Determinação de perdas de solo na bacia hidrográfica do córrego Ipiranga em Cidade Gaúcha, Estado do Paraná, com aplicação da Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS)

João Paulo Bueno do Prado e Maria Teresa de Nóbrega*

Departamento de Geografia, Universidade Estadual de Maringá, Av. Colombo, 5790, 87020-900, Maringá, Paraná, Brasil.
**Autor para correspondência. E-mail: mtnobrega@uol.com.br*

RESUMO. Objetivando a predição das perdas de solo por erosão laminar na bacia do córrego Ipiranga no Município de Cidade Gaúcha, Estado do Paraná, foi empregada a Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS) com o auxílio de técnicas de geoprocessamento. O ambiente SIG permitiu a completa integração entre os dados, a obtenção dos parâmetros da EUPS e o cálculo das perdas de solo anuais e sazonais, considerando-se os diferentes tipos de solos e de usos e ocupação na área. Os resultados obtidos associam as maiores perdas de solo às áreas cultivadas com cana-de-açúcar e mandioca (>20 ton.ha^{-1}.no^{-1}). A primavera é o período mais crítico para a erosão laminar enquanto que no outono são verificadas as taxas mais baixas de perdas de solo.

Palavras-chave: erosão laminar, Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS), Sistema de Informação Geográfica (SIG).

ABSTRACT. Estimates of soil losses in the Ipiranga river basin in Cidade Gaúcha, State of Paraná, with application of the Universal Soil Loss Equation (USLE). The prediction of soil loss via laminar erosion at Ipiranga river basin, situated in Cidade Gaúcha county, State of Paraná, was carried out by applying both the Universal soil Loss Equation (USLE) and the Geographic Information System (GIS). The GIS environment provided a complete integration of the data, as well as helped the authors of this paper to obtain the USLE parameters and the calculus of the annual and seasonal soil losses, considering the different types of soil, their usage and the area cover-management. The results obtained indicated a high soil loss in areas where sugar cane and manioc (>20 t.ha^{-1}.no^{-1}) are cultivated. Spring is the most critical period for laminar erosion, while autumn is the period which shows the smallest number of soil losses.

Key words: laminar erosion, Universal Soil Loss Equation (USLE), Geographic Information System (GIS).

Introdução

O solo é o recurso natural mais intensamente utilizado na produção de alimentos, podendo, por isso, ter sua capacidade produtiva comprometida pela erosão. Para Moreti *et al.* (2003), o conhecimento das relações entre os fatores que causam as perdas de solo e os que permitem reduzi-las é de fundamental importância.

De maneira geral, os processos erosivos são desencadeados pelo impacto das gotas da chuva na superfície do solo, que promove a desagregação das suas partículas e, posteriormente, a movimentação desse material, expondo-o às ações hidrodinâmicas do escoamento superficial (Galerani *et al.,* 1995; Ramos, 1995; Guerra, 1999).

Dependendo das características físicas da área – geomorfológicas, pedológicas, geológicas e climáticas – dois tipos de erosão podem se desenvolver: a erosão laminar ou a erosão linear.

Neste trabalho enfoca-se a erosão laminar, que é definida por Galerani *et al.* (1995) como o processo causado pelo escoamento difuso das águas da chuva que remove de forma progressiva e relativamente uniforme os horizontes superficiais do solo. Esse tipo de erosão é extremamente atuante em áreas de uso agrícola, onde os solos apresentam-se desnudos em determinadas épocas do ano, antecedendo ao período de plantio.

Para Alves (2000), a erosão pode ser entendida como um processo de degradação do solo devido à atuação dos fatores naturais e antrópicos e, assim, deve ter merecida atenção dos pesquisadores, tanto no que diz respeito à manutenção da produtividade agrícola como no que se refere à preservação de uma forma geral.

Castro e Valério Filho (1997) salientam que as atividades de exploração intensiva de recursos naturais são vistas como elementos de alto potencial de impacto ambiental e econômico. As formas de contornar tal tendência centram-se, de imediato, na adequação dos planos de manejo às condições previamente observadas no ambiente, em particular quanto ao grau de fragilidade ou suscetibilidade a determinadas classes de distúrbios.

Em conformidade com o discutido anteriormente, Alves (2000) enfatiza que tais atividades constituem os principais agentes deflagradores dos processos erosivos, quando a erosão normal, causada pelos fatores naturais, dá lugar à erosão acelerada, resultado da interferência antrópica.

Para estudar esse tipo de fenômeno são empregados métodos diretos, baseados na coleta do material erodido, em campos experimentais e/ou em laboratórios ou, ainda, métodos indiretos, por meio de modelagem matemática. Esses modelos podem ser associados às técnicas de geoprocessamento, as quais permitem análises espaciais do fenômeno, visando ao planejamento racional do uso e ocupação do solo e à detecção das áreas que necessitam de adoção de práticas de controle da erosão (Alves, 2000).

Dos modelos existentes, a Equação Universal de Perdas de Solo-EUPS (*Universal Soil Loss Equation-ULES*) proposta por Wischmeier e Smith (1978), quando espacializada por meio de um Sistema de Informação Geográfica (SIG), permite a análise das perdas de solo por erosão laminar, possibilitando contextualizar os resultados obtidos em função do uso e ocupação das terras (Alves, 2000).

Neste trabalho procurou-se compreender o fenômeno erosivo produzido pelo escoamento pluvial difuso na região Noroeste do Estado do Paraná, tomando como estudo de caso uma bacia hidrográfica. A predição de perdas de solo por esse tipo de erosão, na área da bacia, foi realizada através da aplicação da Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS), associada a técnicas de geoprocessamento. além da predição anual de perdas de solo, procurou-se, também, identificar os períodos do ano mais susceptíveis à ação desse fenômeno, bem como os principais fatores a ele relacionados.

Material e métodos

A bacia hidrográfica do córrego Ipiranga, selecionada para esse estudo, é de 3ª ordem, tem 29 km^2 de área e está situada no município de Cidade Gaúcha, região Noroeste do Estado do Paraná (Figura 1). O córrego Ipiranga é afluente do ribeirão Itaóca, tributário da margem esquerda do rio Ivaí.

O substrato rochoso é composto pela Formação Caiuá, constituída por arenitos eólicos com estratificação cruzada de grande porte e depósitos subaquáticos ou lacustres efêmeros, desenvolvidos entre dunas de estratificação horizontal plano-paralelas (Bigarella e Mazuchowski, 1985).

O clima da área é o Cfa, de acordo com a classificação de Köeppen (1948), com temperaturas variando entre 22ºC e 18ºC. Corresponde a um clima subtropical úmido mesotérmico, com verões quentes, geadas pouco freqüentes, tendência de concentração das chuvas nos meses de verão e sem

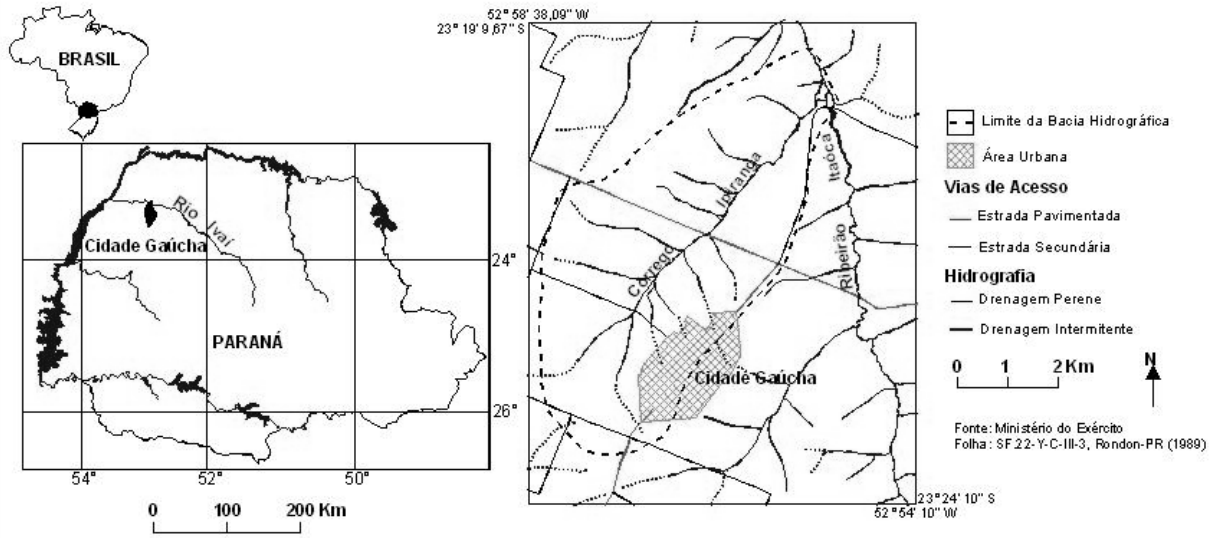

Figura 1. Localização da bacia hidrográfica do córrego Ipiranga.

estação seca definida.

O relevo é caracterizado por colinas amplas e médias, de topos planos a ligeiramente convexizados. As vertentes são em geral convexas retilíneas e medem entre 500 a 1700 metros de comprimento. A esse relevo e substrato geológico aparecem associados solos de textura média a arenosa, das seguintes classes: nas posições de topo e alta vertente o Latossolo Vermelho; na média-baixa vertente o Argissolo Vermelho e próximo aos nichos de nascentes e margens dos cursos de água o Neossolo Quartzarênico e/ou Gleissolo. Do ponto de vista granulométrico esses solos se caracterizam pela predominância da fração areia fina, que no horizonte B varia entre 60% e 85% na área. O horizonte A geralmente tende a concentrar mais essa fração, alcançando muitas vezes valores próximos a 90%, enquanto que os teores de argila raramente ultrapassam 10% nos primeiros 5 cm de profundidade (Karling, 2000; Cunha, 2002). Na área de estudo, as pastagens dominam o cenário, ocupando mais de 65% da área total, o restante é ocupada por cultivos de cana-de-açúcar e de mandioca.

Equação universal de perdas de solo (EUPS)

O modelo matemático, proposto por Wischmeier e Smith (1965, 1978), para o cálculo de perdas de solo por erosão, foi extensamente testado e comprovado com base em mais de dez milhões de medições em diferentes condições ambientais. O cálculo é obtido aplicando-se a equação:

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

Em que:

A-perda de solo em t ha^{-1} ano^{-1};

R-fator erosividade[1] da chuva em MJ mm ha^{-1} h^{-1} ano^{-1};

K-fator erodibilidade[1] do solo em t h MJ^{-1} mm^{-1};

L-fator comprimento de rampa, baseado nos valores em metros do comprimento da rampa (adimensional);

S-fator declividade, valores em porcentagem da declividade do terreno (adimensional);

C-fator uso e manejo do solo (adimensional) e

P-fator práticas conservacionistas (adimensional).

A Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS) tem por objetivo predizer a erosão em t ha^{-1} ano^{-1}, que poderá ocorrer em determinada área, visando a adoção de medidas preventivas e/ou mitigadoras para que a magnitude das perdas de solo fique situada dentro de limites toleráveis (Castro e Valério Filho, 1997; Colodro *et al.,* 2002; Moreti *et al.,* 2003).

A seguir são detalhados os fatores que compõem a EUPS, assim como os métodos utilizados neste trabalho para o cálculo dos respectivos índices.

Fator erosividade da chuva (R)

Para o cálculo da erosividade (R) adotou-se a equação proposta por Tomaselli *et al.* (1997) para a região de Presidente Prudente, Estado de São Paulo, que foi adaptada a partir do método apresentado por Lombardi Neto e Moldenhauer (1980). Essa equação é definida por:

$$EI_{30} = 111{,}6 * \left(r^2 / P\right)^{0{,}714} \qquad 2)$$

Em que:

EI$_{30}$ é a média mensal do índice de erosividade, em MJ mm ha^{-1} h^{-1};

r é a média do total mensal de precipitação em mm; e

P é a média do total anual de precipitação em mm.

Para determinação do R somam-se os resultados dos valores mensais do índice de erosividade, como a seguir:

$$R = \sum_{j=1}^{12} EI30\,j \qquad (3)$$

Como na área de estudo não existem registros pluviométricos, para o cálculo da erosividade utilizou-se os dados pluviométricos de Paranavaí/PR, cidade próxima e sujeita à mesma dinâmica climática regional.

Fator erodibilidade do solo (K)

Alguns solos são mais facilmente erodidos que outros, mesmo quando o declive, a precipitação, a cobertura vegetal e as práticas de controle de erosão são as mesmas. Essa diferença, devida às propriedades inerentes ao solo, é referida como erodibilidade do solo (Bertoni e Lombardi Neto, 1999).

O método mais empregado para calcular o K é a utilização do nomograma de Wischmeier *et al.* (1971). Neste trabalho foi utilizada a aproximação algébrica do nomograma, desenvolvida por ARS-USDA (1994), que é definida como:

$$K = \frac{\left[2{,}1\times10^{-4}(12-OM)\times M^{1{,}14} + 3{,}25\times(s-2) + 2{,}5\times(p-3)\right]}{\left[100\times7{,}59\right]} \qquad (4)$$

Em que:

K = erodibilidade do solo em t.h.MJ^{-1} mm^{-1};

[1] A unidade de medida Joule (J) é definida diretamente em termos da massa e da velocidade ao quadrado. Sendo, que de maneira geral, temos a seguinte relação: **1Joule = 1Kg m^2/s^2**.

OM = % de matéria orgânica;

M = (% de limo + % de areia muito fina)*(100 - % de argila);

% argila = 100 – [(% de limo + % de areia muito fina) + (% de areia grossa)];

s = estrutura do solo; e

p = a permeabilidade do solo.

Os dados necessários para o cálculo da erodibilidade foram extraídos dos trabalhos de Gasparetto *et al.* (1994), Karling (2000) e Cunha (2002), realizados na área de estudo.

Fator topográfico (LS)

Para facilitar a aplicação da EUPS, a maioria dos autores que trabalham com esse método, recomendam a utilização dos fatores L e S combinados, pois comprimento de rampa e declividade estão diretamente relacionados à topografia. Dessa forma, para integralização dos fatores L e S utilizou-se o método de Bertoni (1959), representado pela equação:

$$LS = 0{,}00984 * L^{0{,}63} * S^{1{,}18} \quad (5)$$

Em que:

LS: fator topográfico;

L: comprimento de rampa (m); e

S: declividade (%).

O fator L da EUPS foi gerado no ambiente SIG. Através do plano de informação que continha a rede de drenagem (formato vetorial) e utilizando a função "mapa de distâncias", foi criado um plano de informação numérico contendo os comprimentos de rampa com relação ao curso preferencial da água (rede de drenagem) para a área de estudo.

A declividade foi gerada no ambiente SPRING a partir de uma grade triangular resultante dos dados topográficos da área. As classes de declividade foram geradas seguindo os critérios adotados pela Embrapa, apresentados em Lemos e Santos (1996).

No SPRING, a partir dos planos de informações numéricos (tipo grade regular de pontos), dos fatores L e S, e utilizando a equação 05, foi obtido um terceiro plano de informação modelo numérico (tipo grade regular de pontos), com os fatores L e S integralizados.

Fator uso e manejo do solo (C)

O fator uso e manejo do solo, segundo Wischmeier e Smith (1971), diz respeito à relação esperada entre as perdas de solo de um terreno cultivado em dadas condições e as perdas correspondentes de um terreno mantido continuamente descoberto e cultivado. Fator que está diretamente relacionado às seguintes variáveis: variação da cobertura vegetal, seqüência de culturas, práticas de manejo e estágio de crescimento e desenvolvimento da cobertura vegetal durante o período das chuvas (Bertoni e Lombardi Neto, 1999). O fator C mede, portanto, o efeito combinado das relações dessas variáveis de cobertura e manejo.

O levantamento do uso do solo na área foi realizado através de fotointerpretação em fotografias aéreas, 1:25000, do ano de 1980, fazendo-se o controle em trabalho de campo realizado no início da primavera de 2004.

Para a atribuição dos índices correspondentes ao fator C recorreu-se aos valores apresentados por Pimenta (1998) e Fujihara (2002), considerando-se duas situações principais: período de máxima cobertura do solo (verão e outono) e período de mínima cobertura do solo (inverno e primavera).

Fator práticas conservacionistas (P)

O fator práticas conservacionistas da EUPS refere-se à relação entre a intensidade esperada de perdas de solo com determinada prática conservacionista e aquelas quando a cultura está plantada no sentido do declive, morro abaixo (Bertoni e Lombardi Neto, 1999).

O fator P foi determinado, também, a partir do levantamento de dados em campo, atribuindo-se valores a cada prática, dessa vez, seguindo aqueles propostos por Bertoni e Lombardi Neto (1999), apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Índices do Fator P quanto às práticas conservacionistas.

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

Fonte: Bertoni e Lombardi Neto 1999

Integralização dos fatores que compõem a EUPS e geração de cartas

Para a aplicação da EUPS com o auxílio de técnicas de geoprocessamento foi utilizado o software SPRING (Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas) versão 4.0, desenvolvido pelo INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais).

Para a integralização dos dados que compõem a EUPS foi empregada a linguagem de programação LEGAL (Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico) disponível no SPRING, sendo combinados os planos de informações no modelo numérico (do tipo grade regular de pontos) dos fatores: erodibilidade do solo (K), uso e manejo do solo (C) e topográficos (LS), juntamente com os dados de erosividade da chuva (R) calculados para a área. Para geração dos mapas de

Tabela 2. Distribuição anual e sazonal da erosividade da chuva.

Período	Precipitação média mensal de Paranavaí/PR (1976-2003)	Sazonalidade	Precipitação sazonal	Erosividade
Jan	186,9			
Fev	157,4	Verão	475,3	2509,684*
Mar	131			
Abr	102,2			
Mai	120,6	Outono	320,6	1424,941*
Jun	97,8			
Jul	68,8			
Ago	57,3	Inverno	260,1	1101,594*
Set	134			
Out	151,2			
Nov	124,6	Primavera	451,6	2331,901*
Dez	157,8			
Total	1507,6	Anual	1507,6	7368,11962**

* Em MJ.mm.ha^{-1}.h^{-1}.(período sazonal)$^{-1}$; ** Em MJ.mm.ha^{-1}.h^{-1}.ano^{-1}.

representação dos resultados da pesquisa foi utilizado o módulo SCARTA 4.0, presente no pacote do SPRING 4.0.

Resultados e discussão

Os fatores da EUPS na bacia hidrográfica do córrego Ipiranga

A erosividade da chuva foi calculada através de médias pluviométricas mensais, sazonais e anuais correspondentes a uma série de dados de 27 anos (Tabela 2). Os maiores valores de erosividade ocorrem no verão e na primavera, períodos em que as chuvas são mais freqüentes.

Para o cálculo da erodibilidade utilizou-se o mapa de solos da área apresentado na Figura 2.

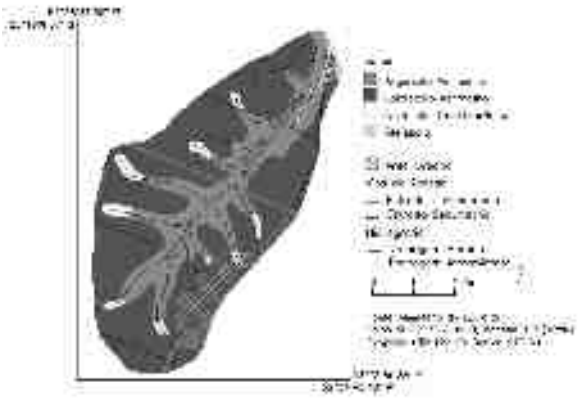

Figura 2. Tipos de solos verificados na bacia hidrográfica do córrego Ipiranga.

Fonte: Adaptação da Carta de Solos do Projeto Mapeamento Geotécnico de Cidade Gaúcha (Gasparetto *et al*., 1994).

Como se pode observar, os tipos de solos encontrados são: Latossolo Vermelho, Argissolo Vermelho, Neossolo Quartzarênico e o Gleissolo. Os Latossolos Vermelhos recobrem 70,26% da área, são solos profundos, geralmente localizados nos topos e nos segmentos de alta até média vertente e apresentam os menores valores de K (Tabela 3). Os valores mais elevados de erodibilidade estão relacionados aos Neossolos Quartzarênicos e aos Gleissolos. Valores próximos para K foram verificados por Baptista (1997), Bertoni e Lombardi Neto (1999) e Fujihara (2002), em áreas cujos solos apresentavam as mesmas características.

Tabela 3. Erodibilidade dos solos presentes na bacia hidrográfica do córrego Ipiranga.

Tipos de solo	Área ocupada*	% da área total da bacia	Erodibilidade**
Latossolo Vermelho	20,605113	70,26	0,0132
Argissolo Vermelho	7,310343	24,93	0,0232
Neossolo quartzarênico	1,012321	3,45	0,0368
Gleissolo	0,400299	1,36	0,0397
Total da bacia	29,328076	100	-

* Em Km^2; ** Em t.h.MJ^{-1}.mm^{-1}.

Na Tabela 4 são apresentados os dados da declividade (S) obtidos para a área de pesquisa.

Tabela 4. Declividade verificada na bacia hidrográfica do córrego Ipiranga.

Declividade em %	Área ocupada em Km^2	% da área da bacia
< 3	6,979700	23,74
3 – 8	12,703600	43,21
8 – 13	8,160800	27,75
13 – 20	1,292400	4,40
20 – 45	0,255500	0,87
45 – 75	0,006400	0,02
> 75	0,003800	0,01
Total	29,402200	100

Observa-se que cerca de 67% da área da bacia hidrográfica do córrego Ipiranga, geralmente nos setores de topo até a média vertente, apresenta declividades entre 0 e 8%, as declividades superiores ocorrem sempre associadas aos segmentos de média e baixa encosta.

Os usos do solo (parâmetro C) mais freqüentes na bacia hidrográfica são as plantações de mandioca, as plantações de cana-de-açúcar e as pastagens (Figura 3).

Figura 3. Uso do solo da bacia hidrográfica do córrego Ipiranga.

Para cada uso foi atribuído um valor, considerando a fase de desenvolvimento. Essas fases de desenvolvimento são responsáveis por períodos de máxima e de mínima cobertura, gerando, desta forma, cenários diferentes para o cálculo das perdas de solo.

O período de máxima cobertura do solo corresponde às fases de máximo desenvolvimento das plantas até a colheita (verão-outono). Já o período de mínima cobertura do solo corresponde às épocas em que o solo está descoberto, sendo preparado para o plantio ou com plantas em estágios iniciais, ainda pouco desenvolvidas (inverno-primavera). A Tabela 5 exemplifica a situação da área quanto ao uso do solo e os índices atribuídos aos usos, de acordo com o período. Os índices adotados seguem as propostas de Pimenta (1998) e Fujihara (2002).

Quanto às práticas conservacionistas (Fator P), as observações de campo evidenciaram o emprego do plantio em contorno, com terraços ou curvas de nível, como predominante em quase toda a bacia, o que corresponde ao valor 0,5, de acordo com Bertoni e Lombardi Neto (1999).

Perda de solo anual

Como já enfatizado, para as perdas de solo foram criados alguns cenários. Considerando as perdas anuais de solo idealizou-se duas situações, atribuindo-se diferentes valores ao fator C (uso e manejo do solo), levando em conta o período de máxima e mínima cobertura do solo (Figuras 4 e 5).

Como a maior parte da área da bacia está recoberta por pastagens, mantendo desta forma uma cobertura constante ao longo do ano, observa-se nessas simulações (Figuras 4 e 5) que as diferenças mais significativas ocorrem nas áreas com plantações de cana-de-açúcar e mandioca (Figura 3), pois somente nesses tipos de uso do solo existem variações quanto à cobertura durante o ano.

Tabela 5. Uso do solo e respectivos fatores C para os períodos de máxima e mínima cobertura.

Uso do Solo	% da área da bacia	Índice para o período de mínima cobertura	Índice para o período de máxima cobertura
Área urbana	6,76	0,005*	0,005*
Plantação de mandioca	4,53	0,55*	0,08210*
Plantação de cana-de-açúcar	17,55	0,3066*	0,05000*
Pastagem	68,86	0,01*	0,01*
Estrada pavimentada	0,02	0,01**	0,01**
Estrada não pavimentada	0,06	0,01**	0,01**
Aeroporto	0,11	0,01**	0,01**
Cursos d'água perenes	0,03	0,0**	0,0**
Cursos d'água intermitentes	0,10	0,0**	0,0**
Florestas	1,98	0,0004*	0,0004*
Total da bacia	100	-	-

* Índices baseados em Fujihara (2002); ** Índices baseados em Pimenta (1998).

Figura 4. Perda de solo anual considerando o solo com mínima cobertura e o fator R anual.

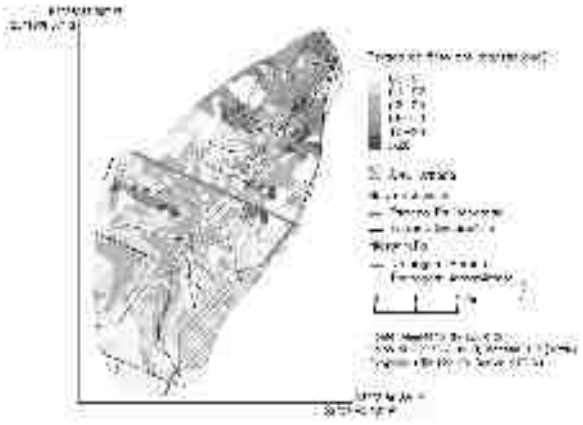

Figura 5. Perda de solo anual considerando o solo com máxima cobertura e o fator R anual.

Nas áreas com pastagens, as taxas de perdas de solo são praticamente constantes nas duas situações, sendo que a variação espacial dessas taxas reflete os outros fatores, em particular a declividade e a erodibilidade dos solos. As maiores perdas de solo sob pastagem estão associadas às áreas com declividades superiores a 8%, onde ocorrem os Argissolos e às áreas de ocorrência dos Neossolos Quartzarênicos, independentemente da declividade.

Nas áreas de cultivo, por outro lado, além da variação significativa das taxas de perdas de solo em função da cobertura vegetal (Fator C), observa-se que a variação espacial dessas também ocorre de forma distinta nas duas situações: sob condição de mínima cobertura há uma uniformidade espacial e os valores são altos sobre qualquer tipo de solo e de declividade; sob condição de máxima cobertura aparecem variações espaciais das taxas de perdas associando os valores mais baixos às áreas de Latossolos (erodibilidade baixa) e declividades <8%, e os mais altos às áreas de ocorrência dos Argissolos (declividades >8%) e Neossolos Quartzarênicos (solos com altos índices de erodibilidade).

Diante dos dados obtidos chega-se à conclusão que as perdas de solo anuais podem variar muito de acordo com os valores de C. Como esses valores variam de acordo com o período do ano e com a estação climática, decidiu-se quantificar das perdas de solo sazonalmente, considerando a situação de cobertura do solo.

Perda sazonal de solo

Para a geração dos dados de perdas de solo em cada estação do ano (primavera, verão, outono e inverno) foram cruzados os valores sazonais do R (Tabela 2), com os seus respectivos valores de cobertura do solo (máxima ou mínima) e estes integralizados com os demais fatores da EUPS. As Figuras 6, 7, 8 e 9 apresentam a variação sazonal das perdas de solos na área da bacia.

Para o período de inverno o fator C considerado foi o de mínima cobertura, pois corresponde ao período do ano em que as colheitas estão sendo realizadas, ou já o foram, deixando o solo descoberto. Coincide também, com o início da preparação do solo para o plantio.

As áreas que registram as maiores perdas de solo (Figura 6) correspondem àquelas ocupadas por plantações de cana-de-açúcar e mandioca. Essas áreas, somente no inverno, chegam a perder mais de 5 toneladas de solo por hectare. Nas áreas de pastagem as perdas verificadas são inferiores a 1 tonelada por hectare.

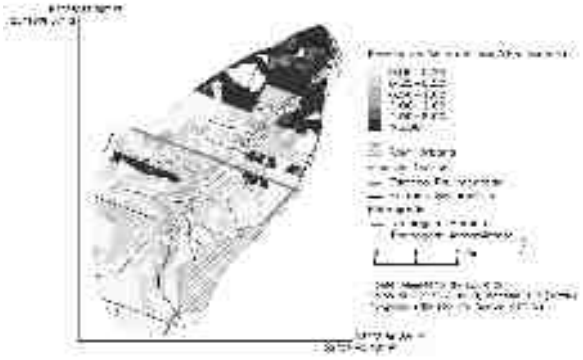

Figura 6: Perdas de solo no período de inverno.

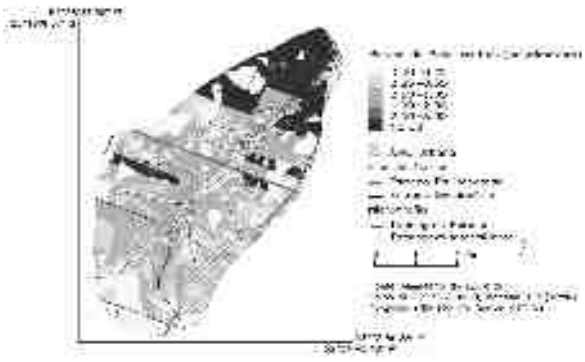

Figura 7. Perdas de solo no período de primavera.

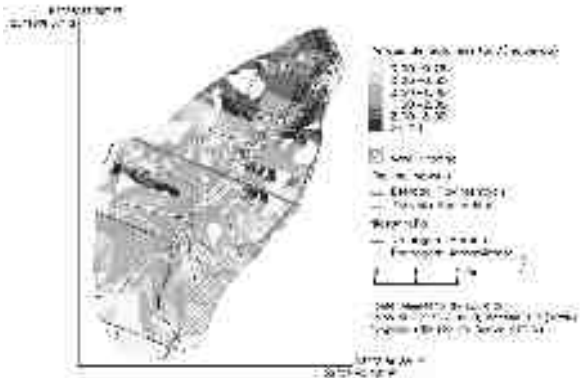

Figura 8. Perdas de solo no período de verão.

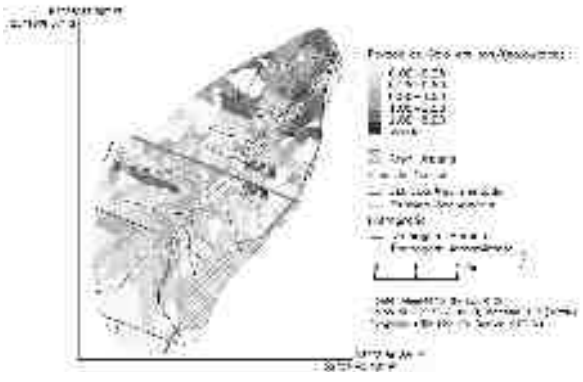

Figura 9. Perdas de solo no período de outono.

Pequenas variações dentro desse intervalo aparecem em função da ação dos fatores K e S, principalmente.Vale destacar que neste período o índice de erosividade verificado foi o menor, desta forma, a alta porcentagem das áreas com elevados valores de perdas de solo deve-se à cobertura do solo, que nesta época é praticamente nula.

Para a primavera, a situação quanto às perdas de solo é mais crítica, pois nesse período o índice pluviométrico é maior: a erosividade de 1101,594 MJ mm ha^{-1} h^{-1} $trimestre^{-1}$ no inverno passa a 2331,901 MJ mm ha^{-1} h^{-1} $trimestre^{-1}$ na primavera e a cobertura do solo, nas áreas de cultivo, ainda se apresenta em estágios iniciais de crescimento ou nula. É o período em que o solo está sendo preparado para o plantio e/ou os cultivos estão em fases iniciais de desenvolvimento. Desta forma, como ilustra a Figura 7, na primavera tem-se os mesmos níveis de perdas de solo verificados no período de inverno. Entretanto, sob pastagens, as taxas de perdas aumentam e verificam-se valores entre 1 e 2 toneladas por hectare, ocorrendo associados aos Argissolos e Neossolos Quartzarênicos.

Para o verão o fator C adotado é o de máxima cobertura do solo, pois nesse período as plantas apresentam-se bem desenvolvidas. O agravante quanto as perdas de solo deve-se à erosividade, pois as chuvas são freqüentes o que contribui para intensificar a erosão laminar (Figura 8).

Como se observa na Figura 8, as áreas com perdas de solo acima de 5 t ha^{-1} $trimestre^{-1}$ não são tão representativas quanto no inverno e na primavera. Entretanto, há uma concentração de perdas de solo nos intervalos intermediários de 0,25-5,00 $t.ha^{-1}$ $trimestre^{-1}$, que não foi verificada nos outros períodos.

A explicação para essa variação leva aos outros fatores da EUPS. A cobertura do solo é máxima no verão, o que tende a baixar o índice de perdas de solo, mas a erosividade da chuva também é máxima, o que tende a elevar o índice de perdas de solo, assim, esses dois fatores se equiparam.

O diferencial, como já foi observado anteriormente para as áreas de pastagem, fica por conta dos outros fatores: erodibilidade do solo(K), declividade (S), comprimento de rampa (L) e práticas conservacionistas (P), principalmente dos três primeiros, pois o fator P foi considerado praticamente constante devido à utilização da mesma prática conservacionista em quase toda a área (cultivo em contorno com terraços ou curvas de nível).

No outono, o solo apresenta máxima cobertura e as chuvas são menos intensas, dessa forma, tanto o fator C como o R são menos expressivos quanto às perdas de solo. Os outros fatores são mais significativos, K, L e S, principalmente. Como resultado, o outono pode ser considerado o período de menor risco quanto às perdas de solo (Figura 9).

Os dados obtidos mostraram que na bacia hidrográfica do córrego Ipiranga as áreas sujeitas às maiores perdas de solo por erosão laminar são aquelas com cultivo de cana-de-açúcar e mandioca. Nessas áreas o Fator C é o determinante para o aumento das perdas, principalmente no inverno e primavera.

As perdas de solo, no ritmo verificado nas áreas de plantações de cana-de-açúcar, são muito prejudiciais ao meio ambiente, pois além da remoção dos horizontes superficiais do solo, onerando os custos futuros de produção, os rios são assoreados causando alterações no seu comportamento hidrológico, além da sua degradação enquanto recurso e ecossistema. Em Cidade Gaúcha, essa situação é preocupante, uma vez que os cultivos de cana-de-açúcar estão em expansão devido à instalação de uma usina de álcool e açúcar no município.

O problema de perda de solo por erosão laminar em plantações de cana-de-açúcar seria pelo menos amenizado, caso as queimadas antes da colheita fossem evitadas. Estas, além de causar uma série de danos ao meio ambiente, eliminam os restos do cultivo, palhas em grande parte, que poderiam ser utilizadas para proteção do solo.

Para as plantações de mandioca a situação quanto à degradação do meio ambiente também merece atenção, tanto quanto a cana-de-açúcar. Entretanto, a mandioca não é muito cultivada na área estudada, nem no município como um todo. Esse tubérculo oferece pouca proteção à erosividade da chuva durante todo o ano, pois suas folhas e copa não chegam a cobrir 50% do solo, o que contribui para o aumento da perda da cobertura pedológica.

Na primavera a situação é pior do que no inverno, pois nesse período a erosividade da chuva aumenta e o solo ainda se apresenta descoberto ou parcialmente coberto. A intensidade das chuvas, aliada a falta de cobertura do solo, contribuem para que nesse período sejam verificadas as maiores perdas de solo.

No verão, as perdas de solo são elevadas, principalmente devido à erosividade da chuva. Entretanto, como a cobertura do solo é máxima, a erosão laminar é amenizada, tanto, que os índices verificados são inferiores aos da primavera. Nesse período, o diferencial quanto às perdas do solo, fica

por conta dos fatores erodibilidade do solo (K), comprimento de rampa (L), declividade (S) e práticas conservacionistas (P).

No outono, são verificadas as menores taxas de perdas de solo, pois nesse período a ação da erosividade da chuva é menor, devido aos baixos índices de precipitação e a cobertura do solo apresenta máximo estágio de desenvolvimento. Mais uma vez o diferencial quanto às perdas de solo recai sobre os fatores erodibilidade do solo (K), comprimento de rampa (L), declividade (S) e práticas conservacionistas (P).

Pelo que foi exposto, os períodos que se apresentam mais susceptíveis à erosão laminar são o inverno, a primavera e o verão, com grande destaque para a primavera, para a qual medidas que visem amenizar o problema devem ser desenvolvidas.

Considerações finais

De acordo com os resultados da pesquisa, a espacialização dos dados de perda de solo por ano não ofereceu uma clara leitura da realidade, pois conforme os índices empregados para o fator C, a representatividade dos resultados pode ser comprometida.

A espacialização das informações, de acordo com o período sazonal, possibilitou uma leitura mais condizente com a realidade, pois foi possível caracterizar os períodos mais críticos e identificar quais os fatores preponderantes para as perdas de solo. O ideal seria a espacialização das perdas de solo em cada mês, entretanto para que isso possa ocorrer pesquisas devem ser desenvolvidas com respeito ao fator C. Estas devendo considerar a variação dos estágios de desenvolvimentos de cada planta, assim como os estágios de preparo do solo.

Com relação às perdas de solo, pode-se afirmar que a pastagem é o tipo de uso menos prejudicial quanto à erosão laminar para a área estudada. Já as culturas da cana-de-açúcar e da mandioca mostraram-se muito vulneráveis a esse fenômeno nesse tipo de cobertura pedológica. Para essas, alternativas que visem à redução da erosão laminar devem ser desenvolvidas, pois a continuar nesse ritmo, o meio ambiente não resistirá e a produtividade do solo estará seriamente comprometida, além de sérios danos aos ecossistemas fluviais, devido ao assoreamento de rios.

Por fim, pode-se dizer que a associação de técnicas de geoprocessamento e modelos de predição de erosão hídrica - nesse caso a EUPS - possibilitam a previsão de perdas de solo, fornecendo subsídios para a seleção de práticas de controle, adoção de medidas pontuais, planejamento ambiental e priorização de ações de pesquisa.

Referências

ALVES, M. Estimativa da perda de solo por erosão laminar na bacia do rio São Bartolomeu-DF usando técnicas de geoprocessamento. 2000. Disponível em: <*http.www.dpi.inpe.Br/cursos/ser300/trabalhos/mariza.pdf*>. Acesso em: 10/05/2004.

ARS-USDA – Agricultural Research Service. Predicting Soil Erosion by Water. A guide to conservation planning with the revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). USA, 1994.

BAPTISTA, G.M.M. *Diagnóstico ambiental da perda laminar de solos por meio do geoprocessamento*. 1997. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)-Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, Brasília, 1997.

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

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. *Conservação do solo.* 4. ed. São Paulo: Ícone Editora, 1999.

BIGARELLA, J.J.; MAZUCHOWSKI, J.Z. Visão integrada da problemática da erosão. *In*: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSÃO, 3. Maringá: ADEA, 1985.

CASTRO, A.G.; VALÉRIO FILHO, M. Simulação da expectativa de perdas de solo em microbacia sob diferentes manejos florestais. *Rev. Bras. Cienc. Solo,* Campinas, v. 21, n. 1, p. 419-426, 1997.

COLODRO, G. *et al.* Erosividade da chuva: distribuição e correlação com a precipitação pluviométrica de Teodora Sampaio (SP). *Rev. Bras. Cienc. Solo,* Campinas, v. 26, n. 3, p. 809-818, 2002.

CUNHA, J.E. *Funcionamento hídrico e suscetibilidade erosiva de um sistema pedológico constituído por Latossolo e Argissolo no município de Cidade Gaúcha-PR.* 2002. Tese (Doutorado)-DG/FFLCH/Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

FUJIHARA, A.K. *Predição de erosão e capacidade de uso do solo numa microbacia do Oeste Paulista com suporte em geoprocessamento.* Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais)-Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ), Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002. Disponível em: <*http://lmq.esalq.usp.br/disserteses/albertofujihara.pdf.*>, acesso em: 24/08/2004.

GALERANI, C. *et al*. Controle da Erosão Urbana. *In*: TUCCI, C.E.M. *et al. Drenagem Urbana.* Porto Alegre: ABRH/ Editora da Universidade/ UFRGS, 1995. p. 349-387.

GASPARETTO, N.V.L. *et al.* (Coordenadores). *Mapeamento geotécnico de Cidade Gaúcha - Carta de Solos*. Maringá: UEM-DGE/SUCEAM, 1994 (Inédito).

GUERRA, A.J.T. O início do processo erosivo. *In:* GUERRA, J.T. *et al.* (Org.). *Erosão e conservação dos solos:* conceitos, temas e aplicações. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999, p. 15-55.

KARLING, G. *Estudo da morfologia e estrutura da cobertura*

pedológica em cabeceira de drenagem na área rural de Cidade Gaúcha. 2000. Dissertação (Mestrado em Geografia)- Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2000.

KÖEPPEN, W. *Climatologia con un estudio de los climas de la tierra*. México:FCE, 1948.

LEMOS, R.C.; SANTOS, R.D. *Manual de descrição e coleta de solo no campo.* 3. ed. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1996.

LOMBARDI NETO, F.; MOLDENHAUER, W.C. Erosividade da chuva: sua distribuição e relação com perdas de solo em Campinas, SP. *In*: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA SOBRE CONSERVAÇÃO DO SOLO, 3. *Anais...* Recife, 1980, p. 13.

MORETI, D. *et al*. Importantes características de chuva para a conservação do solo e da água no município de São Manuel (SP). *Rev. Bras. Cienc. Solo,.* Campinas, v. 1, n. 1, 2003. p. 713-726.

PIMENTA, M.T. Diretrizes para a aplicação da equação universal de perdas dos solos em SIG: factor de cultura C e factor de erodibilidade do solo K. [s.l.]: INAG/DSRH, 1998.

RAMOS, C.L. Erosão Urbana e Produção de Sedimentos. *In*: TUCCI, C.E.M. *et al*. (Org.) *Drenagem Urbana.* Porto Alegre: ABRH/ Editora da Universidade/UFRGS, 1995, p. 241-277.

TOMASELLI, J.T.G. *et al*. Erosividade da chuva da região oeste do estado de São Paulo: sua distribuição e relação com a precipitação. *Boletim Climatológico,* FCT/UNESP, Presidente Prudente, n. 3, p. 131-135, 1997.

WISCHMEIER, W.H. *et al*. A soil erodibility nomograpy for farmland and costrution sites. *J. Soil Wat. Conserv*., Ankeny, v. 26, 1971. p. 189-193.

WISCHMEIER, W.H.; SMITH, D.D. *Predicting rainfall erosion losses: a guide planning.* Washington, DC: USDA/ARS, 1978.

WISCHMEIER, W.H.; SMITH, D.D. *Predicting rainfall erosion losses from cropland East of rocky mountains.* Washington, DC: Handbook, 1965.

Received on February 11, 2005.
Accepted on May 12, 2005.