.3. Concepções acerca dos Modelos na Análise de Perda de Solo

A modelagem da erosão do solo é um processo de análise matemática do destacamento, transporte e deposição das partículas de solo da superfície. E de acordo com (Nearing; Lane; Lopes, 1994), são três os objetivos de se modelar erosão do solo: 1) avaliar a perda de solos para planejamento conservacionista, inventários de erosão de solos, etc; 2) prever onde e quando a erosão ocorrerá, auxiliando assim no planejamento de práticas conservacionistas que reduzam a erosão; 3) compreender os processos de erosão e suas interações a fim de fixar prioridades em pesquisas.

5.2.3.1. Modelo RUSLE na Análise de Perda de Solo

A USLE – *Universal Soil Loss Equation*, (Equação Universal de Perda de Solo), foi desenvolvida no Centro Nacional de dados de Escoamento e Perda de Solo, sediado na Universidade de Purdue, EUA. Esta deriva da reunião e interpretação dos dados de perdas de solo e água coletados em vários locais dos EUA, a partir dos anos 30. E foram feitas diversas modificações para superar as restrições climáticas e geográficas existentes nas primeiras equações, e assim o modelo ampliou-se. A USLE é utilizada como ferramenta para gestão do solo, possibilitando a resolução de problemas de conservação do solo e da água. O modelo tornou-se uma referência e um manual de boas práticas nos EUA com a publicação “*Predicting rainfall erosion losses from cropland*” (WISCHMEIER; SMITH, 1965 *apud* CHECCHIA, 2005). No entanto em 1978, os mesmos realizaram ajustes e incorporaram dados adicionais no modelo, criando uma nova publicação intitulada “*Predicting rainfall erosion losses – a guide to conservation planning*” (1978).

No Brasil, a equação foi primeiramente usada em trabalhos desenvolvidos por Bertoni *et al.* (1975), no Estado de São Paulo e vem, desde então, sendo avaliada por vários autores quanto à sua aplicabilidade em nossas características tropicais. Dentre esses estão (Valério & Donzeli & Pinto, 1992; Guedes, 2001 entre outros).

Os avanços tecnológicos principalmente na área do geoprocessamento permitiram modificações no modelo original da USLE, incorporando elementos, variáveis, e novos métodos de levantamento de dados, surgindo com isso a RUSLE

– *Revised Universal Soil Loss Equation* (Equação Universal de Perda de Solo Revisada). Apesar de ser revisada utilizam o mesmo modelo de equação da anterior. As duas modificações representativas são: aplicação em áreas maiores, como, por exemplo, em bacias hidrográficas, pois a anterior era aplicada apenas em pequenas glebas e vertentes; e a junção dos fatores (L S) (C P) que eram tabulados e calculados separadamente.

$$A = R. K. L. S. C. P \quad (3)$$

Onde:

A= Estimativa de erosão específica, ou seja, é a perda de solo por unidade de área e por unidade de tempo, habitualmente em [ton/ha.ano];

R= Fator erosividade da precipitação, é quantificado em termos de energia produzida pelo impacto das gotas de chuva junto com taxa de arraste do solo resultante do escoamento superficial, ou seja, é a capacidade da chuva de desprender e transportar sedimentos, expresso em: [MJ.mm/ha.h.ano];

K= Fator de erodibilidade do solo, refere-se à capacidade do solo sofrer erosão. Define-se como a perda de solo de uma parcela-padrão com 22 metros de comprimento, 9% de declividade e continuamente em solo nu, lavrado segundo o maior declive. Representa a susceptibilidade de diferentes solos serem erodidos de acordo com suas características físicas, químicas e biológicas, com unidade de medida tipo [ton.ha.h/ha.MJ.mm];

L = Fator comprimento da vertente, relação de perdas de solo entre um comprimento de vertente qualquer, e um comprimento de vertente de 22m para o mesmo solo e mesmo grau de inclinação, tendo estreita relação com o fator (S);

S = Fator de declividade da vertente, relação de perdas de solo entre um declive qualquer, e um declive de 9% para o mesmo solo e comprimento de rampa, complementa o valor de (L);

C = Fator de uso e manejo do solo, relação entre perdas de solo de um terreno cultivado em dadas condições e as perdas correspondentes de um terreno

mantido continuamente descoberto, isto é, nas mesmas condições em que o fator (K) é avaliado;

P = Fator de práticas conservacionistas, relação entre as perdas de solo de um terreno cultivado com determinada prática e as perdas quando se planta morro abaixo;

Nesta descrição dos fatores que compõem a equação de perda de solo foram considerados separados, para uma melhor compreensão didática, porém no levantamento dos dados, tabulação e cruzamento de informações foram agrupados seguindo o modelo revisado.

5.3. USO DO GEOPROCESSAMENTO COMO TÉCNICA DE OBTENÇÃO E ANÁLISE DE DADOS, A FIM DE GERAR INFORMAÇÕES.

Para que se possa discorrer sobre o Geoprocessamento, deve-se alertar para algumas diferenças entre geoprocessamento e SIG (Sistema de Informação Geográfica), pois vêm sendo utilizados como sinônimos quando, na verdade, são complementares.

O geoprocessamento representa o conjunto de tecnologias que utiliza as bases de diversas ciências (Geociências, Cartografia, Matemática, Estatística, Informática, etc...) para gerar e disponibilizar informações essenciais no processo decisório, tanto no nível de planejamento, como de execução de ações de gestão ambiental (BURROUGH, 1994).

Com isso o sensoriamento remoto, digitalização de dados, automação de tarefas cartográficas, sistemas de posicionamento global (GPS) e os sistemas de informações geográficas (SIG's), são especialidades do geoprocessamento. E, o SIG é a mais ampla delas, uma vez que pode englobar todas as demais, mas nem todo geoprocessamento é um SIG. Já todo SIG pertence ao geoprocessamento (TEIXEIRA *et al.*, 1992; ROSA & BRITO, 1996; CÂMARA & MEDEIROS, 1998; CARVALHO *et al.*, 2000;).

5.3.1 Considerações conceituais dos SIG's

Para compreender o que vem a ser um SIG, é interessante apresentar algumas considerações sobre alguns conceitos básicos que fornecem subsídios teóricos aos SIG's, como: dado; informação; sistema; sistema de informação e informação geográfica.

Em geral, os termos: dado e informação são utilizados como sinônimos, entretanto, existe uma diferença semântica importante entre eles.

Segundo Teixeira *et al.*(1992), dado é um símbolo utilizado para a representação de fatos, conceitos ou instruções de forma convencional ou pré-estabelecida e apropriada para a comunicação, interpretação ou processamento por meios humanos ou automáticos, mas que não tem significado próprio. Para Tomlinson (1972), dado refere-se a qualquer obtenção de medidas, sem considerar que a mesma tenha sido adquirida ou não para determinados propósitos definidos.

Por outro lado, conforme Teixeira *et al.* (1992), informação é definida como sendo o significado que o ser humano atribui aos dados, utilizando-se de processos pré-estabelecidos para sua interpretação. Também afirmado por Saito *apud* Paulino (2000), de que informação é como o conteúdo transmitido, ou seja, o dado manipulado é transformado para atender a uma finalidade específica.

Diante disso, pode-se entender de forma simplificada que o dado corresponde a um “valor, ou símbolo” que sozinho não tem capacidade de representação, mas que atribuído a ele tratamento e/ou manipulação, passa a representar um fato⁶, ou fenômeno⁷, sendo assim uma informação. A Figura 13, exemplifica bem essa relação entre dados e informação.

⁶ Fato: (1). coisa ou ação feita, acontecimento feito. (2). aquilo que realmente existe, que é real. (FERREIRA, 2006)

⁷ Fenômeno: utilizado no sentido de representar processos e características sobre ambientes físicos naturais, como por exemplo uma tempestade, um deslizamento de terras entre outros.

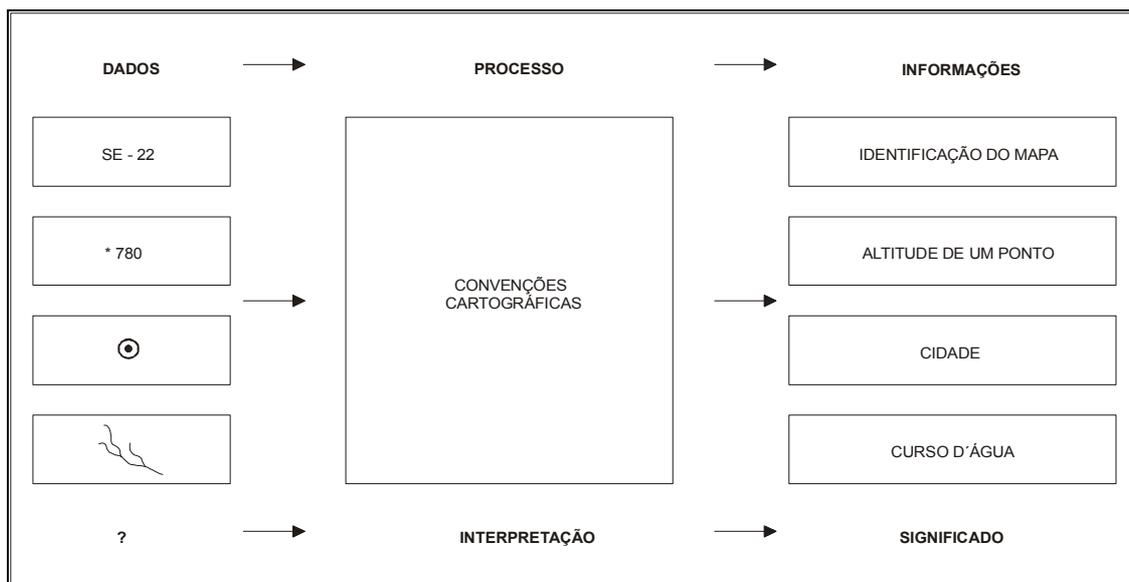


FIGURA 13 – Representa a relação entre dado e informação.

Fonte: TEIXEIRA *et al.* (1992) *apud* PAULINO, (2000).

O sistema por sua vez segundo Casas (1994), *apud* Paulino (2000, p. 23) é definido como sendo:

[...] a realidade, percebida pelos sentidos, é baseada em entidades inter-relacionadas que conhecemos como o nome genérico de sistemas. Os sistemas possuem entidades que constituem sua essência ontológica, as quais têm atributos que podem agrupar-se por sua semelhança, sua contigüidade, seu contraste ou complemento, os quais determinam vínculos estruturais de relação ou associação e vínculos funcionais de posse ou interferência [...]

Teixeira *et al.* (1992 p. 09), também considera sistema como sendo:

[...] um arranjo de entidades⁸ (elementos ou coisas) relacionadas ou conectadas, de tal forma que constituem uma unidade ou um todo organizado, com características próprias e subordinadas a processos de transformação[...]

Tendo claro o que é dado, informação e sistema, torna-se possível compreender o que é sistema de informação, que é a capacidade de gerar

⁸ As entidades são os elementos ou objetos tomados como unidades básicas para a coleta de dados. E os dados relacionam-se com os atributos, que caracterizam e fornecem significado à unidade estudada. Por exemplo, pode-se tomar um lugar como entidade, e as suas características de solo, relevo e uso da terra como alguns de seus atributos. (TEIXEIRA *et al.*, 1992).

informações a partir de um dado, onde essas estão relacionadas e conectadas, formando um todo através de uma organização hierárquica.

Com relação à informação geográfica (Teixeira *et al.*, 1992; Aronoff, 1991; Câmara *et al.*, 1996), afirmam como sendo um conjunto de dados (físicos e/ou sociais), cujo significado contém uma associação ou relação com uma localização específica.

Baseado nessas afirmativas é possível tecer considerações sobre o que vem a ser um SIG. Na verdade os SIG's apresentam diversas definições, geralmente de acordo com as proposições das pesquisas, por parte do pesquisador. A seguir são apresentadas algumas definições:

[...] conjunto manual ou computacional de procedimentos utilizados para armazenar e manipular dados georreferenciados [...] (ARONOFF, 1989 *apud* CÂMARA & MEDEIROS 1998 p. 06).

[...] conjunto poderoso de ferramentas para coletar, armazenar, recuperar, transformar e visualizar dados sobre o mundo real [...] (BURROUGH, 1986 *apud* CÂMARA & MEDEIROS 1998 p. 06).

[...] são ferramentas computacionais, usados para o entendimento dos fatos e fenômenos que ocorrem no espaço geográfico [...] (CARVALHO *et. al.*, 2000 p. 14).

Conforme já mencionado, existem várias definições sobre SIG, sendo complementares umas das outras. Na verdade, antes de ficar definindo, ou adotando definições, o que deve estar claro é: qual o objetivo, ou para que serve, ou ainda, o que representa um SIG. A partir deste propósito, o próprio autor *op. cit.*, BURROUGH (1994) *apud* Paulino & Pellerin (2005), considera que os sistemas de informações geográficas são mais do que meios de codificar, armazenar e recuperar dados sobre aspectos da superfície da Terra. Eles são sistemas capazes de representar um modelo do mundo real, isto porque, esses dados podem ser acessados, transformados e processados interativamente.

5.3.2. Principais Características Operacionais e Funcionais dos SIG's

Sabendo-se que o SIG's é capaz de obter, armazenar, analisar e manipular dados, passíveis de gerar informações espaciais, são apresentadas a seguir as principais características operacionais e funcionais dos mesmos de acordo com

(TEIXEIRA *et al.*, 1992; ROSA & BRITO, 1996; CÂMARA & MEDEIROS, 1998; CARVALHO *et al.*, 2000;).

As funções operacionais são representadas pela interfase que existe entre o usuário e o SIG, pois o mesmo pode realizar diversas análises nos SIG's, a fim de obter as informações necessárias de acordo com seu objetivo.

Já as funcionais, são: aquisição, armazenamento, manipulação e análise de dados, além da exibição de resultados.

5.3.2.1 Aquisição de Dados

É a conversão de “dados brutos”, como: mapas, tabelas, gráficos, modelo numérico de terreno, sensoriamento remoto entre outros, em dados passíveis de serem analisados e inter-relacionados dentro do sistema.

5.3.2.2. Armazenamento e Manipulação de Dados

O armazenamento e manipulação de dados consistem na conservação de dados em arquivos digitais conhecidos como banco de dados, de forma a facilitar o acesso à inserção de novos dados, ou mesmo para recuperar e manipular os mesmos, de acordo com o objetivo pretendido. O processo de inserção ou manipulação dos dados é possível devido ao geocódigo⁹ presente nos arquivos.

Os bancos de dados utilizados nos SIG's, distinguem-se dos convencionais, por armazenarem dados relacionados com a localização das entidades. Por exemplo, um banco de dados convencional de uma empresa contém tipicamente ao menos dois arquivos: dados pessoais (nome, endereço, CPF, identidade) e funcionais (cargo, lotação, data de admissão), já os bancos de dados dos SIG's e/ou geográficos, além de conterem esses dados convencionais, também possuem um terceiro arquivo: associação do endereço de cada funcionário a uma localização

⁹ Geocódigo: é um código inserido no software do SIG, que permiti ao sistema, uma rápida identificação e localização da feição ou atributo e sua correspondente representação gráfica. (por exemplo uma consulta a um tipo de solo no mapa, traz-se uma tabela com características granulométricas do mesmo).

geográfica específica, desta forma, pode-se obter a informação quanto à distância entre casas de dois ou mais funcionários (MEDEIROS & PIRES, 1998).

Deve-se ressaltar que os dados usados num SIG representam algum fato ou fenômeno acerca do mundo real¹⁰, em uma dada época, correspondendo uma abstração da realidade. Por isso, é importante determinar quais os dados que são realmente relevantes para a aplicação a que se destinam, porque o processo de coleta dos dados é trabalhoso e de elevado custo, e o excesso de informações dificulta a utilização, armazenamento e manipulação dos dados.

5.3.2.3. Análise dos Dados

A análise dos dados compreende uma etapa muito importante na utilização do SIG, pois é nesta etapa que é realizada a análise espacial, através do cruzamento de diversas quantidades de dados a fim de gerar informações de acordo com os objetivos pré-selecionados.

De acordo com (ROSA & BRITO, 1996; CÂMARA *et al.*, 1996; CÂMARA & MEDEIROS, 1998; CARVALHO *et al.*, 2000) existem diversas operações que podem ser realizadas no processo de análise dos dados, operações estas que podem ser estatísticas, matemáticas, cartográficas, temáticas (mapas), etc. No entanto, de acordo com Rosa & Brito (1996), as principais operações de análise de dados nos SIG's são:

Reclassificação: consiste na necessidade de melhorar a apresentação visual dos dados. Pois, às vezes, os atributos dos dados originais não são apropriados para análise do problema em questão, ou seja, é uma forma de reagrupamento de dados e/ou informações que estão muito detalhadas. Um exemplo disso é o fato de um mapa apresentar todos os municípios de um estado qualquer, no entanto o objetivo é obter informações apenas da região metropolitana da capital, assim, se

¹⁰ Mundo Real: neste caso específico é entendido como sendo a representação dos objetos, fatos e fenômenos e a inter-relações entre os mesmos que ocorrem na superfície terrestre.

reclassifica todos os municípios em uma representação única de região metropolitana.

Sobreposição: consiste em realizar uma análise, extraindo informações de dois ou mais mapas, ou (layers), com a finalidade de identificar uma melhor área para a implantação de algo, exemplo: a construção de um aterro sanitário, utilizando dois mapas; um com o tipo de solo apropriado e o outro com áreas de mananciais. Partindo do pressuposto de que não se deve instalar um aterro sanitário próximo a uma área de mananciais, cruzam-se os dois mapas, gera-se um terceiro, em que é possível identificar a melhor área para a implantação do aterro, pois irá se associar o melhor tipo de solo e não coincidirão áreas de mananciais.

Ponderação: operações de ponderação consistem em gerar um mapa e/ou informações a partir da média ponderada dos planos de informações contidos na base de dados (por exemplo, solos, relevo, geologia, cobertura vegetal, etc.) e de acordo com o objetivo cada um desses elementos recebe um valor de peso, ou relevância uns sobre os outros. Um exemplo típico de ponderação é a geração de mapas de aptidão agrícola de terras.

Medidas: com relação às medidas, existem diversas variedades possíveis de serem obtidas utilizando os SIG's, e são representados por distâncias, por exemplo entre dois pontos, duas linhas; perímetro; área e volume.

Tabulação cruzada: consiste em calcular áreas de interseções entre classes de dois planos de informações, por exemplo, em um mapa com várias classes de solos, pode-se calcular a interseção entre um latossolo e sua correspondente com o terreno e/ou declividade.

Operadores de vizinhança: esta função seleciona uma área localizada a uma certa distância de uma feição de interesse. Geralmente o usuário pode especificar um critério de distância (raio, cota, etc.) de um objeto contido no plano de informação, e esta função gera um novo plano de informação contendo a zona de impacto em torno do objeto selecionado. Exemplo: a determinação de áreas de proteção ambiental em torno de cursos de água e de reservatórios.

Análise de redes: existe uma variedade de análise que são baseadas em redes. As principais aplicações estão relacionadas à determinação de menor caminho, funções de fluxo e hidrologia. Um bom exemplo de aplicação de redes como análise em um SIG, é buscar a estrada alternativa para veículos de emergência, baseado na combinação de menor distância total e de possíveis congestionamentos.

Consulta a banco de dados geo-referenciados: consiste em efetuar consultas ao banco de dados onde as informações são referenciadas espacialmente através de um sistema de coordenadas sendo possível, por exemplo, responder questões do tipo: Quais os municípios que têm densidade demográfica igual ou superior a 5 habitantes por km² ? Localizar no mapa as cidades que estão situadas a menos de 60km da capital ?

A seguir é apresentado um exemplo de análise feita através do SIG. O objetivo desta análise é quantificar a perda de solo em uma determinada área. Isto é possível levando em consideração alguns fatores, como: precipitação, erodibilidade do solo, declividade, comprimento de rampa e práticas conservacionistas. A precipitação representa índices pluviométricos ocorridos na área; a erodibilidade do solo é estimada de acordo com a capacidade de desagregação de seus grãos, que podem ser extraídos de tabelas e representados graficamente; os comprimentos de rampa e declividades são calculados a partir de um modelo numérico do terreno; e por fim, as práticas conservacionistas podem ser extraídas de mapas, ou fotografias aéreas que representem uso do solo.

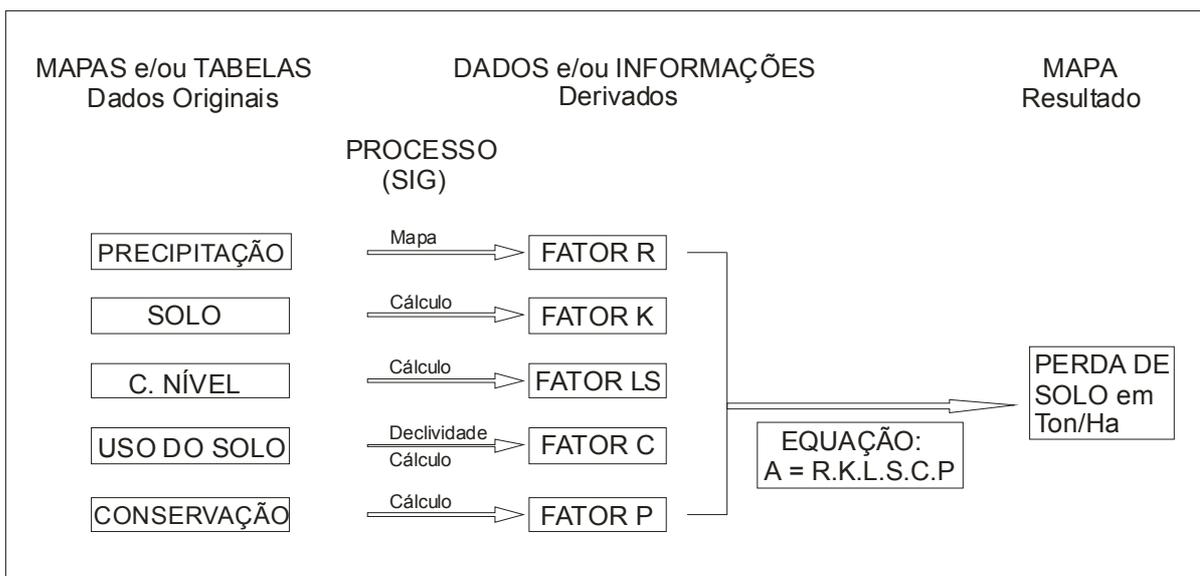


FIGURA 14 – Representa um processo de análise de perda de solo utilizando SIG.

Fonte: DEMETRIO, (2006).

5.3.2.4. Exibição de Resultados

A exibição de resultados é a representação das informações que foram extraídas devido aos processos de aquisição, manipulação e análise dos dados, feitos através do SIG, apresentada em mapas, diagramas, tabelas, ou seja, existem diversas formas de representação. Com base nisso, a Figura 15, expõe a estrutura do SIG e a relação com o usuário, na busca por compreender e analisar o “mundo real”.

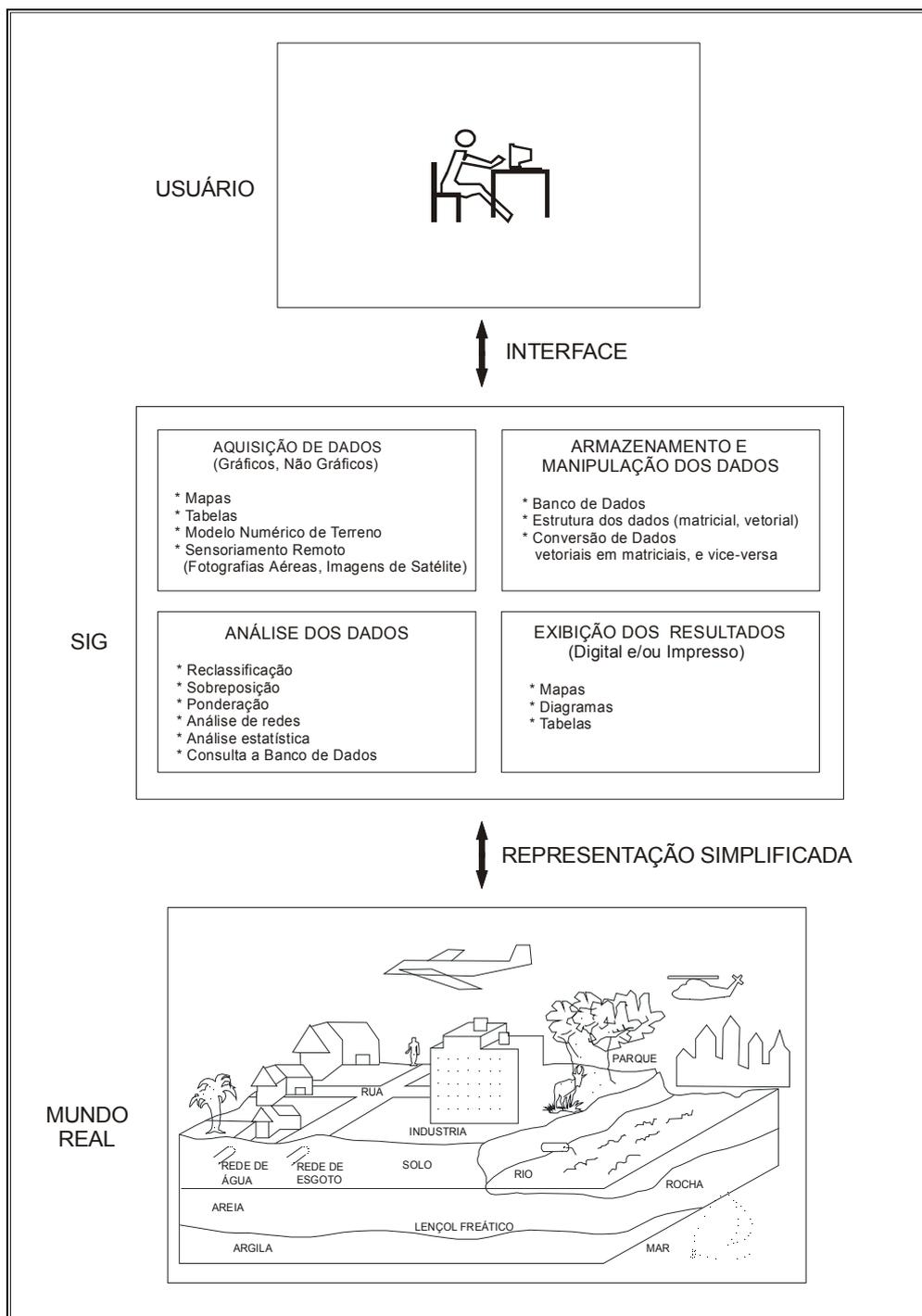


FIGURA 15 – Representa a estrutura de um SIG.

Fonte: DEMETRIO, (2006).

A figura 15 tem como objetivo representar a estrutura de um sistema SIG, e a interface que existe com o usuário, na inserção e manipulação de dados, ao mesmo

tempo, extração de informações, com objetivo de analisar e compreender (de certo modo simplificado) o “mundo real”.

6. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS E METODOLOGIA APLICADA

O processo de perda de solo por erosão laminar é influenciado por diversos fatores, já mencionados em itens anteriores e para representar os valores de quantidade de perda de solo em mapas, tabelas e gráficos utilizou-se técnicas de geoprocessamento dentro de um ambiente SIG, representado pelo software Idrisi Andes, pois o mesmo possui um módulo de perda de solo RUSLE. A bacia hidrográfica selecionada foi a do Ribeirão Reis no município de Maringá PR.

O trabalho foi feito seguindo as seguintes etapas:

1º Etapa: Seleção do Modelo de Perda de Solo, RUSLE

Selecionar o modelo de equação para mensuração da quantidade de perda de solo por erosão laminar, representado pela RUSLE, que, como já foi descrito, trata-se de um modelo de equação, no qual fornece a perda de solo média anual por hectare, em função de alguns fatores:

$$A = R.K.L.S.C.P. \quad (4)$$

2º Etapa: Levantamento de cada Fator que compõem a RUSLE, (R, K, LS, CP).

Para mensurar a quantidade de perda de solo, utilizando o modelo RUSLE faz-se necessário o levantamento de cada fator que a compõem como segue:

6.1. FATOR (R)

R= Fator erosividade da precipitação, é um índice numérico que expressa a capacidade da chuva causar erosão em uma determinada área. Esta é quantificada em termos da energia produzida pelo impacto das gotas com a taxa de arraste do solo resultante do escoamento superficial [MJ.mm/ha.h.ano]; expressa em (megajoule.milímetros/hectare.ano)

A precipitação contribui pelo menos em três etapas do processo erosivo:

- Desprende partículas do solo no local em que sofre o impacto;
- Transporta, por salpicamento, as partículas desprendidas;
- Imprime energia (força), em forma de turbulência, à água superficial;

Bertoni & Lombardi Neto (2005), afirmam que a perda de solo ocasionada pela chuva, em terrenos cultivados, é diretamente proporcional ao valor do produto de duas características da chuva: sua energia cinética total e intensidade máxima num período de (trinta minutos), porque o produto da energia cinética pela intensidade, ou EI – índice de erosão, é considerado a melhor relação encontrada para medir a potencialidade erosiva da chuva.

Porém a realização do cálculo da energia cinética e intensidade máxima em trinta minutos para o período de um ano, como é a proposta do presente trabalho torna-se um trabalho moroso. Desta forma pesquisadores como Rufino *et al.*, (1993) e Bertoni & Lombardi Neto (2005), desenvolveram outras equações mais práticas e com melhores precisões que facilitam o cálculo de energia cinética e intensidade máxima de trinta minutos. Com base nisso, para determinação do Fator (R) utilizou-se a equação de Rufino *et al.*, (1993) que determinaram valores de erosividade para diversas áreas do Paraná, representados em mapas de isoerosividade mensal, Figura 16.

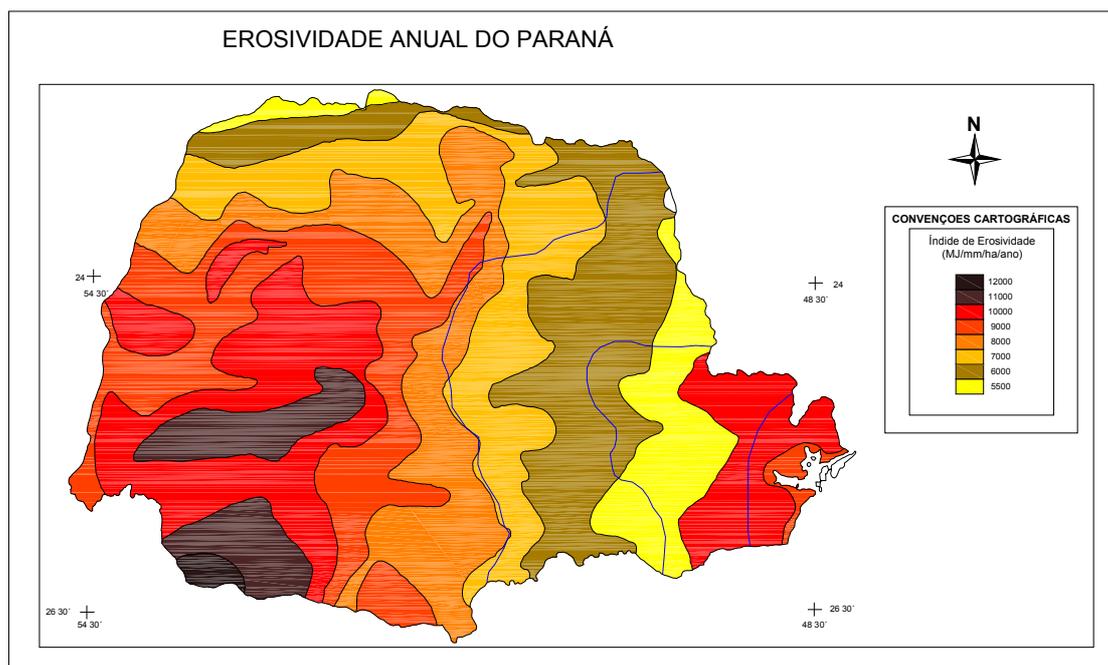


FIGURA 16 – Valores médios anuais de erosividade no Estado do Paraná, 1972-89.

Fonte: RUFINO *et al.*, (1993).

A equação descrita por Rufino *et al.* (1993), pode ser descrita da seguinte forma:

$$y = a + bx \quad (5)$$

onde:

y = índice de erosão da chuva em [MJ.mm/ha.h.ano];

a e b = coeficientes linear e angular, $x = p^2/P$, sendo p = precipitação média mensal (mm) e P = precipitação média anual (mm); utilizando esta equação é possível determinar o índice de erosão da chuva, ou Fator (R).

Os dados de precipitação como média anual e/ou mensal, assim como os índices de intensidade pluviométrica registrada em pluviógrafos foram extraídos da Estação Climatológica Principal de Maringá-Pr, que por sua vez está muito próxima da área de estudo, Figura 17 e 18.



Figura 17 – Pluviógrafo, registrando dados de intensidade da precipitação. 05/01/2007.

Fonte: DEMETRIO, (2006).



FIGURA 18 – Vista panorâmica da Estação Climatológica Principal de Maringá – PR. 05/01/2007.

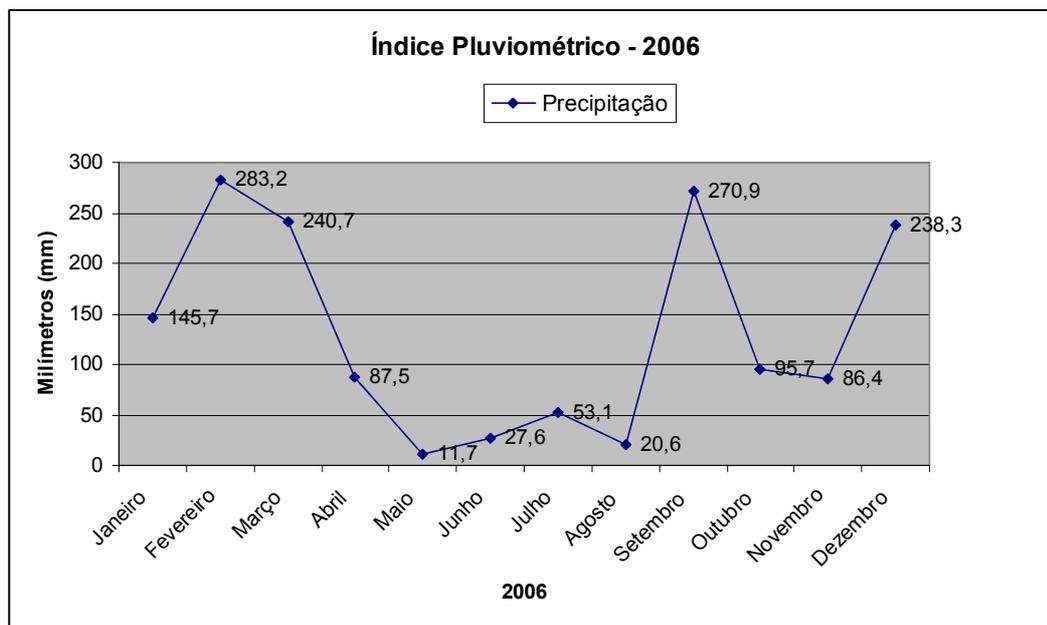
Fonte: DEMETRIO, (2006).

Analisando a Tabela 1 e o Gráfico 1 seguinte, tem-se os índices de precipitação diários, mensais e anuais da área de estudo para o ano de 2006.

TABELA 1 – Índices de precipitação diários e mensais do ano de 2006.

Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Dia												
1	4,1	18,2	0,0	0,0	0,0	0,0	6,5	0,0	0,3	21,1	8,2	0,0
2	8,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	7,0	0,0	53,9	0,0	5,8	0,0
3	0,2	0,0	1,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,0	0,0
4	0,0	9,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,2	0,0
5	0,0	0,0	75,2	3,4	0,0	3,9	0,0	0,0	0,0	3,4	0,0	11,2
6	0,0	2,2	5,6	2,7	0,0	1,3	0,0	0,0	0,0	16,0	0,0	14,8
7	0,0	31,8	0,0	9,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	7,9	19,9
8	0,0	0,0	3,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	16,9
9	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,8	0,0	0,0	1,0
10	0,0	12,3	13,5	45,6	0,0	0,0	16,7	0,0	4,2	0,0	3,0	0,0
11	0,0	1,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
12	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,0	0,0	0,0
13	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
14	0,0	25,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
15	0,0	45,0	0,0	16,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
16	0,0	5,3	0,0	7,1	0,0	0,0	0,0	0,0	110,6	36,8	0,0	0,0
17	0,0	11,0	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	1,0	25,5	0,0	0,0	0,0
18	0,0	6,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
19	0,0	34,7	2,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
20	4,8	31,1	2,2	0,0	9,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,9	6,4
21	7,2	10,1	0,0	0,0	1,4	0,0	0,0	0,0	33,6	0,0	0,0	108,9
22	34,1	9,2	52,4	2,5	0,1	3,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	15,2
23	4,1	0,0	0,0	0,0	1,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	15,4
24	0,0	29,4	15,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	35,4	0,0	0,0	4,0
25	26,7	0,0	43,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,6	1,6
26	0,0	0,0	3,3	0,0	0,0	16,4	0,0	0,0	0,0	0,0	21,0	20,2
27	1,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	19,1	0,0	14,4	0,0	2,8
28	22,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,5	0,0
29	13,0		21,8	0,0	0,0	0,0	22,9	0,0	2,6	0,0	16,8	0,0
30	0,0		0,0	0,0	0,0	2,2	0,0	0,0	0,0	0,0	3,5	0,0
31	18,8		0,0		0,0		0,0	0,5		0,0		0,0
Total	145,7	283,2	240,7	87,5	11,7	27,6	53,1	20,6	270,9	95,7	86,4	238,3

Fonte: Estação Climatológica Principal de Maringá, (2006).

GRÁFICO 1 – Precipitação em (mm) para o ano de 2006.

Fonte: DEMETRIO, (2006).

Os maiores índices de precipitação ficaram registrados nos meses de fevereiro, março, setembro e dezembro.

Bertoni & Lombardi Neto (2005), afirmam que a precipitação deve ser acima de 10mm em um período de trinta minutos para ser considerada erosiva. Com base nisso a Tabela 2 seguinte, apresenta os meses mais chuvosos e o número de dias com eventos pluviométricos acima do índice referido.

TABELA 2 – Meses mais chuvosos, e o número de dias com precipitação acima de 10 milímetros e trinta minutos.

Meses	Nº dias com Precipitação acima 10mm e duração acima de trinta minutos
Fevereiro	10 dias
Março	6 dias
Setembro	4 dias
Dezembro	8 dias

Fonte: DEMETRIO, (2006).

Apesar do mês de fevereiro ser o mais chuvoso, com um total de 283,2mm e com 10 dias de eventos pluviométricos acima de 10mm e trinta minutos, os meses de setembro e dezembro apresentaram maiores desigualdades, pois no mês de setembro com apenas 4 dias chuvosos, num total mensal de 270,9mm, em apenas um dia, especificamente, no dia 16, ocorreu uma precipitação de 110,6mm. E em dezembro, que apesar de ter 8 dias de eventos pluviométricos e um total mensal de 238,3mm, em um dia, especificamente dia 21, ocorreu precipitação de 108,9mm.

Eventos pluviométricos como esses dos dias 16 de setembro e 21 de dezembro, com elevada intensidade, fez com que ocorresse um encharcamento do solo e conseqüentemente acúmulo de água sobre o mesmo. Desta forma, as partículas de solo desprendidas com o impacto das chuvas, foram transportadas através do escoamento superficial. Este acúmulo de água e conseqüente escoamento podem ser percebidos nas figuras 19, 20 e 21. Em especial, o evento ocorrido no dia 21 de dezembro, dia em que precipitou 108,9mm, foi realizada uma visita a campo.



FIGURA 19 – Acúmulo de água sobre o solo em uma estrada que divide duas propriedades. 21/12/2006.

Fonte: DEMETRIO, (2006).

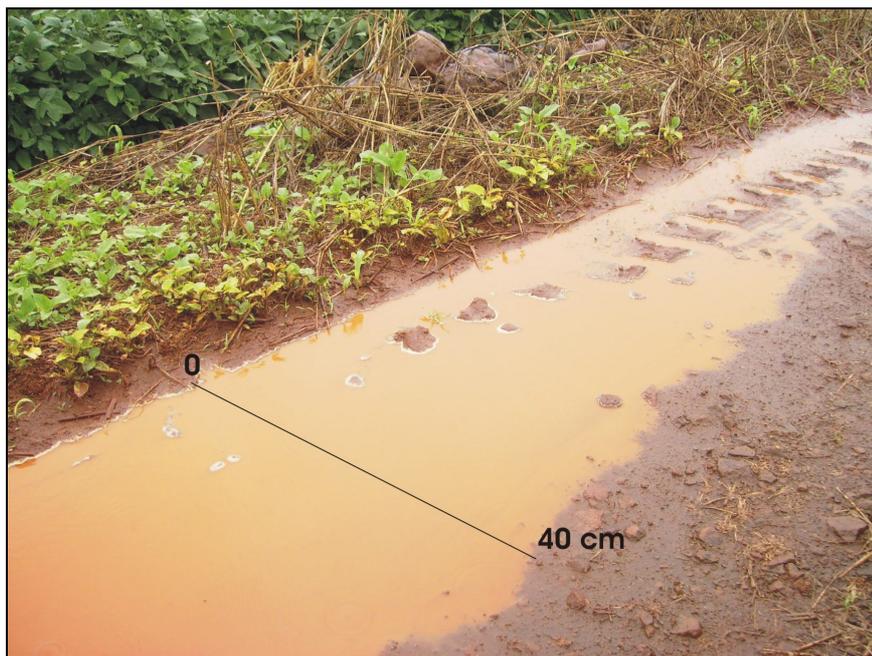


FIGURA 20 – Acúmulo de água sobre o solo, coloração avermelhada devido ao material em suspensão. 21/12/2006.

Fonte: DEMETRIO (2006).

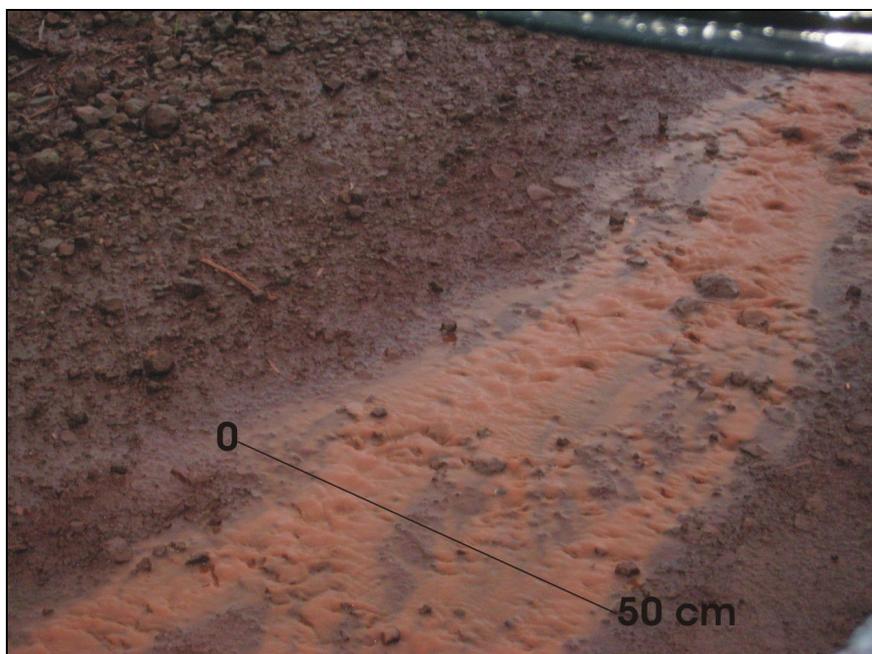


FIGURA 21 – Escoamento superficial, filhete de água com cerca de 50cm de largura. 21/12/2006.

Fonte: DEMETRIO, (2006).

Analisando as figuras 20 e 21 percebem-se o acúmulo de água sobre o solo, com materiais finos em suspensão e coloração bastante forte (avermelhada), devido o solo da área ser argiloso e conter bastante teor de Ferro. Na figura 21 há, um filhete de escoamento superficial, com 50cm de largura, levando consigo minerais e materiais finos do solo.

Após análise dos dados de precipitação diários, mensais e as intensidades os dados foram inseridos na equação (5), com isso foi possível determinar o índice de erosividade da área de estudo.

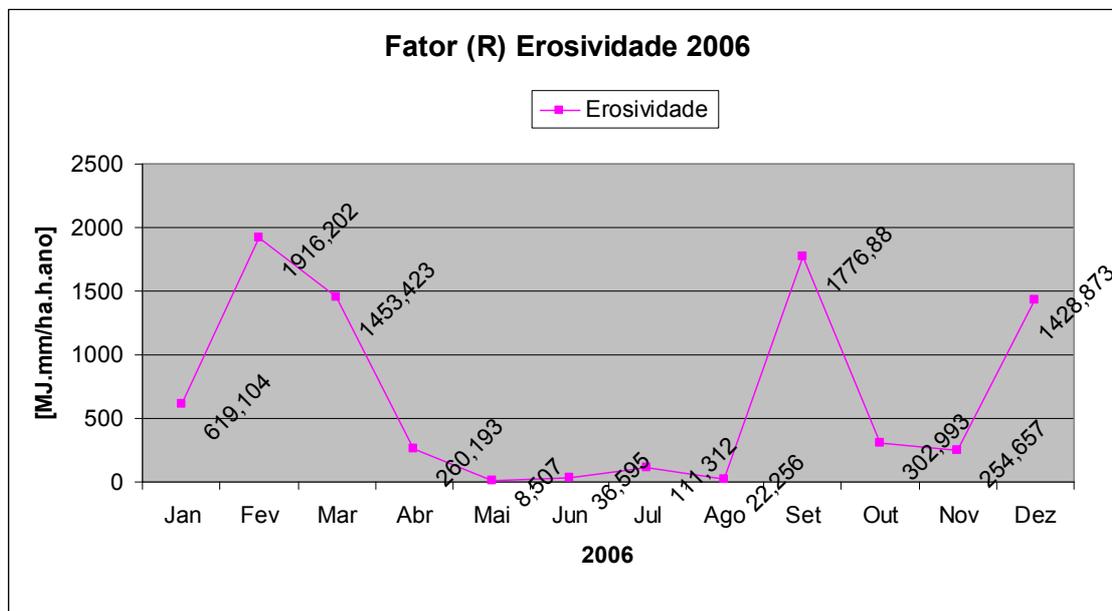
O índice de erosividade é diferenciado de uma área para outra, em função da distribuição da precipitação, porém neste caso devido à área não ser extensa o índice erosivo ou (Fator R) é considerado o mesmo para toda bacia. Com base nisso o fator R, é expresso mensalmente conforme tabela 3 e gráfico 2.

TABELA 3 – Índice de Erosividade Fator (R) mensal e total de 2006.

Meses (2006)	Fator (R) Erosividade [MJ.mm/ha.h.ano]
Janeiro	619,104
Fevereiro	1916,202
Março	1453,423
Abril	260,193
Maio	8,507
Junho	36,595
Julho	111,312
Agosto	22,256
Setembro	1776,88
Outubro	302,993
Novembro	254,657
Dezembro	1428,873
Total Fator (R) ano 2006	8190,995

Fonte: DEMETRIO, (2006).

GRÁFICO 2 – Erosividade, Fator (R) para o ano de 2006.



Fonte: DEMETRIO, (2006).

6.2. FATOR (K)

K= Fator de erodibilidade do solo, refere-se à capacidade do solo sofrer erosão, sendo medido em [ton.ha/ha.MJ.mm];

Um dos métodos mais utilizados para determinação de (K) é o método proposto por WISCHMEIER *et al.* (1971), com base nos parâmetros textura, estrutura, classes de permeabilidade e porcentagem de matéria orgânica combinando-os graficamente em um nomograma, Figura 22.

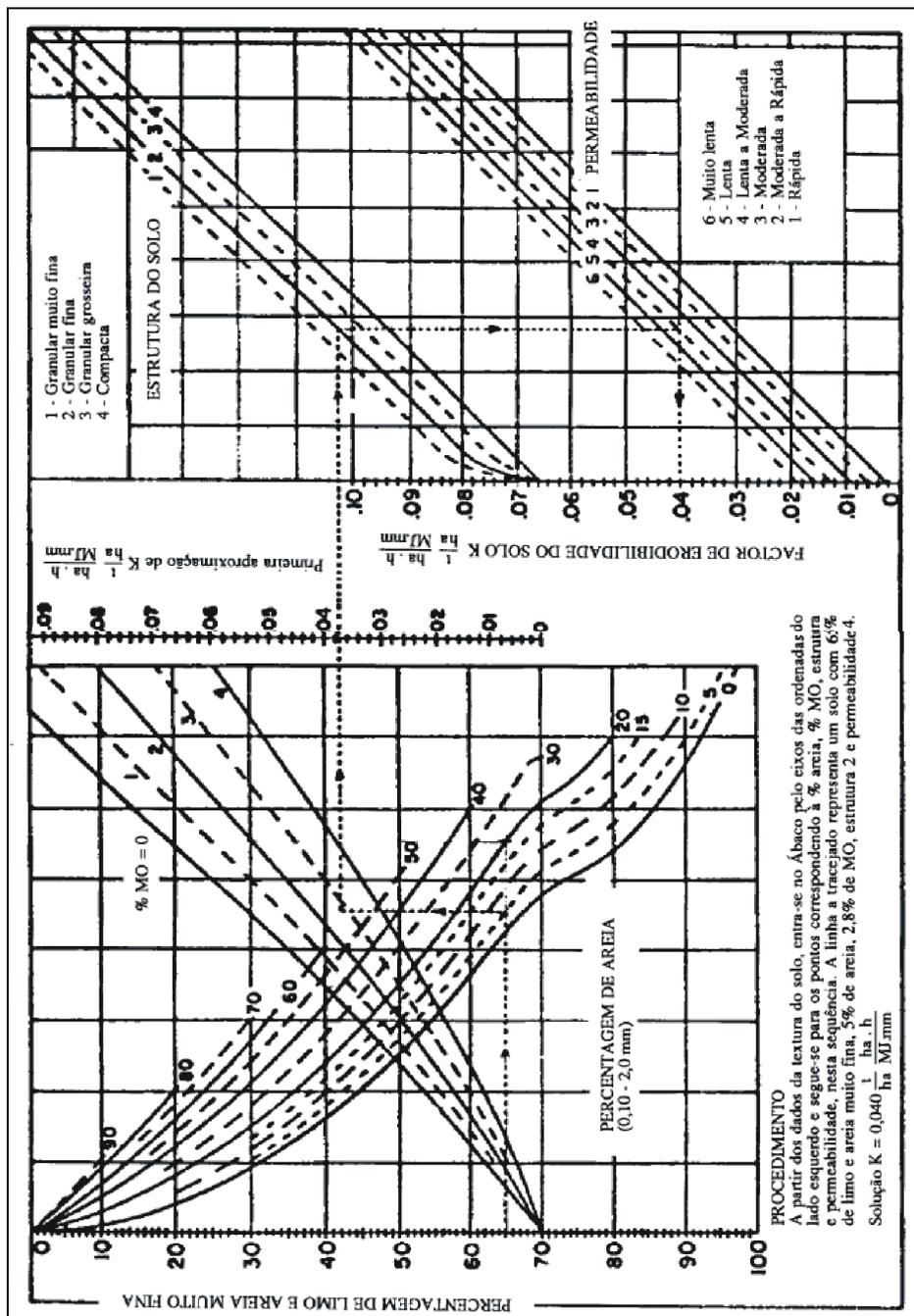


FIGURA 22 – Nomograma para determinação do fator erodibilidade do solo (K).

Fonte: WISCHMEIER *et. al.*, (1971).

As principais classes de solos presentes na área compreendem ao Latossolo Vermelho, Nitossolo e Gleissolo, conforme figura 23.

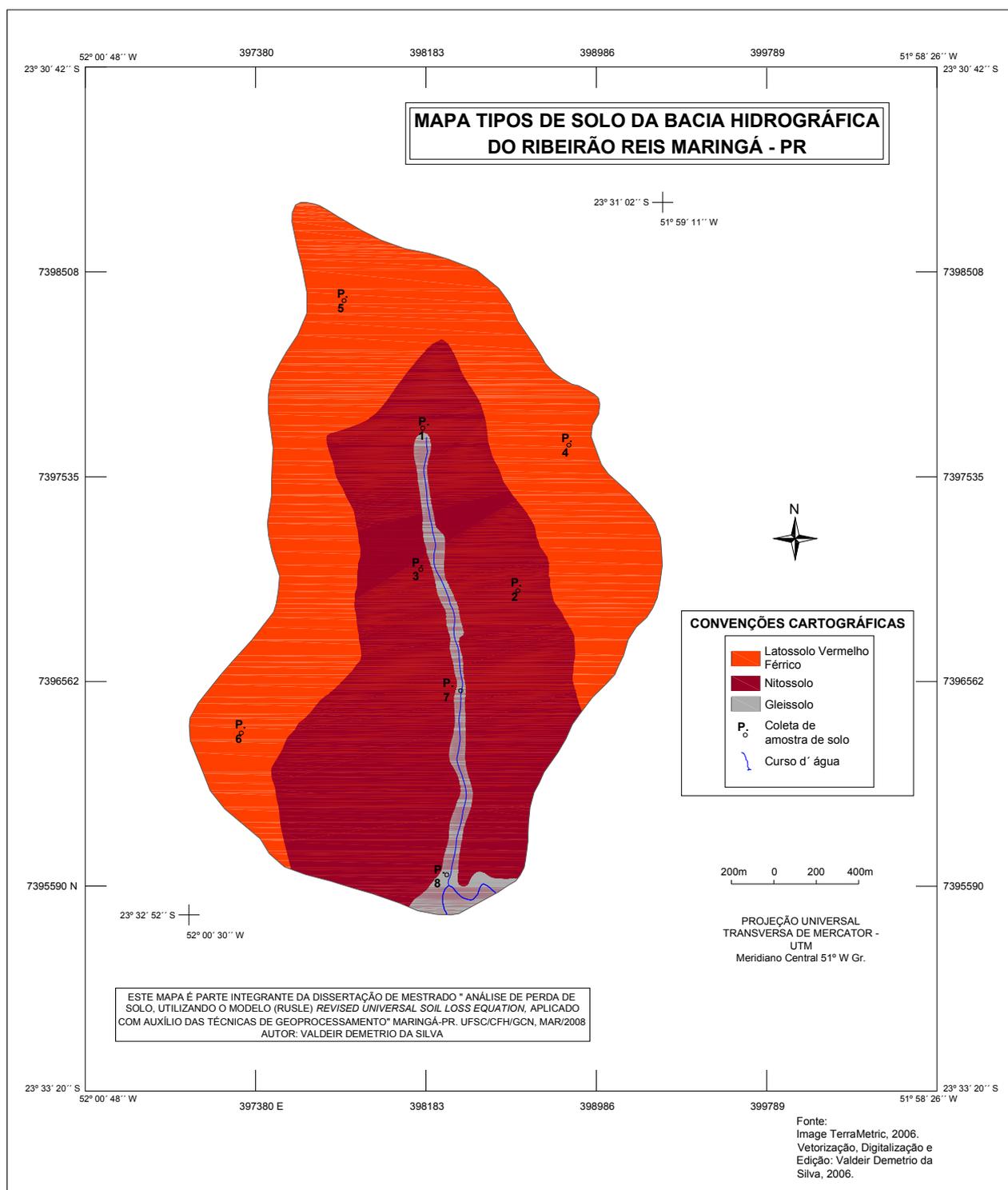


FIGURA 23 – Principais classes de solo presentes na área de estudo e pontos de amostras coletadas.

Devido o trabalho estar relacionado com erosão superficial, não foram descritos perfis, nem trincheiras, apenas descrição do material superficial e coleta do mesmo para análise granulométrica.

As classes de solo foram determinadas com base nas características granulométricas, bem como nos aspectos longitudinais, visita a campo e características regionais que permitem concomitante à altimetria (curvas com equidistância de cinco metros) classificá-las com precisão, como segue:

Latossolo Vermelho: compreende 48,03% da área total, derivado do basalto, constitui solo mineral com horizonte B latossólico, textura argilosa, alto teor de óxido de ferro, apresenta um avançado estágio pedológico, bastante profundo, solo permeável e cor matriz 2,5YR segundo tabela de cores Munsell.

Nitossolo: compreende a maior parte da bacia, 48,05% da área total, solo mineral com horizonte B nítico, textura argilosa, porém com intensa migração de argila do horizonte A para o B, também apresenta grande concentração de óxido de ferro, estrutura em blocos sub-angulares e bastante drenado.

Gleissolo: compreende a menor parte da bacia, 3,92% da área total, solo com características de horizonte (glei) hidromórfica, textura areno-argilosa, estrutura em blocos à prismática, com pouca presença de mosqueamento, drenagem muito fraca, devido proximidade com água subterrânea e ocasionalmente inundada, devido representar áreas de baixada próximo ao ribeirão.

Foram coletadas 8 amostras de solo superficial de acordo com a distribuição das três classes de solo como segue na Tabela 4.

TABELA 4 – Classes de Solo, pontos coletados em cada classe, tamanho da área e sua porcentagem total.

Classes de Solo	Pontos de Coleta (P)	Tamanho em ha	% Área Total
Latossolo Vermelho	P4, P5 e P6	223,8	48,03
Nitossolo	P1, P2 e P3	223,9	48,05
Gleissolo	P7 e P8	18,2	3,92

Fonte: DEMETRIO, (2006).

Das amostras de solo coletadas, foram feitas análise granulométrica com a finalidade de obter a porcentagem de silte, argila e matéria orgânica presentes, Tabela 5.

TABELA 5 – Porcentagem de silte, argila e matéria orgânica das amostras.

Amostras	% Silte	% Argila	% Mat. Orgânica
P1	27,05	71,23	12,12
P2	27,36	71,76	7,60
P3	27,50	72,00	11,21
P4	27,55	71,95	12,55
P5	27,00	69,90	6,05
P6	26,90	69,98	6,20
P7	27,40	71,90	10,05
P8	27,10	72,05	12,60

Fonte: DEMETRIO, (2006).

A área de estudo, como já citado, fica na região noroeste do Paraná e o IAPAR (Instituto Agrônômico do Paraná), realiza vasta pesquisa envolvendo diversos temas ligados ao solo desse Estado. Dentre essas pesquisas Henklain, (1980) utilizando o nomograma de WISCHMEIER, (1971) estipula os valores da erodibilidade dos Latossolos paranaense.

Analisando os valores de erodibilidade já existentes pelo IAPAR e utilizando o nomograma de WISCHMEIER, (1971), obteve-se os valores de erodibilidade do Latossolo Vermelho, Nitossolo e Gleyssolo presentes na área de estudo. Tabela 6.

TABELA 6 – Erodibilidade do Solo, Fator (K) do Latossolo Vermelho, Nitossolo e Gleyssolo.

Classes de Solo	Erodibilidade (Henklain, IAPAR)	Erodibilidade (Calculado)
Latossolo Vermelho	0,38	0,025
Nitossolo	0,07	0,018
Gleyssolo	0,06	0,039

Fonte: HENKLAIN, (1980); DEMETRIO, (2006).

6.3. FATOR (L , S)

L e S = São fatores de comprimento e declividade da vertente (adimensionais), como já mencionado anteriormente não se deve levar em consideração apenas à declividade, mas também as formas de relevo das vertentes e o comprimento de rampa.

Para levantamento das características de declividade, bem como comprimento de rampa, utilizou-se mapa base com curvas de nível detalhadas, eqüidistância de cinco metros (fornecido pela Prefeitura Municipal de Maringá-Pr). Desta forma foi possível realizar mapas de hipsometria, modelo numérico de terreno, modelo digital de terreno bem como a declividade, tais modelos foram realizados utilizando os softwares AutoCad-2006 e editados no Surfer 8, conforme figuras, 24, 25, 26 e 27.

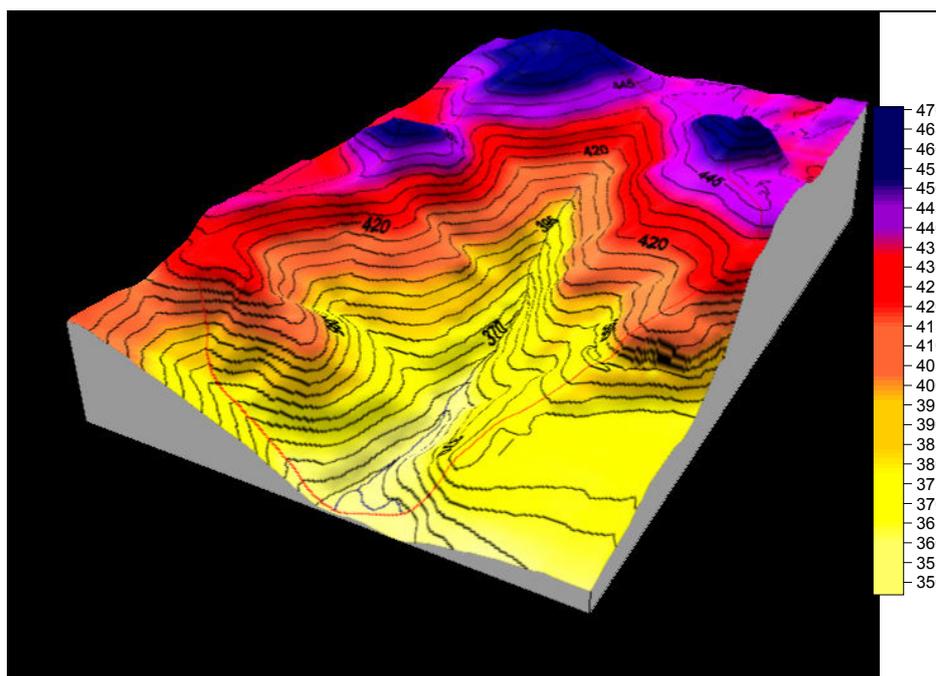


FIGURA 24 – Hipsometria da Bacia do Ribeirão Reis.

Fonte: DEMETRIO, (2006).

A hipsometria da área apresenta à jusante cotas mais baixas, aproximadamente 350m. Na montante encontra-se a mais elevada: 470m, um desnível de cerca de 120m.

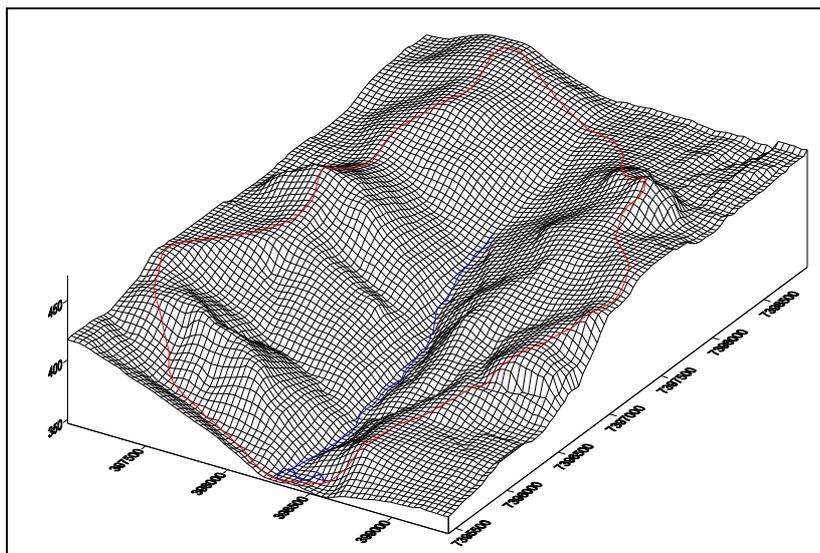


FIGURA 25 – Modelo Numérico de Terreno em 3D.

Fonte: DEMETRIO, (2006).

Utilizando o modelo numérico do terreno é possível determinar a declividade da bacia, gerado no ambiente SIG, no software Idrisi Andes.

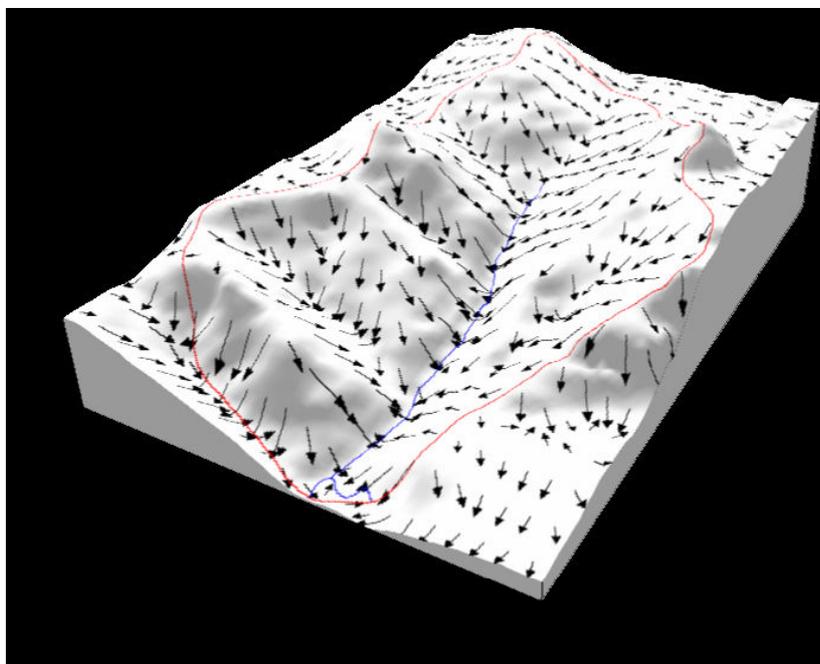


FIGURA 26 – Modelo Digital do Terreno, com setas indicando sentido do escoamento.

Fonte: DEMETRIO, (2006).

A figura 26 representa um modelo digital do terreno (MDE), onde é possível sobrepor vetores (representados pelas setas) indicando a direção das vertentes, bem como o provável fluxo d'água.

Desta forma utilizando os modelos acima descritos, inserindo-os num ambiente SIG, na forma do software Idrisi Andes, foi possível confeccionar a carta de declividade seguinte.

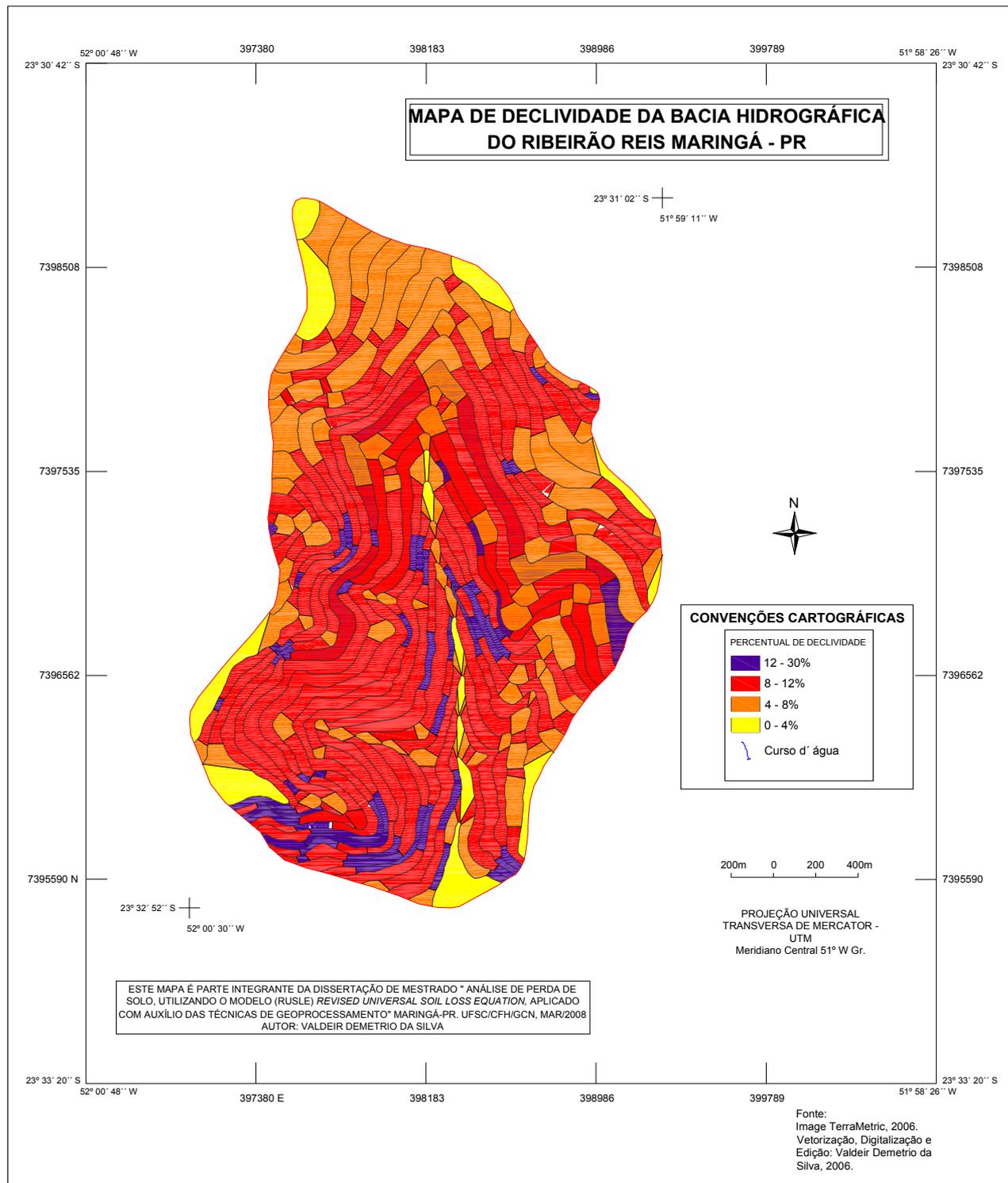


FIGURA 27 – Declividade da área de estudo.

Pode-se observar de acordo com mapa acima que a declividade da bacia em sua maioria compreende declividade de 8 a 12%, considerado relevo suavemente ondulado. Em algumas áreas da bacia o relevo apresenta declividade elevada, acima de 12% o que indicaria uma maior tendência de escoamento superficial na forma de enxurrada.

No tocante as formas de relevo, devido à área não ser muito extensa foi possível percorrer a bacia como um todo, e assim descrever que as formas de relevo da região, bem como da área são do tipo suavemente ondulado e as vertentes apresentam formas côncavas, em formatos de anfiteatro, em alguns casos retilíneas, a figura 28 representa uma visão panorâmica da montante em direção à jusante da bacia, onde é possível perceber que o relevo da área é suavemente ondulado.



FIGURA 28 – Vista panorâmica da Montante em direção à Jusante da bacia em estudo. 05/01/2007.

Fonte: DEMETRIO, (2006).

Ainda com relação às formas de relevo e vertentes, as figuras 29 e 30 representam uma visão panorâmica dos divisores de água.



FIGURA 29 – Vista panorâmica dos divisores de água. 28/10/2006.

Fonte: DEMETRIO, (2006).

No primeiro plano está o divisor da margem esquerda, no segundo, a margem direita, com o ribeirão ao meio.



FIGURA 30 – Vista panorâmica dos divisores de água, e a nascente do ribeirão. 05/01/2007.

Fonte: DEMETRIO, (2006).

A figura 30 representa o divisor de água e a nascente do ribeirão, com divisor da margem esquerda em primeiro plano e no segundo o da margem direita.

Os valores dos fatores L e S, foram extraídos através do modelo numérico de terreno (declividade), e análises das formas de relevo e vertentes, dentro de um ambiente SIG, no software Idrisi Andes.

6.4. FATOR (C , P)

C = Fator uso e manejo do solo (adimensional), é a relação entre perdas de solo de um terreno cultivado em dadas condições e as perdas correspondentes de um terreno mantido continuamente descoberto, isto é, nas mesmas condições em que o fator (K) é avaliado;

P = Fator de práticas conservacionistas (adimensional), relação entre as perdas de solo de um terreno cultivado com determinada prática e as perdas quando se planta morro abaixo. Ambos fatores (C) e (P) são obtidos através de mapeamento de uso do solo da área da pesquisa.

Os fatores C e P estão relacionados com o uso e ocupação da área, a figura 31, representa os principais tipos de uso e ocupação da área.

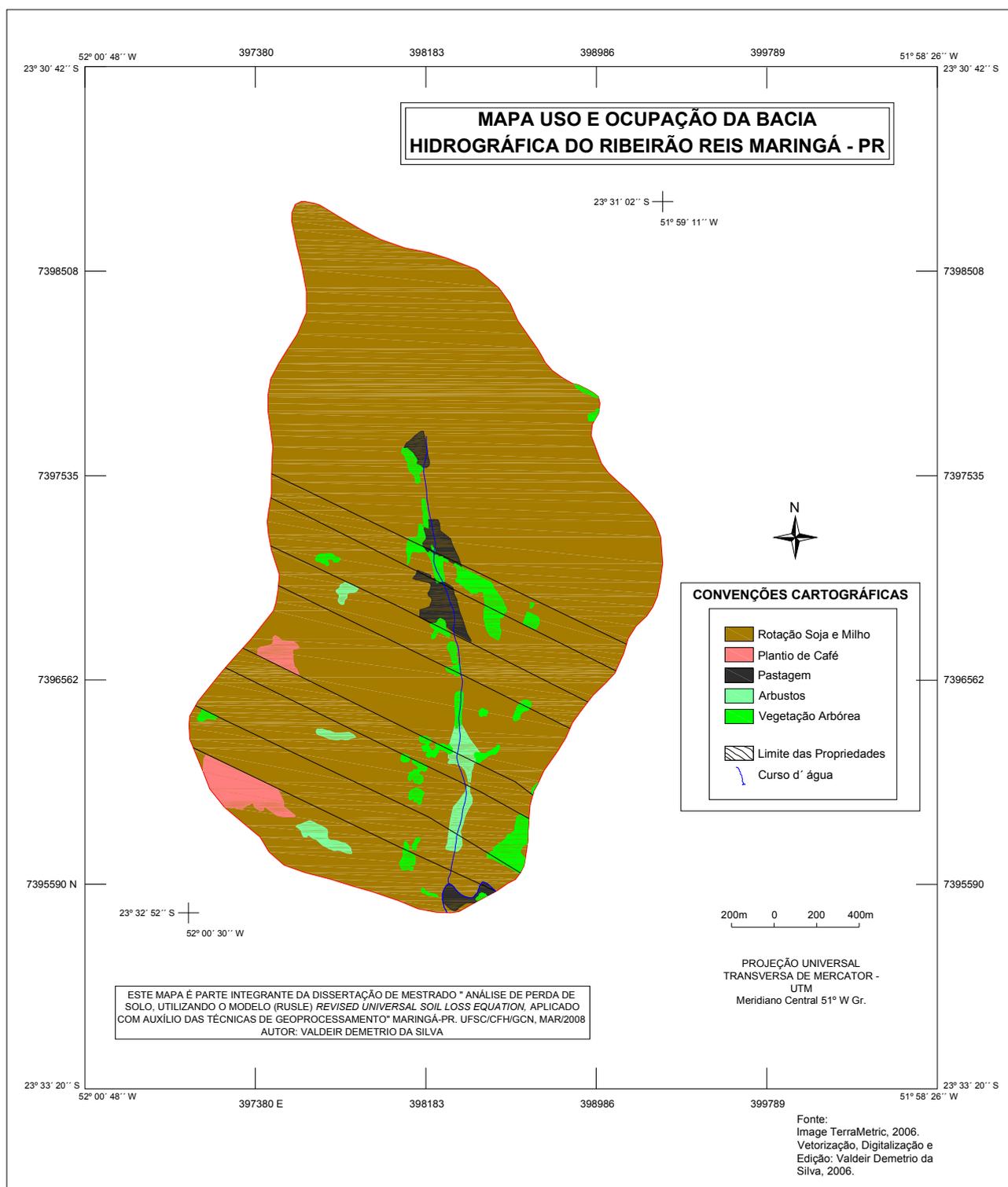


FIGURA 31 – Uso e ocupação da área.

A área é ocupada por culturas anuais de soja e milho; culturas permanentes como café e banana; e outros tipos de cobertura como pastagens, arbustos e vegetação arbórea, as figuras 32, 33, 34 e 35 representam essas culturas na área de estudo.



FIGURA 32 – Cultivo de soja no primeiro plano e no segundo, cultivo de milho. 05/01/2007.

Fonte: DEMETRIO, (2006).



FIGURA 33 – Vista panorâmica de duas propriedades com cultivo de soja intercalada por uma de milho, em último plano remanescentes de vegetação arbórea. 05/01/2007.

Fonte: DEMETRIO, (2006).



FIGURA 34 – Área com cultivo de banana. 05/01/2007.

Fonte: DEMETRIO, (2006).



FIGURA 35 – Área com cultivo de café. 05/01/2007.

Fonte: DEMETRIO, (2006).

A tabela 7 por sua vez apresenta o uso e ocupação da área, bem como seu tamanho em hectare e sua porcentagem em relação à área total.

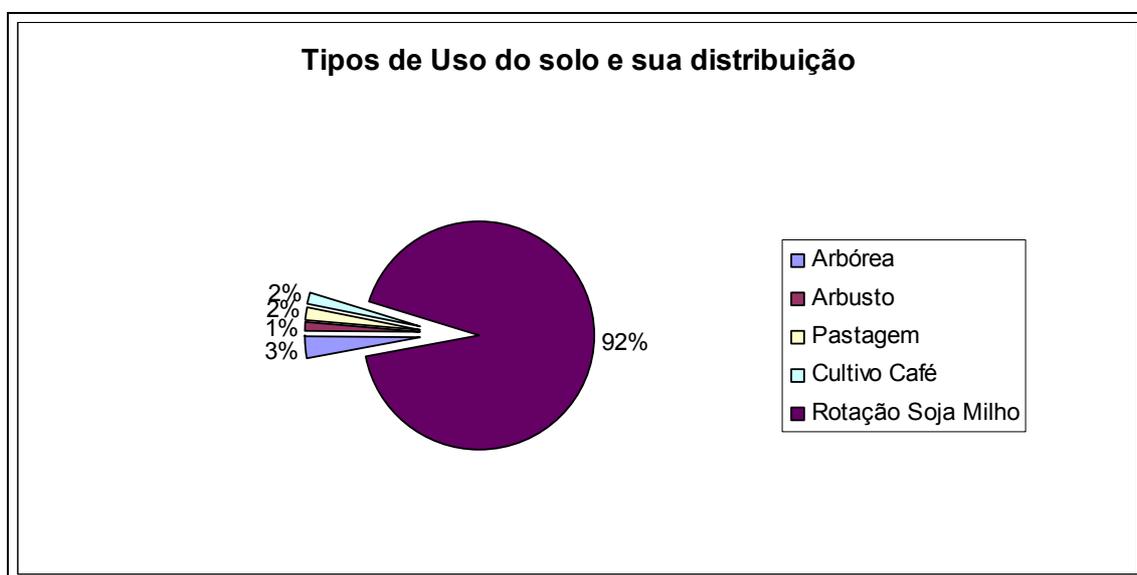
TABELA 7 – Principais usos e ocupação da área e sua distribuição com relação à área ocupada.

Uso e Ocupação	Tamanho em ha	% Área Total
Rotação soja/milho	429,7	92,2
Vegetação arbórea	14,4	3,1
Pastagem	7,8	1,7
Cultivo de café	7,7	1,6
Arbustos	6,2	1,3

Fonte: DEMETRIO, (2006).

A partir da tabela 7 foi confeccionado um gráfico da distribuição do uso e ocupação da área.

GRÁFICO 3 – Tipos de uso e ocupação da área e sua distribuição total.



Fonte: DEMETRIO, (2006).

Analisando o gráfico 3 e tabela 7, identifica-se que a maior parte ou quase a área total é ocupada por rotação de soja e milho com 92% da área total, restando à vegetação arbórea apenas 3%, situada nos fundos do vale e áreas pouco planas, a

pastagem e o cultivo de café ocupam a mesma quantidade de área, 2% e o arbusto apenas 1%. Com isso vê-se a concentração das terras cultiváveis ocupadas por rotação de soja e milho.

Na região onde se localiza a pesquisa essa configuração de ocupação é encontrada em grande parte das propriedades, haja vista, que é a maior região produtora de soja e milho no Estado do Paraná, impulsionada pela boa produtividade, solos férteis, e preços atraentes aos produtores.

No entanto, para o cálculo do fator (C), foi empregado o procedimento explicitado em Bertoni & Lombardi Neto (2005). Para rotação de culturas, foram levadas em conta as datas prováveis de plantio e colheita: tipo de preparo do solo e manejo dos restos culturais. No cálculo do fator (C) foi, além disso, considerada a razão de perdas relacionada com o índice de erosividade (EI) em sua distribuição mensal expressa em porcentagem.

A seguir são descritas as etapas para obtenção do valor de uso e manejo do solo fator (C) na rotação de soja e milho.

1ª Etapa: Obtenção do índice erosivo acumulado.

Foram utilizados os dados mensais relativos à erosividade da chuva na área de estudo, tendo como base o mapa de isoerosividade e os valores de erosividade já calculados (Tabela 3). Para se chegar aos valores acumulados somou-se ao primeiro mês que se inicia com o preparo do solo e plantio (neste caso setembro), ao valor do mês seguinte, sendo assim para todos os meses consecutivos. Isto é feito porque os valores de erosividade tem grande relação com perda de solo, pois nos períodos de preparo do solo, onde o mesmo está praticamente sem cobertura, as perdas são maiores. O Quadro 5 representa o resultado do índice erosivo acumulado.

QUADRO 5 – Porcentagem do valor médio anual do índice de erosão acumulado para 2006.

Meses	01/ Set	01/ Out	01/ Nov	01/ Dez	01/ Jan	01/ Fev	01/ Mar	01/ Abr	01/ Mai	01/ Jun	01/ Jul	01/ Ago
Média Erosiva	619	1916	1453	260	8	36	111	22	1776	302	254	1428
% Índice Erosivo	7,5	23,6	17,7	3,1	0,1	0,5	1,3	0,3	21,6	3,6	3,2	17,5
Índice Erosivo Acumulado	7,5	31,1	48,8	51,9	52	52,5	53,8	54,1	75,7	79,3	82,5	100

Fonte: DEMETRIO, (2006).

As figuras 36 e 37 representam a época de preparo e plantio, onde o solo estava parcialmente descoberto com restos vegetais de milho do cultivo anterior, antecipando o plantio direto de soja.



FIGURA 36 – Vista panorâmica do solo parcialmente descoberto, com restos de cultivo de milho. 28/09/2006.

Fonte: DEMETRIO, (2006).



FIGURA 37 – Solo recoberto por restos do cultivo de milho, pronto para plantio direto de soja. 28/09/2006.

Fonte: DEMETRIO, (2006).

2ª Etapa: Obtenção do Fator (C) mensal

As práticas de cultivo mais comuns na área estudada são as rotações consecutivas de soja e milho, sendo o fator (C) calculado para estas culturas pelo período de um ano. O preparo foi considerado direto com produções médias. Com relação aos outros tipos de ocupação da área, como: vegetação arbórea, arbustos, pastagem e culturas permanentes como cafezal e bananal, foram utilizados dados já tabelados para os valores do fator (C e P).

O ano agrícola foi dividido em cinco fases de desenvolvimento representando uma seqüência: o primeiro é o (D) do preparo do solo ao plantio e assim os demais períodos conforme quadro 6. Para cada fase foi estabelecida a intensidade de perda de solo (razão perda de solo), definidas de tal modo que os efeitos de cobertura e manejo pudessem ser considerados aproximadamente uniformes dentro de cada período, assim estabelecidos, quadro 6.

QUADRO 6 – Fase de desenvolvimento das culturas.

Fases	Períodos
D	Preparo do solo ao plantio
1	do plantio a 30 dias após
2	de 30 a 60 dias após
3	de 60 dias após à colheita
4	da colheita até o preparo do solo

Fonte: DEMETRIO, (2006).

Conforme Bertoni & Lombardi Neto (2005), as intensidades de perdas de solo são computadas para cada um desses estágios e para cada cultura, sob várias condições (seqüência de culturas, níveis de fertilidade, produção e quantidade de restos culturais). Tais períodos são definidos de acordo com a porcentagem de cobertura oferecida pela cultura à área cultivada.

Estes autores *id.* utilizaram-se de dados preliminares e experimentais de perdas de solo e enxurrada que permitiram avaliar os efeitos de sistemas de uso e manejo nas perdas de solo para cada estágio de cultura. Com estes dados, confeccionaram uma tabela que exprime valores de razão de perdas de solo entre áreas cultivadas e áreas continuamente descobertas, para diversos tipos de rotação de culturas e pasto, os quais estão expressos no quadro 6 e utilizados no quadro 7.

QUADRO 7 – Razão de perda de solo entre área cultivada e área continuamente descoberta.

Cobertura, Seqüência e Manejo	Razão de Perda de Solo por Período de Estágio de Cultura (%)				
	D	1	2	3	4
Fases					
Soja, rotação após milho	15	12	20	4	3
Milho, rotação após soja	10	11	8	4	1

Fonte: DEMETRIO, (2006), adaptado de BERTONI & LOMBARDI NETO, (2005)

A seguir são descritos os passos realizados para obtenção do Quadro 8, representando o (Fator C) para rotação de soja e milho, conforme Bertoni & Lombardi Neto (2005).

1. Na primeira coluna são descritas as operações de cultivo da terra;
2. Na coluna 2 estão representados os meses do ano, com data inicial de cada período do estágio da cultura, conforme ordem cronológica das fases de plantio e colheita;
3. A coluna 3, representa a listagem da distribuição percentual do índice de erosão anual para a área em estudo, obtida conforme etapa 1;
4. Na quarta coluna são relacionados os períodos de estágio da cultura que terminam com a data correspondente a esta linha, descrita na etapa 2, quadro 7 ;
5. Na coluna 5 são indicados a porcentagem do índice de erosão aplicada para cada período de estágio da cultura. Os valores desta coluna representam as diferenças entre os valores sucessivos listados da coluna 3;
6. A coluna 6, representa as razões de perdas de solo indicadas no quadro 5, de acordo com as condições específicas e períodos de estágio da cultura (fase) em que se encontra;
7. Na coluna 7, tem-se a relação do produto das duas últimas colunas (5 X 6), ou seja, o índice erosivo multiplicado pela razão de perda de solo;
8. A coluna 8, representa o total do Fator (C) dos diferentes períodos da rotação, revelando o período onde ocorre mais erosão e sugerindo medidas adicionais de conservação;
9. Os valores do Fator (C) multiplicados aos valores correspondentes às práticas conservacionistas, observadas na área em estudo, onde a plantação é feita em contorno, isto é, curvas de nível, é de $P = 0,5$.

QUADRO 8 – Cálculo do Fator (C) para rotação de soja e milho.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Operações	Data Dia/mês	Valores Quadro 3.	Estágio da Cultura	Índice de Erosão no Período (%)	Razão de perda de solo (%)	Coluna (5)x(6)	Valor de C Mensal	Valores de C e P Mensal
Preparo solo	1/set	7,5	D	7,5	15	112,5	0,01125	0,005625
Plantio Soja	1/out	31,1	1	23,6	12	283,2	0,02832	0,01416
	1/nov	48,8	2	17,7	20	354	0,0354	0,0177
	1/dez	51,9	3	3,1	4	12,4	0,00124	0,00062
	1/jan	52	3	0,1	4	0,4	0,00004	0,00002
	1/fev	52,5	3	0,5	4	2	0,0002	0,0002
Colheita Soja	1/mar	53,8	4	1,3	3	3,9	0,00039	0,000195
Preparo solo	1/abr	54,1	D	0,03	10	0,3	0,00003	0,000015
Plantio Milho	1/mai	75,7	1	21,6	11	237,6	0,02376	0,01188
	1/jun	79,3	2	3,6	8	28,8	0,00288	0,00144
	1/jul	82,5	3	3,2	4	12,8	0,00128	0,00064
Colheita Milho	1/ago	100	4	17,5	1	17,5	0,00175	0,000875
Total Anual 2006							0,10654	0,05337

Fonte: DEMETRIO, (2006), adaptado de BERTONI & LOMBARDI NETO, (2005)

Com relação aos valores dos Fatores (C e P) dos demais tipos de uso da área como: vegetação arbórea, arbustos, pastagem, cultivo de café e banana foram classificados de acordo com dados de pesquisas e levantamentos bibliográficos. Quadro 9.

QUADRO 9 – Demais categorias de cobertura do solo e respectivos Fatores (C).

Tipo de Cobertura do Solo	Fatores (C)
Arbustos	0,052
Café	0,021
Banana	0,019
Pastagem	0,016
Vegetação arbórea	0,001

Fonte: BERTONI & LOMBARDI NETO, (2005); SILVA *et. al.*, (2004); IAPAR, (1999).

No tocante as praticas conservacionistas, pesquisadores como (Amaral, 1978; Ferreira, 1981; Galetti, 1984; IAPAR, 1999; Bertoni & Lombardi Neto, 2005) classificam em: práticas de caráter mecânico, vegetativo e edáfico.

As práticas de caráter mecânico são aquelas em que se recorre às estruturas artificiais mediante a disposição adequada de porções de terra, com a finalidade de quebrar a velocidade de escoamento da enxurrada e facilitar-lhe a infiltração no solo, o principal exemplo dessa prática é a confecção de terraços.

O tipo de terraço presente nas propriedades e também aceito nas literaturas para esse tipo de solo e declive é o de base larga conforme figura 38.

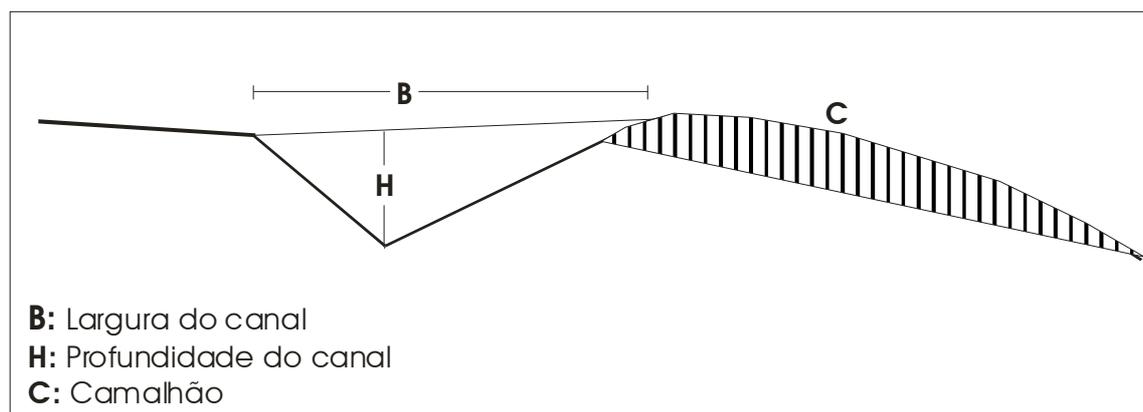


FIGURA 38 – Modelo de terraço tipo base larga.

Fonte: DEMETRIO, (2006), adaptado de GALETTI, (1984).

As propriedades que compõem a área de pesquisa apresentam em sua maioria terraços de base larga, no entanto com o desgaste são periodicamente reformados, a figura 39, exemplifica bem esse processo de manutenção dos terraços com objetivo de evitar enxurrada e conseqüente perdas de solo.



FIGURA 39 – Terraço de base larga, recém reformado. 28/09/2006.

Fonte: DEMETRIO, (2006).

As práticas de caráter vegetativo referem-se à utilização e manejo de vegetação afim de evitar perda de solo, e os principais exemplos dessas práticas são: rotação de culturas, plantio em contorno e uso de curvas de nível. Em visitas a campo ficou evidente o uso dessas práticas vegetativas, pois são feitas rotações de cultura como soja e milho e os cultivos são feitos em contorno intercalados por curvas de nível. A figura 40 representa uma propriedade com cultivo de soja, onde o plantio é efetuado em contornos e intercalada por terraços.



FIGURA 40 – Vista panorâmica de plantio em contorno, intercalado por terraço. 05/01/2007.

Fonte: DEMETRIO, (2006).

A figura 41 também exemplifica a distribuição do cultivo de soja intercalado por terraços ao longo de uma propriedade.

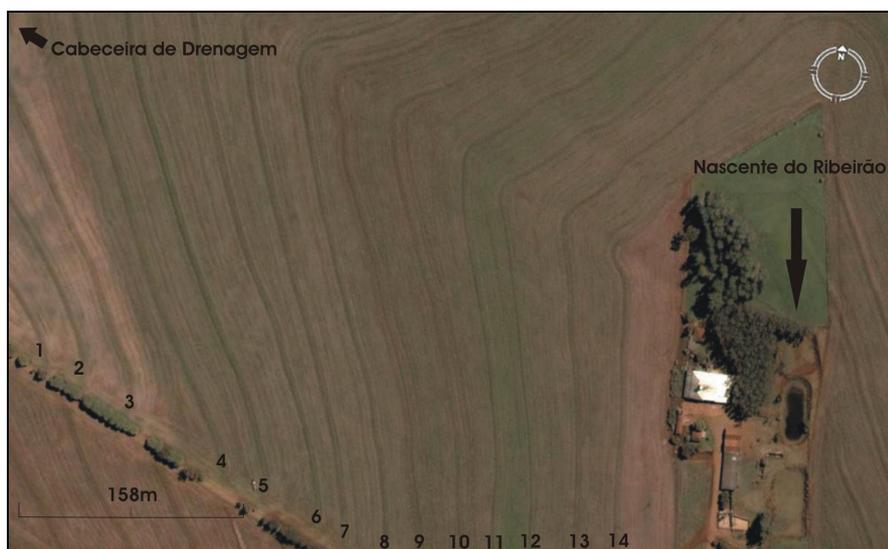


FIGURA 41 – Vista aérea de 14 terraços entre a cabeceira e a nascente do ribeirão intercalados por cultivo de soja.

Fonte: IMAGE TERRA METRIC, 2006. organização: DEMETRIO, (2006).

As práticas de caráter edáfico relacionam-se às modificações no sistema de cultivo, com objetivo de ampliar a fertilidade do solo, os exemplos desse tipo de prática envolvem: controle ao fogo, adubação verde, adubação química, adubação orgânica e calagem¹¹. Nas observações de campo a única prática realizada é a adubação química, realizada pelos produtores.

Assim tem-se na tabela 8, seguinte os valores dos fatores (C e P) das demais coberturas do solo (bibliografia), bem como da rotação soja e milho (calculado quadro 8).

TABELA 8 – Cobertura vegetal e fatores (C e P).

Uso e Ocupação	Fator C e P
Rotação soja/milho	0,05337
Arbustos	0,026
Cultivo de café	0,0105
Pastagem	0,008
Vegetação arbórea	0,0005

Fonte: DEMETRIO, (2006); BERTONI & LOMBARDI NETO, (2005); SILVA *et. al.*, (2004); IAPAR, (1999);

3º Etapa: Cruzamento dos Fatores que compõem a RUSLE, para mensuração da quantidade de perda de solo na área.

Obtidos os fatores da equação de perda de solo, os mesmo foram transferidos para um software (SIG), Idrisi Andes, que em seu ambiente possui um módulo de calculo RUSLE. Que são inseridos os valores e imagens dos fatores que compõem a equação (R,K,LS,CP) onde o mesmo calcula e apresenta os valores de perda de solo para cada tipo de uso e ocupação, baseado no valores inseridos.

¹¹ Calagem: operação de adubar ou corrigir o solo com cal (FERREIRA, 2006)

Manipulados e analisados, os cálculos geraram tabelas e gráficos das áreas com maior potencial erosivo, assim como a quantidade de solo erodido para cada tipo de uso e ocupação.

A erosão como já mencionado em capítulos anteriores (fundamentação teórica), é influenciada por diversos fatores, e neste caso foi calculado em função da cobertura vegetal, índice pluviométrico e tipo de solo.

Juntando o (gráfico 3) de distribuição das culturas e os valores dos fatores (C e P, tabela 8), em uma tabela, é possível analisar a capacidade de perda de solo de acordo com o tipo de uso e ocupação.

TABELA 9 – Perda de solo de acordo com uso e ocupação e área ocupada.

Uso e Ocupação	Perda de solo ton/ha	% Área Total
Rotação soja/milho	17,92	92,2
Arbustos	8,73	1,3
Cultivo de café	3,52	1,6
Pastagem	2,68	1,7
Vegetação arbórea	0,16	3,1

Fonte: DEMETRIO, (2006).

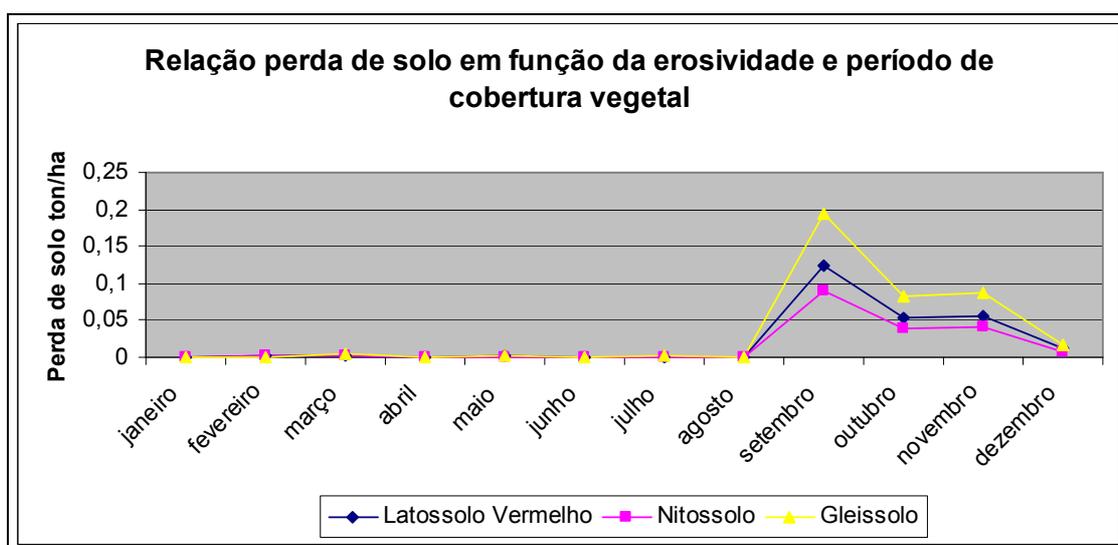
Os maiores índices de perda de solo de acordo com uso e ocupação e em ordem decrescente foram: rotação de soja/milho, com perdas de 17,92 ton/ha; seguida pelos arbustos com 8,73 ton/ha; o cultivo de café, apresentou 3,52 ton/ha; posteriormente as pastagens com 2,68 ton/ha; e com menor índice a vegetação arbórea 0,16 ton/ha.

A rotação de cultura de soja e milho apresentaram perdas consideráveis, com relação às demais, haja visto que os arbustos apesar de ser o segundo em perda de solo apresenta a menor área 6,2 hectare, e 1,3% da área total, porém a rotação de soja e milho, além de apresentar o maior índice, ainda compreende a maior área, 429,7 hectare quase a área total, com 92,2%.

Com base nisso, tem-se evidências de que a vegetação arbórea, bem como demais cultivos que protegem o solo das precipitações (pastagens), devem ser consideradas em relação à preservação e conservação do solo.

Atribuída à cobertura vegetal os índices pluviométricos reforçaram a tese de que solo com pouca cobertura apresentam maiores índices erosivos. Pois a perda de solo relacionada aos índices pluviométricos deveria apresentar características clássicas, “períodos mais chuvosos conseqüentemente maior erosão”, porém constatou-se que isso não ocorreu nos meses mais chuvosos devido à existência de cobertura vegetal e principalmente sua fase de desenvolvimento. O gráfico 4 seguinte, apresenta os índices erosivos da rotação de soja e milho de acordo com a erosividade (tabela 3) e cobertura vegetal (fator C e P, quadro 8).

GRÁFICO 4 – Perda de solo de acordo com erosividade (fator R), classes de solo (fator K) e período de cobertura vegetal (fator C e P).



Fonte: DEMETRIO, (2006).

Os meses mais chuvosos foram: fevereiro, março, setembro e dezembro, conforme (tabela 2) e os índices de erosividade fator R (tabela 3), também apresentam esses meses com maior potencial erosivo. Analisando o gráfico 4 não identifica-se esses meses como sendo os mais erosivos. O único que coincide é o de setembro, isto porque os meses de fevereiro e março a cobertura vegetal encontrava-se no estágio “3 e 4” (quadro 6) fase em que a cultura apresenta 60 dias

após o plantio, por outro lado o mês de setembro além de apresentar elevado índice pluviométrico e conseqüente erosividade a cobertura está no estágio “D” (quadro 6) fase em que está ocorrendo o preparo do solo para o plantio, com isso o solo encontra-se quase sem cobertura vegetal, apenas com restos da cultura anterior.

O mês de outubro e novembro nem foram classificados como meses mais chuvosos, e apresentam os dois outros maiores índices de erosão, isto devido estarem no estágio “1 e 2” (quadro 6) fase de plantio até 30 e 60 dias após, com isso o percentual erosivo torna-se maior em função da cobertura vegetal, comprovando que a cobertura vegetal é o fator de maior relevância no combate à erosão.

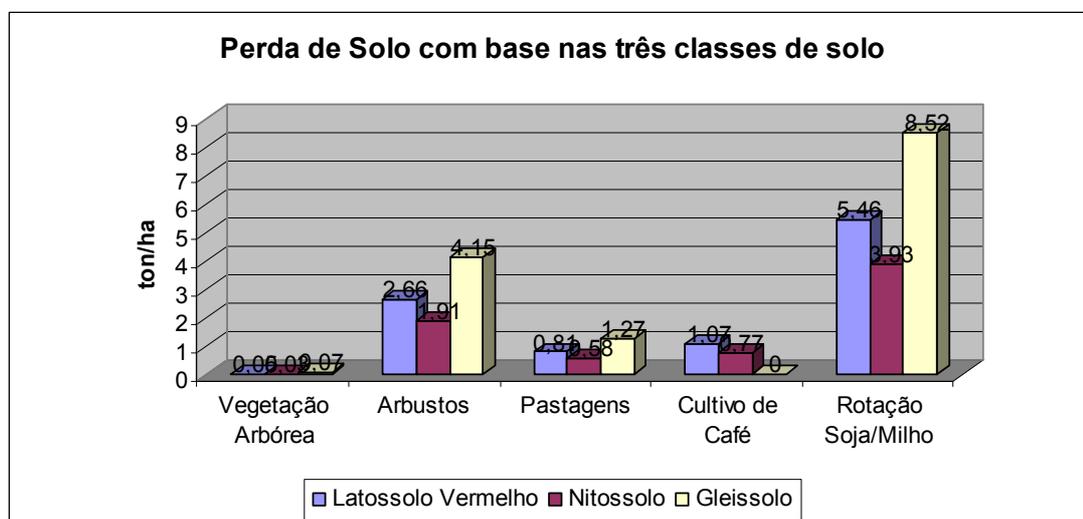
Com relação às perdas de solo relacionada às classes de solo a tabela 10 e gráfico 5 seguinte apresenta a quantidade de perda de solo de acordo com as três classes de solo presentes na área, tendo como base o uso e ocupação presentes.

TABELA 10 – Perda de solo de acordo com as três classes de solo: Latossolo vermelho, nitossolo e gleissolo e uso/ocupação.

Classes de Solo	Perda de Solo ton/ha			
	Latossolo Vermelho	Nitossolo	Gleissolo	Total
Rotação Soja/Milho	5,46	3,93	8,52	17,92
Arbustos	2,66	1,91	4,15	8,73
Cultivo de Café	1,07	0,77	1,67	3,52
Pastagens	0,81	0,58	1,27	2,68
Vegetação Arbórea	0,05	0,03	0,07	0,16

Fonte: DEMETRIO, (2006).

GRÁFICO 5 – Perda de solo nas três classes: Latossolo vermelho, nitossolo e gleissolo.



Fonte: DEMETRIO, (2006).

Analisando a tabela 10 e gráfico 5 identifica-se que a maior quantidade de perda de solo está na classe do gleissolo 8,52 ton/ha, isto devido o solo apresentar características granulométricas argilosa, pouca permeabilidade, pois são solos parcialmente encharcados, com isso apresentam maior susceptibilidade ao processo erosivo, o latossolo vermelho é a segunda classe de solo com maior índice de erodibilidade 5,46 ton/ha, já o nitossolo, devido suas características granulométricas argilosa e horizonte B nítico apresentou menor índice de erodibilidade 3,93 ton/ha.

Somando as perdas de solo das três classes a área total tem uma capacidade de perda de 17,92 ton/ha, “capacidade” porque o material erodido do latossolo vermelho se transporta, por ação gravitacional com a enxurrada para o nitossolo e este ao gleissolo, fazendo com que os valores totais fiquem imprecisos.

A quantidade de material transportado é em sua maioria materiais finos em suspensão, isso ficou evidente em visita a campo, pois a coloração das águas do ribeirão comprova grande porcentagem de material em suspensão. Não foram medidos a porcentagem de sedimentos do mesmo, mas é percebido pela sua coloração figuras 42 e 43.



FIGURA 42 – Vista do ribeirão com material em suspensão, daí cores avermelhadas.

Fonte: DEMETRIO, (2006).

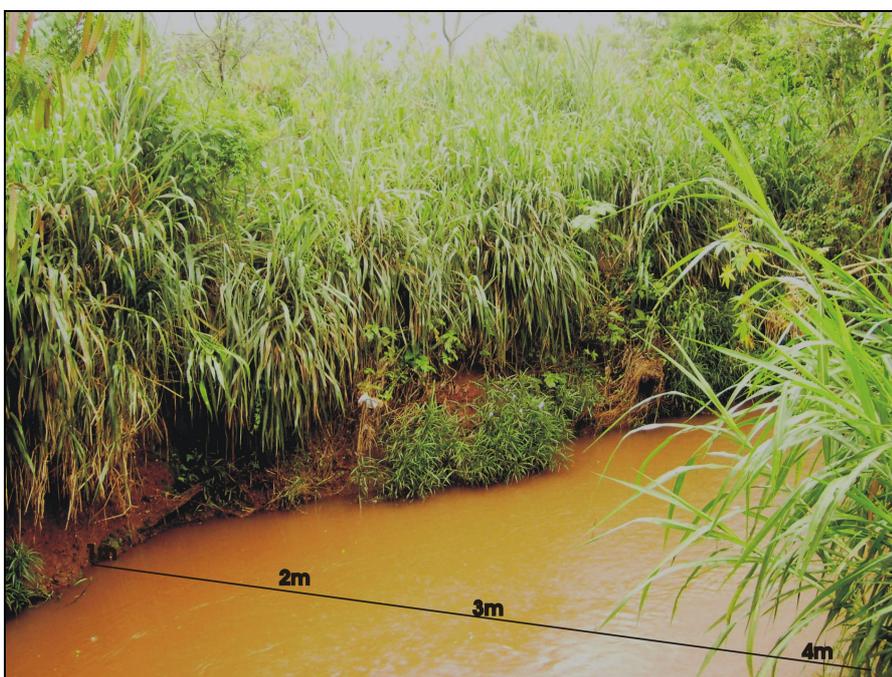


FIGURA 43 – Ribeirão com cores avermelhadas, caracterizando material de solo em suspensão.

Fonte: DEMETRIO, (2006).

Bertoni & Lombardi Neto, 2005 em suas pesquisas realizadas o Instituto Agronômico de Campinas (IAC), estipularam valores de tolerância de perda de solo, que segundo o mesmo autor é a quantidade de terra que pode ser perdida por erosão, expressa em toneladas por unidade de superfície ao ano, mantendo ainda o solo elevado nível de produtividade por longo período de tempo. Essa tolerância reflete a perda máxima de solo que se pode admitir, com um grau de conservação tal que mantenha uma produção econômica em futuro previsível com os meios técnicos atuais, com base nisso a tabela 11 apresenta a tolerância de perda de solo e os calculados nessa pesquisa.

TABELA 11 – Tolerância de perda de solo.

Classes de Solo	Bertoni & Lombardi Neto, 2005	Demetrio, 2008
Latossolo Vermelho	10,9 a 12,5	10,92
Nitossolo	11,6 a 13,6	7,86

Fonte: DEMETRIO, (2006).

Conforme tabela 11, os resultados calculados por este trabalho demonstram que as perdas de solo estão no mínimo de tolerância como o latossolo vermelho, ou consideravelmente abaixo do mínimo como no nitossolo.

7. CONCLUSÕES E SUGESTÕES

O presente trabalho teve como objetivo avaliar a presença de processos erosivos, bem como mensurar a quantidade de material erodido durante o período de um ano, com base nisso seguem as conclusões e sugestões.

- Não foram detectadas fissuras representantes de erosão acelerada como voçorocamento entre outros, apenas presença de alguns sulcos estabilizados e que se formam apenas quando ocorrem eventos pluviométricos com intensidade necessária para formação do mesmo.
- Com relação à precipitação para o período analisado não apresentaram grandes discrepâncias de eventos pluviométricos, pois de acordo com as características climáticas regionais seguiu os padrões da região. A erosividade foi maior nos meses mais chuvosos fevereiro com 1916,202 [MJ.mm/ha.h.ano], março 1453,423 [MJ.mm/ha.h.ano], setembro 1776,88 [MJ.mm/ha.h.ano] e dezembro 1428,873.
- Os índices pluviométricos indicaram os meses de fevereiro, março setembro e dezembro como sendo os de maior potencial erosivo, porém na realidade não ocorreu tal procedimento, pois os meses com maiores perdas levando em consideração à rotação soja e milho foram os meses de setembro 0,194 ton/ha, outubro 0,083 ton/ha e novembro 0,087 ton/ha.
- Isto porque os meses de setembro, outubro e novembro apresentaram menor cobertura do solo, ou seja, o mês de setembro além de apresentar elevado índice de erosividade pluviométrica compreendeu a fase de preparo e plantio, época em que o solo está com pouca cobertura, e os meses de outubro e novembro compreenderam as fases iniciais de crescimento da cultura.
- As perdas de solo totais relacionadas ao uso e ocupação da área, representada pela rotação de cultivo soja e milho apresentaram as maiores perdas 17,92 ton/ha, abrangendo uma área de 92,2 % da área total, seguido pelos arbustos com perdas de 8,73 ton/ha, porém representa a menor área 1,3 %, em terceiro o cultivo de café com perdas de 3,52 ton/ha e 1,6 % da

área, em quarto as pastagens com 2,68 ton/ha e área de 1,7 % e por último a vegetação arbórea com apenas 0,16 ton/ha e área de 3,1% do total.

- Com relação às classes de solo, na rotação soja e milho o gleissolo apresentou maior erosividade 8,52 ton/ha representando apenas 3,92% de área total, seguido pelo latossolo vermelho 5,46 ton/ha com 48,03% da área total e com menor erosividade o nitossolo 3,93 ton/há e 48,05 % de ocupação.
- A declividade não foi fator determinante da quantidade de material transportado, apenas nas área com maior declividade acima de 12% é que a enxurrada se torna mais efetiva, causando pequenos sulcos estabilizados. Afinal a área de estudo em sua maior parte apresenta relevo suavemente ondulado. Os comprimentos de rampa também não apresentaram-se como fator decisivo na erosão, ou mesmo na perda de solo, pois são relevo do tipo suavemente ondulado e vertentes côncavas, tipo anfiteatro.
- O modelo selecionado (RUSLE), apresentou-se satisfatório para a mensuração da quantidade de perda de solo, e devido estar atrelado ao geoprocessamento no ambiente SIG do software Idrisi Andes facilitou uso e execução do mesmo.
- As tecnologias de geoprocessamento neste caso o SIG, apresentou-se como uma metodologia prática e eficaz, na obtenção, manipulação e exibição dos resultados.
- Portanto o fator determinante da quantidade de perda de solo foi o estágio de crescimento da cultura (soja e milho).
- As perdas totais não foram consideradas fora da média de tolerância, haja vista, que a tolerância de perda de solo é de 10,9 à 12,5 ton/ha no latossolo vermelho e 11,6 à 13,6 ton/ha para o nitossolo .
- As perdas foram abaixo da tolerância em função das praticas conservacionistas realizadas pelos produtores: confecção de terraços, plantio

em contornos e rotação de culturas com plantio direto, utilizando os restos vegetais da cultura anterior, diminuindo assim a exposição do solo.

Os métodos adotados e os resultados obtidos foram satisfatórios para auxiliar tomadas de decisão dos órgãos municipais no uso do solo, bem como acompanhamento das práticas conservacionistas adequadas a fim de evitar perdas de solo por erosão laminar. Entretanto, se forem melhorados os métodos de estimativa e parâmetros como: a erosividade e a erodibilidade, poderíamos apresentar dados mais precisos na estimativa da perda de solo.

REFERÊNCIAS

- ACIESP (Academia de Ciências do Estado de São Paulo). **Glossário de Ecologia**. 1ª Edição. Publicação ACIESP nº 57. 1987.
- AMARAL, N. D. **Noções de conservação do solo**. São Paulo. 2ª Edição. 1978. 120p.
- ARONOFF, S. **Geographic information systems – A management perspective**. Ottawa: WDL publications, 1991. 294p.
- ATENUCCI et al. **Geographic information system, a guide to tchnology**. Van Nostrand Reinhd. New York. 1992.
- BERTONI, J & LOMBARDI NETO, F. L. **Conservação do solo**. São Paulo. Ícone. 5ª Edição. 2005. 355p.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F.; BENATTI JUNIOR, R. Equação de perdas de solo. **Boletim Técnico** n. 21. Campinas: Instituto Agronômico.1975. 24p.
- BIGARELLA, J. J. **Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais**. Contribuições de Rosemari Dora Becker, Gilberto Friedenreich dos Santos.Vol. 01. Ed. UFSC. 1994.
- BIGARELLA, J. J. **Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais**. Contribuições de Sheila Maria Cabral de Carvalho, Maria Lucia de Paula Herrmann, Gilberto Friedenreich dos Santos, João Batista Lins Coutinho, Magaly Mendonça, Everton Passos, Rosemari Dora Becker. Vol. 02. Ed. UFSC. 1996.
- BIGARELLA, J. J. **Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais**. Contribuições de Maria Lucia de Paula Herrmann, Gilberto Fiedenreich dos Santos, Magaly Mendonça, Eduardo Salamuni e Kenitiro Suguuiu Vol. 03. Ed. UFSC. 2003.
- BIGARELLA, J. J. Visão integrada da problemática da erosão. livro guia, In: **3º Simpósio nacional de controle de erosão Maringá Pr**. Curitiba. Associação de Defesa e Educação Ambiental e Associação Brasileira de Geologia de Engenharia. 1985. 329p.

BRADY, N. C. **Natureza e propriedade dos solos**. (trad.) FIGUEIREDO, A. B. N. 7ª ed. Rio de Janeiro. 1989.

BURROUGH, P. Principles of geography information systems for land resources assessment. Oxford: Clarendon Press, 1994.

CABEDA, M. S. V. Degradação física e erosão do solo. In: Simpósio de Manejo do Solo e Plantio Direto no Sul do Brasil. 1º Simpósio de Conservação de solos do Planalto. Passo Fundo. **Anais...** Faculdade de Agronomia. 1984. p. 28-33.

CÂMARA, G.; CASANOVA, M. A. **Anatomia de sistemas de informação geográfica**. Campinas: instituto de computação, UNICAMP. 1996. 197p.

CÂMARA, G. & MEDEIROS, J. S. Princípios básicos de geoprocessamento. In: ASSAD, E. D. SANO, E. E. (ed.) **Sistema de Informações geográficas: aplicações na agricultura**. 2ª edição. Brasília: Embrapa-SPI/Embrapa-CPAC, 1998. p. 3-11.

CARVALHO, M. P. LOMBARDI NETO. Índice de erosividade da chuva e enxurrada correlacionados com as perdas de solo e determinação da erosividade em um latossolo roxo distróficos de Campinas (SP). **Revista Brasileira Ciência do Solo**. 17: 1993. p. 445-450

CARVALHO, M. S.; PINA, M. F.; SANTOS, S. M. **Conceitos básicos de sistemas de informação geográfica e cartografia aplicados à saúde**. Brasília. Ministério da Saúde. RIPSAs. 2000. 124p.

CARVALHO, N. O. **Hidrossedimentologia prática**. Rio de Janeiro. CPRM. 1994. 372p.

CHECCHIA, T. **AVALIAÇÃO DE PERDA DE SOLO POR EROSÃO HÍDRICA E ESTUDO DE EMERGIA NA BACIA DO RIO CAETÉ, ALFREDO WAGNER - SANTA CATARINA**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis-SC. 2005.

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de sistemas ambientais**. São Paulo: Ed. Edgard Blücher. 1999. 236p.

DEMETRIO, V. **Confecção de figuras, quadros**, utilizando software CorelDraw 11, AutoCad-2006, Surfer-8. 2006.

DERPSCH, R.; ROTH, C. H.; SIDIRAS, N.; KÖPKE, U. **Controle da erosão no Paraná, Brasil: sistemas de cobertura do solo, plantio direto e preparo conservacionista do solo**. (Trad.) POPPER, I. Rev. da trad. Ademir Calegari. Rossdorf. 1990. 272p.

DREW, D. **Processos interativos homem-meio ambiente**. São Paulo –SP.1986.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Serviço de Produção e Informação SPI. Brasília – DF. 1999.

FAMEPAR, Aerolevantamento do Município de Maringá-PR. 1995.

FERREIRA, A. B. H. Novo dicionário da língua portuguesa. CD-ROM, 2006.

FERREIRA, C. Sistema de informação geoambiental: metodologia e concepção aplicadas. Dissertação de Mestrado. Rio de Janeiro. 1992.

FERREIRA, P. H. M. **Princípios de manejo e de conservação do solo**. São Paulo. Nobel. 1981. 135p.

GALETI, P. A. **Práticas de controle à erosão**. Campinas. Instituto Campineiro de Ensino Agrícola. 1984. 279p.

GUEDES, J. A. **Avaliação das perdas mensais de solo no alto curso da bacia do Rio Aquidauana – MS**. Dissertação de Mestrado. Curitiba – PR. 2001.

GUERRA, A. J. T. O início do processo erosivo. In: **Erosão e conservação dos solos: conceitos temas e aplicações**. GUERRA, A. J.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M. (organizadores). Bertand 1999. 340p.

HAGGETT, P. CHORLEY, R. J. **Modelos físicos e de informação em geografia**. Tradutor: Arnaldo Viriato de Medeiros. Revisores técnicos: Antonio Olívio Ceron e Antonio Christofolletti. Rio de Janeiro. 270p. 1975.

HERNANI, L. C.; SALTON, J. C.; FABRICIO, A. C.; DEDECEK, R.; ALVES JÚNIOR, M. Perdas por erosão e rendimentos de soja e de trigo em diferentes sistemas de preparo de um latossolo roxo de Dourados (MS). **Revista Brasileira Ciência do Solo**. Viçosa, 21: 1997, p. 667-676.

HENKLAIN, J. C.; FREIRE, O. Avaliação do método nomográfico para determinação da erodibilidade de latossolos do Estado do Paraná. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v. 7, n. 2, 1983. p. 191-195.

HENKLAIN, João Carlos, 1980, **Erodibilidade de Latossolos do Estado do Paraná**. Aplicabilidade do Método Nomográfico.

HORTON, R. E. Erosional development of streams and their drainage basins: hidrological approach to quantitative morphologi. **Bulletin of the Geological Society of America**, 56. 1945. p. 275- 310.

IAPAR, Instituto Agrônômico do Paraná. **Uso e manejo dos solos de baixa aptidão agrícola**. editado por Celso de Castro Filho e Osmar Muzilli. Londrina, 1999. 270p.

IDRISI ANDES, software Sig, desenvolvido pela Clark Labs, 2006.

IMAGE TERRA METRIC, Imagens de satélite no ambiente google earth. 2006.

KOBIYAMA, M. et al. Papel da comunidade e da universidade no gerenciamento de desastres naturais. In: Simpósio Brasileiro de Desastres Naturais (1: 2004:Florianópolis). **Anais...** Florianópolis: UFSC . 2004. p. 834 – 846.

LEPSCH, I. F. **Solos formação e conservação**. Ed. Melhoramentos.2ª Edição. 1977.

LOPES, P. R. C. et al. Influência da cobertura vegetal morta na redução da velocidade da enxurrada e na distribuição de tamanho dos sedimentos

transportados. **Revista Brasileira Ciência do Solo**. Campinas, 11 (1): 1987. p. 193-197.

MAACK, R. **Geografia Física do Estado do Paraná**. Curitiba. Secretaria da cultura e do esporte do governo do estado do Paraná. 1968. 350p.

MEDEIROS, C.B. & PIRES, F. Banco de dados e sistemas de informações geográficas. In: In: ASSAD, E. D. & SANO, E. E. (ed.) **Sistema de Informações geográficas: aplicações na agricultura**. 2ª edição. Brasília: Embrapa-SPI/Embrapa-CPAC, 1998. p. 31-43.

MELLO, F. A. F.; SOBRINHO, M. O. C. B.; ARZOLLA, S.; SILVEIRA, R. I.; NETTO, A. C.; KIEHL, J. C. **Fertilidade do solo**. São Paulo. Nobel. 1983. 400p.

MINEROPAR, **Minerais do Paraná S/A**. 2006. <http://www.pr.gov.br/mineropar/> acessado em janeiro de 2006.

MONTEIRO, C. A. **Clima. Geografia do Brasil-Grande região sul**. Rio de Janeiro, Vol. 4. 1968.

MORRIS, G. L.; FAN, J. Reservoir sedimentation handbook: design and management of dams, reservoirs, and watercheds for sustainable use. New York: McGraw-Hill. 1997.

NEARING, M. A.; LANE, L. J.; LOPES, V. L. Modeling soil erosion. In: **LAL, R.** (ed.) **Soil erosion research methods**. 2º ed. Soil and water conservation society. Florida:Sta Lucie Press. 1994. p. 127-156.

NOLLA, D. **Erosão do solo**. Porto Alegre. Secretaria da Agricultura, Diretoria Geral. 1982. 412p.

OLIVEIRA, M. A. T. Processos erosivos e perservação de áreas de risco de erosão por voçorocas. In: **Erosão e conservação dos solos: conceitos temas e aplicações**. GUERRA, A. J.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M. (organizadores). Bertand 1999. 340p.

PAULINO, L. A. & PELLERIN, J. **Disciplina de Geoprocessamento**, ministrada no curso de pós-graduação em geografia pela Universidade Federal de Santa Catarina. 2005.

PAULINO, L. A. Construção do mapa base para sistemas de informações geográficas. Uma proposta baseada no levantamento das necessidades de usuários de informações cartográficas sediadas em Florianópolis, SC. Dissertação de Mestrado, Programa de pós-graduação em Engenharia Civil. UFSC. 2000. 141p.

PINCHLER, E. Boçorocas. **Boletim Sociedade brasileira de Geologia**. 2 (1): 1953. p. 3-16.

PRADO, H. **Manual de classificação de solos do Brasil**. 3ª edição. Jaboticabal. 1996. 194p.

PRADO, H. Solos do Brasil: gênese, morfologia, classificação, levantamento, manejo. 3ª edição revisada e ampliada. Piracicaba. 2003. 275p.

PRIMAVESI, A. **Manejo ecológico do solo**. Livraria Nobel. S. A. 5ª Edição. 1982.

PRIMAVESI, A. O manejo ecológico do solo: agricultura em regiões tropicais. São Paulo. Nobel. 1980. 541p.

REICHARDT, K. **Processos de transferência no sistema solo-planta-atmosfera**. 3ª Edição. Piracicaba: publicação especial do Centro de Energia Nuclear na Agricultura. USP. 1975.

ROSA, R. & BRITO, J. L. S. Introdução ao Geoprocessamento: sistema de informação geográfica. Uberlândia, 1996. 104p.

ROSA, R. **Introdução ao sensoriamento remoto**. Uberlândia. Ed. Universidade Federal de Uberlândia, 1990. 136 p.

RUFINO, R. L.; BISCAIA, R.C.M.; MERTEN, G.H. Determinação do potencial erosivo da chuva do estado do Paraná através da pluviometria: terceira aproximação. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, n. 17, 1993. p. 439-444.

SALA, M. G. **Indicadores de fragilidade ambiental na bacia do ribeirão Maringá-Pr.** Dissertação de mestrado. Programa de Pós-graduação em Geografia UEM. 2005. 148p.

SALOMÃO, F. X. T. Controle e prevenção dos processos erosivos. In: GUERRA A. J. T. et al. (org.) **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações.** Rio de Janeiro. Bertrand. 1999. 340p.

SANTANA, D. P.; PEREIRA FILHO, I. A.; SANS, L. M. A.; CRUZ, J. C.; AVARENGA, R. C. Perda de solo e água e modificações de características de um latossolo vermelho escuro submetido a diferentes métodos de manejo. In: Reunião brasileira de manejo e conservação do solo e da água. Florianópolis, **Resumos.** 1994. 428p.

SARTORI, P. L. & MACIEL, F. C. Importância e significado dos derrames granófiros no vulcanismo da Bacia do Paraná, In: **Congresso Brasileiro de Geologia** . 30º Recife. 1978. 446p.

SCOPEL, I. Avaliação da erosão com auxílio de técnicas de sensoriamento e da equação universal de perdas de solo a nordeste de Cornélio Procopio (PR). Tese de Doutorado. UFPR. Curitiba – PR. 1988.

SILVA, A. M.; SCHULS, H. E.; CAMARGO, P. B. **Erosão e hidrossedimentologia em bacias hidrográficas.** São Carlos. Rima. 2004. 140p.

SILVA, M. L. N.; CURI, N.; OLIVEIRA, M. S. D.; FERREIRA, M. M.; LOMBARDI NETO, F. Comparação entre dois métodos direto e indiretos para determinação da erodibilidade em latossolos sob cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 29, n. 11, 1994. p. 1751-1761.

SILVA, M. L. N.; FREITAS, P. L.; BLANCANEUX, P.; CURI, N. Índice de erosividade de chuva da região de Goiânia (GO). In: Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água, 11º, Águas de Lindóia, 1996. Águas de Lindóia, **Sociedade Brasileira Ciência do Solo.** 1996.

SILVA, R. F. et al. **Peculiarities of “in situ”behavior of tropical soils:** Erosion. Committee on Tropical Soils of the ISSMFE, Progress Report. 1985.

SUGUIO, K. **Dicionário de geologia sedimentar e áreas afins**. Rio de Janeiro. Bertrand. 1998. 1222p.

TAVARES, P. E. M. & FAGUNDES, P. M. **Fotogrametria**. 1989. 376 p.

TEIXEIRA, A.L.A.; MORETTI, E.; CHRISTOFOLETTI, A. **Introdução aos sistemas de informações geográficas**. Rio Claro, edição do autor, 1992. 80p.

TOMLINSON, R. F. Introduction to symposium edition. In: **Geographical data handling**, 1972, Ottawa. Proceedings...Ottawa: IGU/UNESCO, 1972. V.1, p. 1-34.

TUCCI, C. E. M. **Modelos hidrológicos**. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS/Associação Brasileira de Recursos Hídricos. 1998.

VEIGA, M.; BASSI, L.; ROSSO, A. Degradação do solo e da água. In: **SANTA CATARINA. Secretaria de Estado da Agricultura e Abastecimento**. Manual de uso, manejo e conservação do solo e da água: Projeto de recuperação, conservação e manejo dos recursos naturais em microbacias hidrográficas. 2ª edição. Florianópolis. EPAGRI, 1994. 384p.

VIEIRA, L. S. **Manual da ciência do solo**. São Paulo. Ed. Agronômica Ceres. 1975.

WHEATER, H. S.; JAKEMAN, A. J.; BEVEN, K. J. Progress and directions in rainfallrunoff modeling. In: JAKEMAN, A. J.; BECK, M. B.; McALEER, M. J. (eds.) **Modelling change in environmental systems**. England: John Wiley and Sons. 1993. p. 101-132.

WISCHMEIER, W. H. & SMITH, D. D. **Predicting reinfall erosion losses – a guide to conservation planning**. U. S. Department of Agriculture, Washington. 1978.

WISCHMEIER, W. H. Use and misuse of the universal soil loss equation. In: **Soil erosion: prediction and control**. Proceedings of a National Conference on Soil Erosion. Purdue University, Indiana, EUA. 1976.

WISCHMEIER, W. H.; JOHNSON, C. B.; CROSS, B. V. A soil erodibility nomograph for farmland and construction sites. In: **Journal Soil and Water Cons.**, 26. Ames. 1971. p.189-193.