

A SISTEMATIZAÇÃO DOS FATORES DA EUPS EM SIG PARA QUANTIFICAÇÃO DA EROÇÃO LAMINAR NA BACIA DO RIO JIRAU

Usle systematization of the factors in gis to the quantification the of laminate erosion in the jirau river watershed

Julio Caetano Tomazoni^{1,2}
Elisete Guimarães^{1,2}

¹ UTFPR – Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus de Pato Branco

² UFPR – Universidade Federal do Paraná – Departamento de Química

Via do Conhecimento, km 01; Pato Branco – PR; CEP 85503-390; Fone: 046 2202601 ou 046 99756312; E MAIL tomazoni@pb.cefetpr.br.

RESUMO

Este artigo tem a finalidade de demonstrar a sistematização da EUPS – Equação Universal de Perdas de Solo, em SIG (Sistema de Informação Geográfica) para quantificar as perdas de solos por erosão laminar na bacia do rio Jirau, localizada no município de Dois Vizinhos, no Sudoeste do Paraná. Portanto, o trabalho contribui para implementação e o desenvolvimento de metodologias automatizadas para a caracterização, a quantificação e o controle do processo erosivo laminar.

Palavras-chaves: Erosão laminar, Bacia hidrográfica, Morfodinâmica, Sistema de Informação Geográfica.

ABSTRACT

The present paper demonstrates the use of USLE (Universal Equation of Soil Losses) in GIS (Geographic Information System) as a tool for the quantification of soil losses by laminate erosion. The study area is the Jirau River watershed, which is located in the district of Dois Vizinhos, Southwestern Parana. Our results present a contribution to the development and implementation of automated methodologies focused on the characterization, quantification, and control of the laminate erosion process.

Key-words: Laminate erosion, Watersheds, Morphodynamic, Geographic Information System.

1. INTRODUÇÃO

A erosão laminar é um dos tipos de erosão mais importantes, porém dificilmente perceptível. O início desse fenômeno ocorre quando as gotas de chuva, ao se precipitarem sobre o solo, rompem seus grânulos e torrões transformando-os em pequenas partículas e diminuindo a capacidade de infiltração do terreno (RESENDE & ALMEIDA, 1985). O impacto das gotas sobre o solo abre pequenas crateras e partículas são desprendidas e lançadas a 1,0 m de altura e 1,5 m de raio de distância. BERTONI & LOMBARDI NETO (1990) comentam, que pesquisadores têm constatado que uma única chuva provoca o desprendimento de mais de 200 toneladas de partículas de solo por ha.

Na região Sudoeste do Estado do Paraná, na área agrícola, os problemas ambientais relevantes estão

concentrados na degradação do solo e na erradicação da cobertura vegetal natural. Tais problemas são provocados principalmente pelo mau uso agrícola que acelera a erosão hídrica nas bacias hidrográficas e poluem os rios com material particulado, adubos e pesticidas.

Com uma visão ampla, isto é, com o aproveitamento integrado dos recursos naturais solo, água, flora e fauna, dentro do sistema bacia hidrográfica, desenvolveu-se a sistematização da EUPS - Equação Universal de Perdas de Solos, no SIG SPRING - Sistema de Processamento de Informações Georeferenciadas, com a finalidade de quantificar a erosão laminar na microbacia hidrográfica do rio Jirau (bacia de captação da SANEPAR - Companhia de Saneamento do Paraná). Pela classificação de STRALHER (1992), essa pequena bacia hidrográfica

abrange, no máximo, curso de água de 5ª ordem.

2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDOS

A bacia do rio Jirau, com área efetiva de 2.472,53 ha, está localizada no município de Dois Vizinhos, no Sudoeste do Estado do Paraná, conforme consta na Fig. 1.

A geologia da bacia do rio Jirau, de acordo com MAPA HIDROGEOLOGICO DA AMÉRICA DO SUL elaborado por UNESCO & CPRM (1996) e PICCIRILO & MELFI (1988), assim se caracteriza: JKβsg – Rochas basálticas do Grupo São Bento, Formação Serra Geral. As rochas são do tipo basalto toleíticos, com intercalações de arenito, ou são vulcânicas ácidas, ambas intercaladas por diques e sills de diabásio ou dolerito.

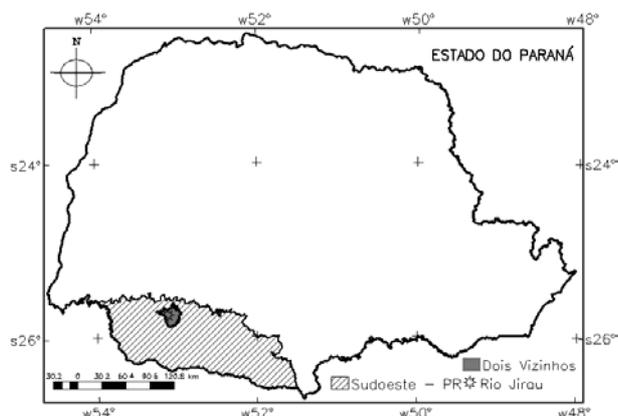


Fig. 1 - Localização da bacia, no Sudoeste do Paraná.

Na bacia ocorrem as seguintes classes de solos: LVd - LATOSSOLO VERMELHO Distrófico, LVe - LATOSSOLO VERMELHO Eutrófico, NVe - NITOSSOLO VERMELHO Eutrófico, MXf - CHERNOSSOLO HÁPLICO Férrico, CXE CAMBISSOLO HÁPLICO Eutrófico e RLe - NEOSSOLO LITÓLICO Eutrófico.

O clima predominante na bacia é o Cfa - Clima mesotérmico superúmido, com média do mês mais quente superior a 22°C e do mês mais frio inferior a 18°C, sem estação seca, com verão quente e geadas menos frequentes. Distribui-se pelas terras mais baixas do Sudoeste, em altitude geralmente inferior a 850 e 900m (IAPAR, 1994).

Pode-se dizer que a bacia do rio Jirau apresenta uma característica de relevo de suave ondulado a ondulado. A forma de vertente predominante na bacia é a côncavo-convexa, se apresentando de forma medianamente alongada.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste trabalho, quantificou-se apenas a erosão laminar, usando a Equação Universal de Perdas de Solo - EUPS, através da sistematização completa de cálculos no software SPRING. Cada fator da EUPS teve um tratamento específico e o desenvolvimento de programa

legal (linguagem de programação espacial para geoprocessamento algébrico) que possibilitasse a sua quantificação.

Em meados do século XX, pesquisadores americanos conseguiram aprimorar equações para cálculo de perdas de solos que são usadas atualmente. O método mais usado, a EUPS, foi proposta por WISCHMEIER & SMITH (1965), apud BERTONI & LOMBARDI NETO (1990).

A equação é assim expressa:

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

Onde: **A**= perda média anual de solo em tonelada por ha; **R**= erosividade das chuvas; **K**= erodibilidade do solo; **LS**= fator declividade e comprimento de rampa; **C**= forma de uso e manejo; **P**= práticas conservacionistas usadas.

Os fatores **RKLS** dependem das características naturais, enquanto que o **C** e o **P** estão relacionados com as formas de ocupação e uso da terra. Portanto, as mudanças na forma de atuação dos primeiros dependem de alterações ambientais como mudanças climáticas ou erosões importantes que possam alterar a topografia, por exemplo; porém o **CP** pode ser alterado por ações de uso dos solos e de conservação (SÃO PAULO, 1989).

Metodologia Usada para Determinar o

Fator R - Erosividade da chuva - Para quantificar esse fator, inicialmente as isolinhas de precipitação média anual foram extraídas do Atlas de Recursos Hídricos do Estado do Paraná, 1:2.000.000, elaborado pela SUDERHSA (1998). Paralelamente as isoietas de todo o Sudoeste do Paraná foram vetorizadas em ambiente AutoCAD, devidamente cotadas e salvas como DXF AutoCAD12. No ambiente SPRING, no banco de dados da bacia do rio Jirau (Fig. 2), foi criada a categoria Clima-MNT (Modelo Numérico do Terreno) e importaram-se os dados vetoriais (isoietas) como amostras para o PI (Plano de Informação) Precipitação. A partir desses dados, foi gerada uma grade triangular (TIN). Essa grade triangular consiste em uma estrutura poliédrica cujos elementos básicos são triângulos. Os vértices dos triângulos pertencem ao conjunto de amostras do modelo (INPE, 2000 a).

A partir da grade triangular, construiu-se no PI Precipitação a grade retangular da precipitação média anual, com uma resolução de X(10 m) e Y(10 m). Obtida a precipitação média da bacia, para intervalos de X(10 m) e Y(10 m), foi desenvolvido exclusivamente para esse trabalho o PROGRAMA 1 (Fig. 2) em linguagem LEGAL, que calculasse o fator R da EUPS.

Essa grade regular retangular é uma estrutura matricial, que contém pontos 3D regularmente espaçados no plano X e Y. Os atributos importantes dessa grade regular são: número de linhas e colunas; resolução horizontal e vertical e retângulo envolvente (INPE 2000 b).

A rotina de cálculos sistematizada no PROGRAMA 1 (Fig. 2) foi fundamentada nas EQUAÇÕES 2 e 3, extraídas de BERTONI & LOMBARDI NETO (1990).

$$R = 67,355 \cdot \left(\frac{r^2}{P}\right)^{0,85} \cdot 12 \quad (2)$$

Onde - R - Erosividade da chuva em MJ/ha - mm/ano; r é a precipitação média mensal em milímetro; P é a precipitação média anual mm/ano; 12 (doze) meses do ano.

Metodologia Usada para Determinar o Fator K - erodibilidade do solo – Primeiro foi efetuada a caracterização do solo, com base nos trabalhos de LEMOS & SANTOS (1984), VIEIRA & VIEIRA (1983) e EMBRAPA (1999). Inicialmente efetuou-se um reconhecimento prévio de campo e, com auxílio do mapa de Levantamento e Reconhecimento dos Solos do Estado do Paraná, 1:600.000 de autoria de LARACH et al (1984 b) identificou-se, pela classificação antiga da EMBRAPA, as grandes associações de solos reinantes na bacia. Na seqüência, escanizou-se o mapa já citado e incorporou-se o arquivo raster no banco de dados do SPRING convertendo, primeiramente, o arquivo para em formato GRIB no software Impima e, em seguida, registrando definitivamente no banco de dados da bacia. Feito isso na categoria temática Solo-TE, criou-se o PI solo e digitalizou-se as associações de solos na forma de polígonos. Nessa mesma categoria temática (TE), criaram-se classes que representavam os solos e associou-se os polígonos à a que pertenciam.

Para atualizar a classificação pedológica anterior para o novo sistema da EMBRAPA (1999) em tipos específicos de solos, foi desenvolvido o PROGRAMA 2 (Fig. 2), no ambiente SPRING em Linguagem Legal, que fosse capaz de associar o sistema anterior de classificação de solos, com a declividade e converter essas informações na nova classificação da EMBRAPA (1999), gerando o PI Solo Classificado.

Antes da elaboração do programa, foram efetuadas várias incursões nas bacias, coletando amostras de solos para análises físico-químicas e observando o comportamento das toposeqüências, procedimento fundamental para definir os critérios de classificação do programa. As amostras de solos foram coletadas em pontos representativos para cada tipo de solo e restringiram-se à parte do horizonte A até 30 cm de profundidade. A análise físico-química foi realizada pelo Laboratório de Solos da UTFPR – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus de Pato Branco / IAPAR – Instituto Agrônomo do Paraná.

De posse do resultado das análises físicas e químicas dos solos da bacia e com os dados relativos à classificação de solos pela nova sistemática adotada pela EMBRAPA (1999), já devidamente incorporada ao banco de dados da bacia, previamente se identificou o Fator K de cada solo, pela fórmula (3) citada por LARIOS (2003).

$$K = (0,0061 \cdot P) + (0,0083 \cdot MO) - (0,0012 \cdot OAL) - (0,0004 \cdot AR) \quad (3)$$

Onde: K é expresso em t/ha h/ha MJ mm; P é a permeabilidade do solo em cm/h; MO é o teor de

matéria orgânica em %; OAL é o teor de óxido de alumínio em %, extraído por ácido sulfúrico; AR é o teor de partículas em %, entre 2 e 0,5 mm. Os dados de K calculados estão nas Tabela 1 e 2.

Pelo processo de ponderação, usando o PROGRAMA 3 Fig. 2, foi atribuído espacialmente os valores de K aos diferentes tipos de solos, gerando na categoria Fator K – MNT, o PI Fator K.

Metodologia Usada para Determinar o Fator Declividade e Comprimento de Rampa – LS – Para cálculos do LS utilizaram-se a equação citada por BERTONI & LOMBARDI NETO (1990).

$$LS = 0,00984 \cdot L^{0,63} \cdot S^{1,18} \quad (4)$$

L - Comprimento de rampa em m; S - declive em %.

Para determinação do LS, primeiro procedeu-se à identificação individual do L (comprimento de rampa) e do S (declividade %). Para determinação do L, criou-se a categoria Fator LS - MNT, que recebesse as informações. Criou-se o PI Divisores dentro dessa categoria e, pelo comando Editar - Vetorial do SPRING, foram traçados manualmente todos os divisores de água principais e secundários do retângulo do projeto (bacia e em torno).

Os divisores principais e secundários foram cotados como o comprimento de rampa 0 m, pois o caminho percorrido pelas águas inicia-se no divisor de água e vai até o rio. Pelo comando mosaico, copiaram-se os rios para dentro do plano de informação e foi atribuída a esses vetores a função de linhas de quebras.

Utilizando o comando MNT - Mapa de Distância, criou-se o PI Rampa na forma de grade retangular, com resolução em X(10 m) e Y(10 m). Essa grade de distância teve como ponto de partida os divisores de água (0 m) até as linhas de quebras caracterizadas pelas linhas da hidrografia.

Para geração do fator S, a partir das amostras da altimetria, na categoria Relevo - MNT, através do comando MNT - Geração de grade triangular, criou-se a grade triangular (TIN) usando os rios com linha de quebra. A partir dessa grade, e com o comando MNT - Geração de grade retangular, gerou-se uma grade altimétrica com resolução X(10 m) e Y(10 m). A partir dessa grade retangular altimétrica, usando o comando MNT - Declividade, com as opções de entrada grade, saída declividade, unidade porcentagem, gerou-se o PI Declividade, com resolução X(10 m) e Y(10 m).

As grades retangulares do comprimento de rampa e declividade foram introduzidas no PROGRAMA 4 (Fig. 2). Esse programa gerou na categoria Fator LS - MNT, na forma de grade retangular, com resolução de X(10 m) e Y(10 m), 0 PI Fator LS.

Ressalta-se que, na determinação do L, levou-se em conta a encosta natural, sem considerar a quebra da circulação da água por barreiras, como mata ou práticas conservacionistas mecânicas.

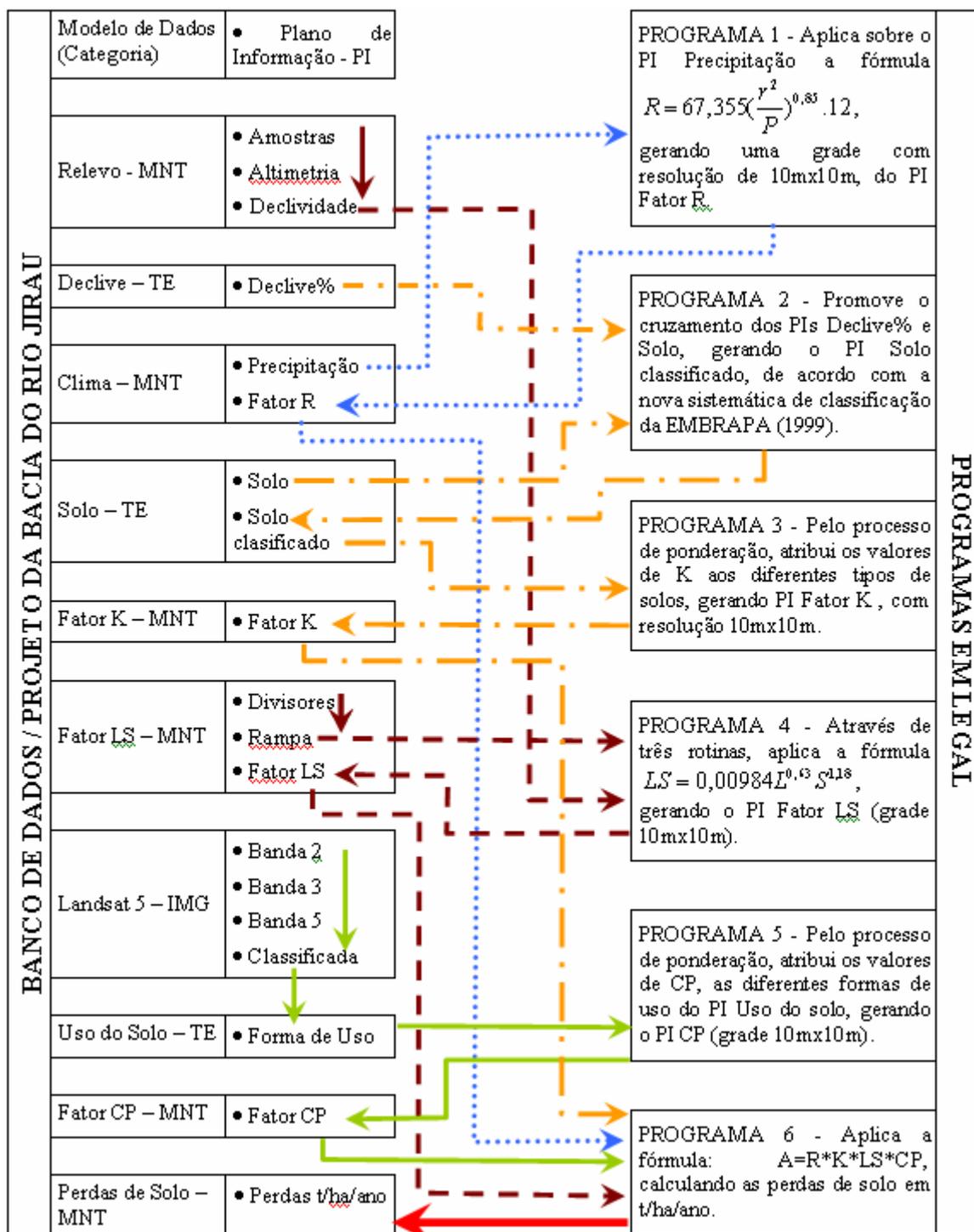


Fig. 2 - Fluxograma com a estrutura do banco de dados da bacia do rio Jirau e programas em legal, desenvolvidos para sistematização da USLE, para calcular as perdas de solo por erosão laminar.

Metodologia Usada para Determinar a Forma de Uso e Manejo e as Práticas Conservacionistas - CP - O primeiro passo foi incorporar as imagens do Landsat 5 ao banco de dados da bacia. Inicialmente, através do software IPIMA, converteu-se as imagens que estavam em formato TIF, sem geo-referenciamento, para o formato do SPRING (GRIB).

As imagens em formato GRIB foram geo-

referenciadas utilizando o comando Arquivo - Registro do SPRING. Dessa forma transferiram-se para as imagens, via teclado, as coordenadas de pontos conhecidos do banco de dados vetorial.

Em seguida criou-se, no banco de dados das respectivas bacias, uma categoria de imagem (Landsat 5 - IMG), que recebesse os arquivos raster devidamente geo-referenciados. Utilizando o comando Arquivo - Importar arquivos GRIB, importou-se as imagens das

bandas 2, 3, 4 e 5 do Landsat 5, sensor TM. No processo de importação, usou-se o interpolador bilinear.

Concluída a importação das imagens georeferenciadas, ocorreu o completo remapeamento dos pixels, passando de um sistema de linhas e colunas para o novo sistema de coordenadas cartográficas.

Com o comando Imagem, e a combinação das três bandas sendo exibida na tela, efetuou-se o ajuste de contrastes em cada canal. Através do comando Imagem - Classificação criou-se um arquivo de contexto que recebesse as informações para classificação das três bandas. Depois, com a opção Treinamento, adquiriu-se, no mínimo, 4 amostras representativas para cada forma de uso da bacia.

As formas de uso que foram selecionadas para identificação e delimitação cartográfica foram: vegetação primária (VP), vegetação secundária em estágio avançado (VSEA), vegetação secundária em estágio médio (VSEM), vegetação secundária em estágio inicial (VSEI), lavoura, solo descoberto e pastagem. Criou-se uma imagem classificada e, utilizando o classificador Maxver, nível de aceitação 100%, efetuou-se uma análise das amostras. Foram aceitas aquelas cujo desempenho médio foi igual ou superior a 70%.

Dentro dessa média, efetuou-se a classificação inicial e, em seguida, após essa classificação, usando peso 3 (o peso varia de 1 a 7) e limiar de aceitação 5 (o limiar varia de 1 a 7), realizou-se a classificação definitiva da imagem.

Com a opção Mapeamento, associou-se o tema da imagem classificada com as classes da categoria Uso do Solo - TE e as informações das formas de uso passaram a integrar, também, o PI Formas de Uso através de polígonos classificados e imagem temática.

Na forma temática, foi possível quantificar a área e o perímetro ocupado por cada forma de uso e atribuir às mesmas, através de PROGRAMA 5, cuja estrutura consta na Fig. 2, os pesos obtidos em bibliografias do fator CP, conforme Tabela 5.

Inicialmente o programa recuperou as informações temáticas do PI Formas de uso, ponderou pesos e criou uma grade com resolução de X(10 m) e Y(10 m), individualizada para C e para P. Em seguida, multiplicando as grades, gerou o PI final do CP em uma grade de resolução X(10 m) e Y(10 m), que foi usado para cálculo da erosão laminar.

Metodologia Usada para Determinar a Perda Média Anual de Solo em Tonelada por ha - Fator A - Criados os PIs na forma de grade para cada fator, finalmente foi possível, pela EUPS ($A=R.K.LS.CP$), através do PROGRAMA 6 (Fig. 2), quantificar as perdas de solo por erosão laminar, em toneladas por ha/ano. Finalizando, criou-se, em categoria numérica, um PI, na forma de grade, que contém as perdas de solo para a situação atual em ton/ha/a, em uma resolução de X(10 m) e Y(10 m).

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Fator erosividade das chuvas – R

Segundo BERTONI & LOMBARDI NETO (1990), quando outros fatores, exceto a chuva, são mantidos constantes, as perdas de solos ocasionadas pelas chuvas em solos cultivados são proporcionais ao valor do produto de sua energia cinética e intensidade máxima em 30 minutos. Esse efeito representa a interação que mede como a erosão por impacto, o salpico e a turbulência se combinam com a enxurrada para transportar as partículas de solo desprendidas (RESENDE & ALMEIDA, 1985).

Para cálculo do Fator R da bacia, utilizou-se os dados de precipitação anual do Atlas da SUDERHSA (1998). Os dados relativos à bacia do Jirau são: erosividade mínima, média e máxima são respectivamente de 7.062,14, 7.141,26 e 7.197,62 MJ/ha - mm/ano.

BIGARELLA & MAZUCHEWSKI (1985) elaboraram mapa de erosividade da chuva para o Estado do Paraná e os valores determinados para o Sudoeste do Paraná ficaram entre 7770 e 8880 MJ/ha - mm/ano, superiores ao que foi encontrado. Os valores não são iguais porque os períodos em que foram consideradas as precipitações são diferentes.

Fator erodibilidade do solo – K

A erodibilidade varia para cada tipo de solo, pois mesmo que os fatores declividade, precipitação, cobertura vegetal e práticas conservacionistas fossem iguais em solos argilosos e arenosos, os últimos, devido às suas características físicas e químicas, são mais susceptíveis à erosão.

As propriedades do solo que influenciam na erodibilidade são as que afetam a velocidade de infiltração, a permeabilidade, a capacidade de armazenamento de água e que oferecem resistência às formas de dispersão, salpico, abrasão, transporte e escoamento pelas chuvas (LARIOS, 2003).

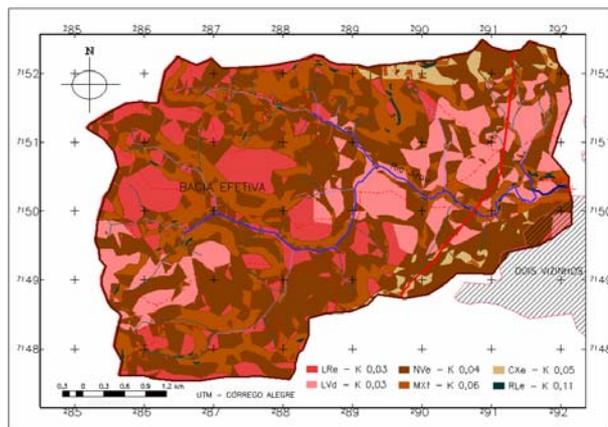


Fig. 3 - Tipo de solos e caracterização da erodibilidade (fator K) da bacia do rio Jirau

Os solos da bacia (Tabelas 1 e 2 e Fig. 3), por terem textura argilosa, apresentam em geral baixa erodibilidade. Os menos erodíveis são os Latossolos,

que são solos maduros e profundos, isto é, mais intemperizados e profundos. À medida que o grau de maturidade e profundidade vai diminuindo, o grau de erodibilidade vai aumentando. Dessa forma, na seqüência aparecem os Nitossolos, seguidos pelos Cambissolos, Chernossolos e, por último, com maior grau de erodibilidade, estão os Neossolos.

TABELA 1 – DISTRIBUIÇÃO DOS SOLOS NA BACIA DO RIO JIRAU

Solo	Fator K	Área ha	% do total
Cxe	0,05	50,84	2,06
LVd	0,03	389,44	15,75
LVe	0,03	366,98	14,84
MXf	0,06	500,28	20,23
Nve	0,04	1152,28	46,60
Rle	0,11	12,70	0,51
Total		2472,53	100,00

SILVA et al. (1999), propõem modelo para estimativa do Fator K para Latossolos brasileiros. Em seus estudos encontraram os valores de K mínimo de 0,002, médio de 0,011 e máximo de 0,034. Portanto, os dados apresentados neste trabalho (Tabelas 1 e 2 e Fig. 3) se enquadram na realidade dos solos brasileiros.

TABELA 2 - ERODIBILIDADE DOS SOLOS (FATOR K) DA BACIA DO RIO JIRAU

Fator K	Área ha	% da área
0,03	756,43	30,59
0,04	1152,28	46,60
0,05	50,84	2,06
0,06	500,28	20,23
0,11	12,7	0,51
TOTAL	2472,53	100,00

Vide, na Fig. 3, a distribuição do fator K na bacia.

Fator comprimento de rampa e grau de declive – LS

O grau de declive, ou melhor, a inclinação do terreno e o comprimento da encosta é que determinarão à velocidade de escoamento superficial, caracterizando o potencial de carregamento pela erosão em termos de tamanho e quantidade de material.

TABELA 3 - COMPRIMENTO DE RAMPA E GRAU DO DECLIVE (FATOR LS) DA BACIA DO RIO JIRAU

Classes de LS	Área ha	% da área
0 - 1,2	675,51	27,32
1,2 - 1,7	165,50	6,69
1,7 - 3,3	479,50	19,39
3,3 - 5,5	488,53	19,76
5,5 - 7,5	298,51	12,07
7,5 - 20	346,37	14,01
> - 20	18,61	0,75
Total	2472,53	100,00

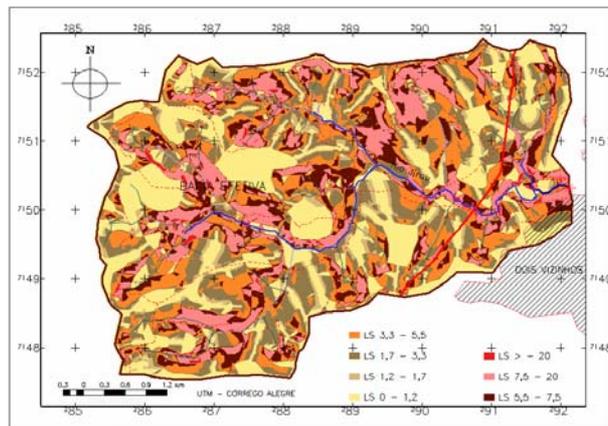


Fig. 4 - Distribuição do fator LS na bacia do rio Jirau

A Tabela 4 e a Fig. 4, evidenciam que, na bacia do rio Jirau, os valores de LS de 0 a 1,2 abrangem maior quantidade de área e em seguida estão as classes de 3,3 a 5,5 e 1,7 a 3,3. Portanto, embora a bacia não tem um relevo acentuado o fator LS exerce influência importante no processo erosivo, mas não é o principal agente causador da erosão na bacia.

Fator uso – manejo - C e Fator práticas conservacionistas – P

A cobertura vegetal é um escudo natural que protege o solo. As perdas de solo são reguladas de acordo com a capacidade de proteção, que cada cultura oferece.

TABELA 4 - USO, MANEJO E PRÁTICAS CONSERVACIONISTAS - FATOR CP DA BACIA DO RIO JIRAU

CP	Área ha	% da área
0 - 0,00012	403,92	16,34
0,00012 - 0,00028	308,06	12,46
0,00028 - 0,003	560,79	22,68
0,003 - 0,06865	1199,76	48,52
Total	2472,53	100,00

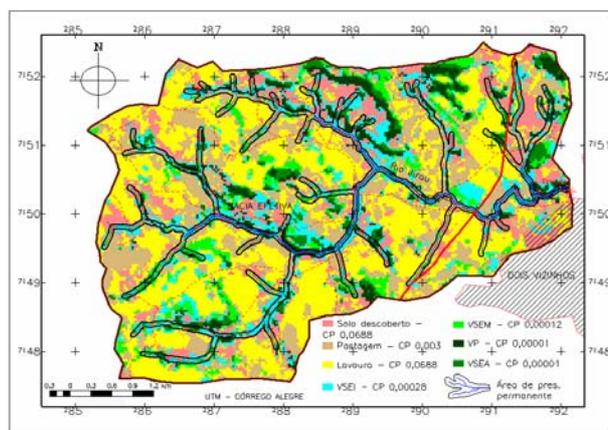


Fig. 5 – Uso do solo e fator CP na bacia do rio Jirau

Identificadas as características de cada forma de uso que ocorria na área em cada período observado, que para as lavouras foi o sistema de cultivo e as

culturas utilizadas, a partir de adaptação, com auxílio de bibliografias, determinou-se os valores de C, conforme especificado na Tabela 4.

As práticas conservacionistas são técnicas adotadas, que visam ao controle da erosão. Os índices adaptados para a área foram: lavouras mecanizadas e lavouras de tração animal e manuais com técnicas de pousio, 0,5; para as demais formas de uso (pastagens, vegetação primária e vegetação secundária em diferentes estágios de regeneração), 1,0.

Observando a Fig. 5 e a Tabela 5, pode-se concluir que o fator CP tem o seguinte comportamento -

TABELA 5 - CAPACIDADE DE USO E PRÁTICAS CONSERVACIONISTAS

Fator C – Uso		Fator P - Práticas conservacionistas							
Uso	C	(h)	(g)	(f)	(e)	(d)	(c)	(b)	(a)
		1	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	0,04	0,01
VP	0,001	---	---	---	---	---	---	---	10 ⁻⁵
VSEA	0,001	---	---	---	---	---	---	---	10 ⁻⁵
VSEM	0,003	---	---	---	---	---	---	10 ^{-3,92}	---
RF	0,003	---	---	---	---	---	---	10 ^{-3,92}	---
VSEI	0,003	---	---	---	---	---	---	10 ^{-3,69}	---
EM	0,01	10 ⁻²	10 ^{-2,3}	10 ^{-2,39}	10 ^{-2,52}	10 ^{-2,69}	10 ⁻³	---	---
P	0,01	10 ⁻²	10 ^{-2,3}	---	10 ^{-2,52}	10 ^{-2,69}	10 ⁻³	---	---
L	0,1376	10 ^{-0,861}	10 ^{-1,162}	10 ^{-1,259}	10 ^{-1,385}	10 ^{-1,56}	10 ^{-1,861}	---	---
F	0,01	10 ⁻²	10 ^{-2,3}	10 ^{-2,39}	10 ^{-2,52}	10 ^{-2,69}	10 ⁻³	---	---
CP=CxP		CP	CP	CP	CP	CP	CP	CP	CP

Legenda do Fator – C: Vegetação primária - VP; Vegetação secundária em estágio avançado - VSEA; Vegetação secundária em estágio médio - VSEM; Reflorestamento - RF; Vegetação secundária em estágio inicial - VSEI; Erva-mate - EM; Pastagem - P; Lavouras - L; Fruticultura - F
Legenda do Fator – P: (a) - Cobertura florestal de médio a grande porte com sub-bosque e serapilheira, (b) - cobertura vegetal natural de porte médio a baixo e reflorestamento, ambos com serapilheira; (c) - Muros de pedra desnivelados 80 cm, aradura e cultivo a enxada em contorno, adubação equilibrada; (d) - Faixas antierosão (2-4m largura); (e) - Cordões de vegetação permanente; (f) - Alternância de capina + plantio em contorno; (g) - plantio em contorno, protegido por terraceamento; (h) - Plantio morro a baixo.

Adaptado de BERTONI & LOMBARDI NETO (1990) e RESENDE e ALMEIDA (1985).

Perdas de solo – A

Identificados e calculados todos os fatores da área, é possível quantificar o Fator A - perdas de solo por erosão laminar em toneladas por hectare por ano, aplicando a EUPS $A=(R.K.LS.CP)$. Na Tabela 6 estão delineadas as áreas abrangidas em cada classe de perdas de solos e na Fig. 6 está a espacialização dessas perdas.

TABELA 6 - PERDAS DE SOLO POR EROSÃO LAMINAR NA BACIA DO RIO JIRAU

Perdas de solo ton/ha/a	Área ha	% da área
0 - 2,5	1118,60	45,24
2,5 - 5	207,84	8,41
5 - 10	141,04	5,70
10 - 15	90,08	3,64
15 - 20	70,24	2,84
20 - 50	254,10	10,28
50 - 100	275,83	11,16
> - 100	314,80	12,73
Total	2472,53	100,00

Confrontando os dados da Tabela 6 com aqueles obtidos por BISCAIA & OSAKI (1994) apud JICA (1995), verifica-se que esses autores, ao estudarem as perdas de solos no Estado do Paraná,

As formas de uso com cobertura arbórea (mata primária e vegetação secundária em estágio avançado e médio), cujos CPs estão entre 0,00001 e 0,00012, oferecendo ótima proteção ao solo, abrangem 16,34% da bacia. As áreas com vegetação secundária em estágio inicial e pastagens que têm um CP intermediário de 0,00028 e 0,003, oferecendo proteção mediana aos solos, abrangem 35,14% da bacia. As áreas ocupadas com lavouras e solo descoberto (lavouras em pousio de inverno), cujo CP é 0,0688 e que, portanto, protegem pouco o solo, abrangem 48,52% da bacia.

encontram valores superiores a 80 t/ha/ano em solo descoberto e para culturas anuais os valores ficaram entre 5 e 70 t/ha/ano. Esses dados demonstram que as perdas de solos que foram encontradas na bacia do rio Jirau, sob diferentes formas de cultivo e tipos de solos, estão dentro da realidade de outros estudos já desenvolvidos nessa unidade da federação.

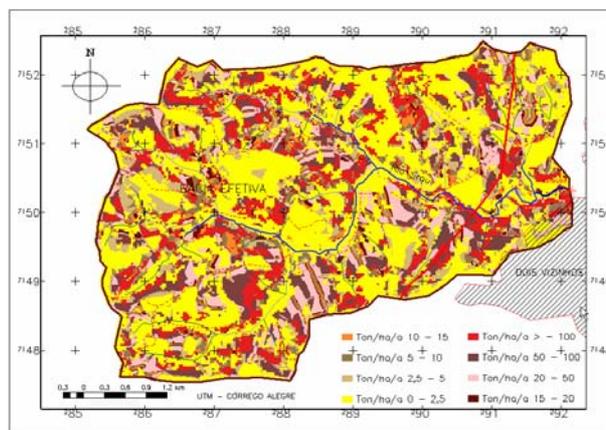


Fig. 6 - Mapa de distribuição das perdas de solo por erosão laminar na bacia do rio Jirau

Considerações gerais

Em relação à erosividade das chuvas (Fator

R), os resultados que constam na Tabela 7 demonstram que na bacia do rio Jirau os índices de precipitação anual mínimo, médio e máximo são respectivamente 1.844,45 1.868,8126 e 1.886,19mm/a. Calculado o fator R com base nesses dados encontrou-se valores mínimo, médio e máximo de 7.062,14, 7.141,26 e 7.197,62 MJ/mm/ha/ano. Esse resultado, se comparado com as médias do Estado do Paraná, é um índice de erosividade elevado, mas estão dentro da média obtida por BIGARELLA & MAZUCHEWSKI (1985) para a região onde a bacia está inserida.

Os dados de erodibilidade (Fator K) que constam nas Tabelas 1, 2 e 7 e Fig. 3, demonstram que os solos da bacia, por serem argilosos, são pouco erodíveis. Os valores de K ficaram em torno de 0,03 a 0,11. Os solos menos erodíveis, com valor de K entre 0,03 e 0,05, aparecem em maior proporção, abrangendo 79,26% da área. Os valores de K mais elevados, entre 0,06 e 0,11, abrangem 20,74% da bacia. No âmbito geral, os solos da bacia são pouco erodíveis e com certeza não é esse o fator determinante do processo erosivo.

O fator LS, que indica a contribuição do relevo (declividade e comprimento de rampa) nas perdas de solo por erosão laminar, tem participação significativa no processo erosivo da bacia. Verificando as Tabelas 3 e 7 e Fig. 4, constata-se que o comprimento de rampa e o declive médio da bacia são, respectivamente, 158,09m e 10,41%, e que o LS médio é 4,03. A bacia do rio Jirau possui 53,4% da área com fator LS inferior a 3,3 e 45,84% da área com esse fator maior que 3,3.

Na bacia predominam formas de uso que protegem pouco o solo, como lavouras e pastagens, cujos valores do Fator CP (uso – manejo e as práticas conservacionistas) são respectivamente 0,068 e 0,003. Essa classe de CP, que expõe mais o solo à erosão, abrange 48,52% da área da bacia. Vide Tabelas 5, 6 e 8 e Fig. 5.

Portanto, a combinação dos fatores R, LS e CP é que determinam o ritmo do processo erosivo, sendo que os fatores R e CP são os mais expressivos e o fator LS exerce a menor influência entre essas três determinantes da erosão laminar.

Em relação especificamente às perdas de solo

por erosão laminar, cuja média é de 40,13 t/ha/ano, deve-se observar que, na quantificação do processo erosivo, considerou-se o LS natural; portanto, o comprimento de rampa (linha em desnível do divisor de água até o rio) foi considerado na sua totalidade, mas sabe-se que é fragmentado pela presença de florestas ou por práticas conservacionistas que alteram a dinâmica da água. Esse fato superestima o LS e, conseqüentemente, as perdas de solos.

TABELA 7 – SÍNTESE DOS FATORES DA EUPS

Comprimento de Rampa (m)		Declive %	
Mínimo	0,00	Mínimo	0,00
Máximo	535,01	Máximo	129,45
Média	158,09	Média	10,41
Desvio Padrão	106,63	Desvio padrão	8,01
Coefficiente de Variação	67,45	Coefficiente de Variação	76,94
Mediana	145,00	Mediana	9,52
Fator LS		Fator K	
Mínimo	0,00	Mínimo	0,03
Máximo	103,96	Máximo	0,11
Média	4,03	Média	0,04
Desvio padrão	4,15	Desvio padrão	0,01
Coefficiente de variação	102,99	Coefficiente de variação	28,39
Mediana	2,99	Mediana	0,04
Fator - R		Fator - CP	
Mínimo	7062,14	Mínimo	0,00001
Máximo	7197,62	Máximo	0,06865
Média	7141,26	Média	0,03404
Desvio padrão	26,01	Desvio padrão	0,03362
Coefficiente de Variação	0,36	Coefficiente de Variação	98,78352
Mediana	7145,80	Mediana	0,00300
Perdas de solo em ton/ha/a			
Mínimo	0,00	Desvio padrão	84,40
Máximo	1541,70	Coefficiente de variação	210,35
Média	40,13	Mediana	3,64

TABELA 8 – TABULAÇÃO CRUZADA DE IMAGENS TEMÁTICAS DE TIPOS DE SOLOS E PERDAS NATURAIS NA BACIA DO RIO JIRAU

Solo	Intervalos de perdas em ton/ha/ano								Total em ha
	0 - 2,5	2,5 - 5	5 - 10	10 - 15	15 - 20	20 - 50	50 - 100	> - 100	
	Área em ha com essa média de perdas								
LVd	225,19	27,50	17,73	16,10	17,23	71,01	14,68	0,00	389,44
NVe	417,56	114,90	61,34	17,87	19,28	153,41	244,03	123,89	1152,28
MXf	186,84	8,94	39,58	43,14	21,85	17,32	11,95	170,68	500,28
RLe	3,75	0,10	1,50	0,03	0,02	1,29	1,76	4,27	12,70
CXe	22,89	3,63	4,77	0,06	0,03	0,10	3,40	15,97	50,84
LVe	264,53	51,93	16,40	12,32	11,57	10,24	0,00	0,00	366,98
Total	1120,76	207,00	141,32	89,52	69,97	253,36	275,81	314,80	2472,53

Analisando a Tabela 8, que traz um cruzamento entre os tipos de solos e as perdas por erosão laminar em ton/ha/a, vê-se que as perdas de solos são inversamente proporcionais às perdas toleradas para cada tipo de solo. Nos solos mais profundos e que suportam maiores remoções por erosão laminar como o LVd, o LVe e o NVe, (perdas toleráveis de 17,5 a 14,5 t/ha/ano), as perdas de solos superiores a 20ton/ha/a, que extrapolam o máximo suportado por esses solos, abrangem respectivamente 22,00%, 2,79% e 45,24% das áreas ocupadas pelos mesmos. Nos solos mais erodíveis, como o MXf, CXe e o RLe (perdas toleráveis de 8,7 a 6,1 t/ha/ano), que suportam menores remoções, as áreas enquadradas em perdas acima de 10 ton/ha/a, que já extrapolam o tolerado por esses solos, são respectivamente 52,95%, 38,47 e 58,03% das áreas que ocupam.

Todos os dados da tabulação cruzada da Tabela 8 e os dados estatísticos da Tabela 7 comprovam distorções no uso e na conservação dos solos. Fica evidenciado, portanto, que o controle dos processos morfogenéticos aqui expressos a partir da componente erosiva, na bacia, só será possível se for efetuada uma readequação das formas de uso, dentro das potencialidades naturais de cada tipo de solo.

5. CONCLUSÕES

O uso do sistema de informações geográficas SPRING na avaliação e no monitoramento ambiental em bacias hidrográficas mostrou-se de grande eficiência no que concerne à caracterização das áreas em seus aspectos físicos e na quantificação da erosão laminar. Pela sistemática da Equação Universal de Perdas de Solos – EUPS, no ambiente SPRING, foi possível não apenas quantificar isoladamente seus fatores mas também, calcular as perdas de solo por erosão laminar.

Feitas incursões de campo e analisando os mapas de classificação e erodibilidade do solo (Fig. 3), mapa do fator LS (Fig. 4), mapa do fator CP (Fig. 5) e mapa das perdas de solo (Fig. 6) com a realidade local, verificou-se que os dados obtidos correspondem aos aspectos físicos das diferentes partes da bacia e que, para a área de estudos, a combinação dos fatores R, LS e CP é que determinam o ritmo do processo erosivo.

Os dados expostos evidenciam que, para o controle do processo erosivo laminar, é necessária a readequação do uso da terra, através de uma sistematização dentro de suas potencialidades naturais. Esse procedimento pode ser realizado de duas formas básicas: a primeira delas é pela readequação do uso, adotando-se coberturas que sejam capazes de proteger adequadamente o solo; e a outra é a adoção de práticas conservacionistas mecânicas, que fragmentem o comprimento de rampa e diminuam, dessa forma, o espaço de circulação superficial da água.

Assim, esse trabalho traz uma contribuição na determinação das perdas de solo por erosão laminar,

através de uma metodologia sistematizada em SIG, que pode ser utilizada em todo o Sudoeste do Paraná e, com algumas adaptações, para o restante do Estado do Paraná e outras regiões do Brasil.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do Solo**. São Paulo -SP: Icone, 1990.

BIGARELLA, J. J.; MAZUCHEWSKI, J. Z. **Visão Integrada da problemática da Erosão**. Maringá-PR: Associação de Defesa e Educação Ambiental-ADEA e Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 1985.

EMBRAPA. CENTRO NACIONAL DE PESQUISA DE SOLOS. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 1999.

IAPAR - INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. **Cartas Climáticas Básicas do Estado do Paraná**. Londrina – PR, 1994.

INPE. **Apostila: Análise Espacial de Dados Geográficos**. São José dos Campos – SP: 2000 a.

INPE. **Apostila: Banco de Dados Geográficos**. São José dos Campos – SP: 2000 b.

JICA - JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY. **The master plan study on the utilization of water resources in Paraná state the Federative Republic of Brazil**. Tokio: JICA. V. J.: Soil and erosion Forest. 1995. Relatório Técnico.

LARACH; J. O. I. et al, **Levantamento de Reconhecimento dos Solos do Estado do Paraná, Tomos I e II**. Londrina: EMBRAPA : IAPAR, 1984 a.

LARACH; J. O. I. et al, **Mapa de Levantamento de Reconhecimento dos Solos do Estado do Paraná**. Londrina: EMBRAPA : IAPAR, 1984 b. Escala 1:600.000.

LARIOS, M. B. **Resumo Histórico de Modelagem da Erosão**. Disponível em <http://www.drenagem.uf.br/06erosão-08-modelagemRest.htm>. Acesso em 04/09/2003.

LEMOS, R. C.; SANTOS, R. D. Manual de Descrição e Coleta de Solo no Campo. Campinas SP, **SBCS-Sociedade Brasileira de Ciência do Solo e SNLCS-Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos**, 1984.

MAPA HIDROGEOLÓGICO DA AMÉRICA DO SUL: Escala: 1:5.000.000: texto explicativo /

UNESCO, Departamento Nacional de Produção Mineral. [e] Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. Brasília: CPRM, 1996.

PICCIRILO, E. M.; MELFI, A. J. **Mesozoic Flood Volcanism of the Paraná Basin**. São Paulo: Universidade de São Paulo, Instituto Astronômico e Geofísico, 1988. 600p.

RESENDE, M.; ALMEIDA, J. R. Modelos de Predição de Perdas de Solo: Uma ferramenta para Manejo e Conservação do Solo. **Inf. Agropecuário** 11(128), Belo Horizonte, (p38 – 53), agosto/1985.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria de Energia e Saneamento. Departamento de Águas e Energia Elétrica. **Controle de Erosão: bases conceituais e técnicas; diretrizes para o planejamento urbano e regional; orientação para o controle de boçorocas urbanas**. São Paulo, DAEE/IPT, 1989.

SILVA et al. Proposição de Modelos para Estimativas da Erodibilidade de Latossolos Brasileiros. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** V. 34, n. 12, Brasília, (p. 2287 a 2298) dezembro de 1999.

STRAHLER, A. N. **Geologia Física**. Barcelona: EDICIONES OMEGA, S.A. 1992.

SUDERHSA - SUPERINTENDÊNCIA DE DESENVOLVIMENTO DOS RECURSOS HÍDRICOS E SANEAMENTO AMBIENTAL. **Atlas de Recursos Hídricos do Estado do Paraná**. Curitiba, 1998.

TOMAZONI, J. C. **Morfodinâmica e Transporte Fluvial no Sudoeste do Estado do Paraná por Método de Levantamento de Microbacias Hidrográficas Através de Geoprocessamento**. Curitiba, 2003. 279 f. Tese (Doutorado em Geologia Ambiental) – Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná.

VIEIRA, L. S.; VIEIRA, M. de N. F. **Manual de Morfologia e Classificação de Solos**. 2 ed. São Paulo: Editora Agronômica Ceres Ltda., 1983.

Recebido em 28 de abril de 2005 – Aceito para publicação em 30 de dezembro de 2005.