

UTILIZAÇÃO DA “EQUAÇÃO UNIVERSAL DE PERDA DE SOLO REVISADA” PARA ESTUDOS DE BACIAS HIDROGRÁFICAS

LOURENÇO, R. W.^{1*}; SILVA, D. C. C.²; SALES, J. C. A.³; CRESPO, G. C.⁴

RESUMO

Um dos principais problemas relacionados à manutenção das bacias hidrográficas é a erosão hídrica do solo com o consequente transporte de partículas do solo aos corpos hídricos. São diversos os métodos utilizados na determinação da perda de solo por erosão hídrica, sendo os de modelagem espacial do meio físico um dos mais importantes. O presente estudo teve como principal objetivo a aplicação de técnicas de análise espacial do meio físico utilizando ferramentas de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) como forma de obtenção de um Mapa de Perda de Solo. Para a modelagem da erosão foi utilizada a *Equação Universal de Perda de Solo Revisada* (RUSLE) na bacia hidrográfica do Ribeirão Águas Clara, SP. Os resultados mostraram um baixo potencial de perda de solo, que é consequência da junção de diferentes fatores, tais como, baixo potencial erosivo da chuva, relevo pouco íngreme e cobertura do solo consideravelmente eficaz. Os métodos aplicados demonstraram ser eficientes e de grande contribuição para estudos de Bacias Hidrográficas com vistas a planejamento e gestão das formas de manejo e conservação.

Palavra chave: Erosão, RUSLE, SIG.

USE OF THE "REVISED UNIVERSAL SOIL LOSS EQUATION" FOR STUDIES OF THE WATERSHED

ABSTRACT

One of the main issues related to the maintenance of the watershed is the hydrous erosion of the soil, that generates transport of soil particles to the hydrous bodies. There are many methods used for the determination of the soil loss in consequence of hydrous erosion, being the physical environment spatial modeling one of the most important. The main goal of the present study was the application of the spatial analysis technique of the physical environment, using the Geographic Information System (GIS) tools as a way of obtaining a Map of Soil Loss. For erosion modeling in the watershed of the Ribeirão Águas Claras, SP, the *Revised Universed Equation of Soil Loss* (RUSLE) was used. The results showed a low soil loss potential, which is consequence of the junction of three different factors, such as low erosive potential of the rain, slightly steep topography and pretty effective land cover. The methods applied have shown to be efficient and of great contribution to the study of watershed, leading also to planning and administration of the management and conservation forms.

Keywords: Erosion, RUSLE, GIS.

INTRODUÇÃO

A erosão é um processo natural que ocorre ao longo do tempo geológico modelando a superfície da Terra. Entretanto, a retirada e substituição de extensas áreas vegetadas por culturas e processo de urbanização levaram a uma maior exposição do solo aos fatores intempéricos, dentre eles a chuva e o vento. São estes os maiores desencadeadores dos processos erosivos, permitindo desse modo que grande quantidade de partículas seja desagregada e carregada pelo impacto da chuva

¹ * Professor da UNESP – CAMPUS DE SOROCABA. E-mail: robertow@sorocaba.unesp.br

² Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da UNESP – CAMPUS SOROCABA. E-mail: darllanamb@yahoo.com.br

³ Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da UNESP – CAMPUS SOROCABA. E-mail: jomilc@gmail.com

⁴ Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da UNESP – CAMPUS SOROCABA. E-mail: gabrielecrespo@yahoo.com.br

e por enxurradas e ventos (BERTONI e LOMBARDI NETO, 1999). Estas partículas desagregadas e transportadas pelo escoamento superficial depositam-se em corpos d'água, ocasionando processos de assoreamento, aumentando a possibilidade de ocorrência de cheias, além da poluição hídrica devido a elementos químicos carreados, tais como fertilizantes e pesticidas (FUGIHARA, 2002).

A busca pela compreensão sobre o processo erosivo e suas consequências fez surgir diferentes modelos matemáticos desde a década de 40. Wischmeier e Smith (1978) foram os responsáveis pela criação da “*Universal Soil Loss Equation*” (USLE), modelo que estima a perda de solo por erosão hídrica. Posteriormente, a USLE foi adaptada e assim criada a “*Revised Universal Soil Loss Equation*” (RUSLE) que é um modelo de base empírica que calcula a erosão do solo através de valores determinados por índices que representam os principais fatores, tais como chuva, solo, topografia e uso do solo (RENARD *et al.*, 1997). De acordo com Galdino e Weill (2011) as estruturas das equações da RUSLE e USLE são idênticas, o que as diferencia é a maneira como são determinados os fatores da equação.

Além dos modelos matemáticos de RUSLE e USLE, os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) também é uma importante ferramenta de quantificação e qualificação da perda de solo por erosão hídrica. De acordo com Mingoti (2009), o SIG não é apenas um sistema de apresentação e processamento de dados, trata-se de uma ferramenta capaz de realizar operações analíticas, sobreposição e cruzamento de informações, permitindo a análise e modelagem de informações espacialmente distribuídas. Estas características atribuídas ao SIG fazem do mesmo uma ferramenta importante em trabalhos como mapeamentos temáticos, análise de riscos e gerenciamento ambiental (COSTA, 2005).

Portanto, o presente trabalho teve por objetivo demonstrar a aplicação de uma metodologia utilizando técnicas de SIG e modelagem matemática para a obtenção do Mapa de Perda de Solo através da utilização da Equação Universal de Perda de Solo Revisada (RUSLE) e avaliar as diferentes perdas encontradas de acordo com os diferentes usos e ocupações do solo. Sua relevância justifica-se na medida em que auxilia no planejamento do uso, manejo e conservação do solo.

MATERIAIS E MÉTODOS

Materiais

No desenvolvimento deste trabalho foram utilizados os seguintes materiais:

- Carta Topográfica com escala 1:50.000 de Cajuru e Santa Rita do Passa Quatro, adquiridas junto ao Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), respectivamente, folhas SF-23-V-C-II-3 e SF-23-V-C-V-1;
- Programa Autodesk Map 2010 3D; Idrisi Andes;
- Imagens digitais do satélite orbital CBERS 2B CCD datadas de 02/02/2010 referentes à cena 155/124, adquiridas junto ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE);
- Mapa pedológico da UGRHI 4, adquirida no relatório nº 40.670 gerado pelo SIGRH (2008);
- Registros pluviométricos do município Santa Rosa de Viterbo, adquirido junto ao Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas a Agricultura (CEPAGRI, 2011).

Métodos

A área utilizada para a realização do estudo foi a bacia do Ribeirão Águas Claras localizada nos municípios de Santa Rosa de Viterbo e São Simão do Estado de São Paulo. Possui área de 166 km² e perímetro total de 6,27 km, estando compreendida nas coordenadas UTM-23s 240000 E; 7633000 N e 256000 E; 7609000 N.

Para avaliação e construção do mapa de perdas de solos foi utilizado a metodologia proposta por Renard *et al.* (1997), cujo cálculo da perda de solo por erosão hídrica é obtido através da

RUSLE, pois esta permite a estimativa da perda de solo média anual em diferentes condições de uso e manejo, bem como através da variação climática e variabilidade na utilização de práticas conservacionistas, de modo a determinarem áreas críticas que contribuem para maiores ou menores perdas de solos. A RUSLE é expressa pela Equação (1):

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

Sendo:

A - perda de solo por unidade de área no tempo;

R - fator erosividade da chuva;

K - fator de erodibilidade do solo;

LS - fator topográfico;

C - fator uso e manejo, isto é, a relação entre perdas de solo de um terreno cultivado em dadas condições e as perdas correspondentes de um terreno mantido continuamente descoberto;

P - fator de prática conservacionista, entendido como a relação entre a perda de solo de um terreno cultivado com determinada prática.

- Fator R – Erosividade

O Fator Erosividade (R) foi calculado a partir de registros pluviométricos obtidos através do Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas a Agricultura (CEPAGRI). Esses dados foram compilados para aplicação da fórmula proposta por Lombardi Neto e Moldenhauer (1992) de modo a determinar a erosividade da chuva (R) com base nas médias mensais do Índice de Erosão (EI), como observado na Equação (2):

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

Onde:

EI = Erosividade média mensal (ML.mm.h⁻¹.ha⁻¹);

r = Precipitação média mensal (mm);

P = Precipitação média anual (mm).

O valor do fator erosividade (R) obtido foi resultado da somatória das médias mensais do Índice de Erosão.

- Fator K – Erodibilidade

O mapa para esta variável foi gerado através da reclassificação do mapa pedológico, sendo atribuídos valores de erodibilidade diferentes para cada classe de solo presente na bacia. O mapa pedológico foi gerado através da adaptação do mapa pedológico referente à UGRHI 04, adquirida no relatório nº 40.670 gerado pelo SIGRH (2008) e a partir do mesmo obter maiores informações sobre os tipos de solos existentes na bacia. Como cada tipo de solo apresenta uma suscetibilidade maior ou menor de sofrer erosão, foram considerados os conhecimentos adquiridos em diferentes literaturas, que se mostraram capazes de auxiliar na nova classificação (FARINASSO *et al.*, 2006).

- Fator LS – Topográfico

O fator topográfico foi calculado através da equação proposta por Bertoni e Lombardi Neto (1990).

$$LS = 0,00984 \cdot L^{0,63} \cdot S^{1,18} \quad (3)$$

Onde:

LS= fator topográfico (adimensional);

L= comprimento de rampa (m);

S= declividade (%).

Para obtenção da variável S, utilizou-se o mapa de declividade, cujos dados estavam em porcentagem. O mapa de Declividade foi elaborado a partir da interpolação dos dados de elevação do terreno extraídos das curvas de nível e pontos cotados presentes na base digital da área de estudo pelo método de interpolação TIN (Triangular Irregular Networks) ou grade triangular (CÂMARA e MEDEIROS, 1998). Enquanto que, para a obtenção do comprimento de rampa (L) foi utilizado o método do retângulo equivalente (VILLELA e MATTOS, 1975), dado pela seguinte equação:

$$L = \frac{Ar}{4lc} \quad (4)$$

Onde:

L = Comprimento de rampa (m);

Ar = Área da bacia (m²);

lc = Somatório do comprimento de todas as redes de drenagem da bacia (m).

- Fator C – Uso e Manejo do Solo

Para o fator C foi realizada um levantamento bibliográfico, e baseando-se nos conhecimentos adquiridos através das diferentes literaturas, foram estimados os valores que melhor representavam as classes presente no mapa de uso e ocupação do solo. Para o mapeamento do uso e ocupação do solo, foram utilizadas as bandas espectrais numeradas de 1 a 5 do sensor CCD do satélite CBERS 2B e também a base cartográfica digital da área de estudo, contendo as curvas de nível e rede hidrográfica. Para a separação das classes de uso da terra e cobertura vegetal foi utilizado o método da classificação não supervisionada. A identificação e confirmação das classes obtidas foram confirmadas através de trabalhos de campo efetuados durante o período de 15, 16 e 17 de outubro do ano de 2010, o que possibilitou reconhecimento das características da área. As classes obtidas foram reclassificadas e agrupadas, de acordo com os respectivos uso e cobertura vegetal ao qual pertenciam, sendo que os valores atribuídos para cada categoria de uso e cobertura vegetal foram: 1 para Mata ciliar; 2 para Remanescente de vegetação; 3 para Solo em preparo para agricultura; 4 para Cana de açúcar em estágio intermediário; 5 para Cana de açúcar em estágio avançado e 6 para Hidrografia.

- Fator P – Práticas de Conservação

A geração do fator P foi resultado do tipo de uso e manejo do solo em relação à respectiva declividade na qual ocorrem.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O valor do Fator Erosividade (R) foi obtido com base nos dados pluviométricos do CEPAGRI a partir da somatória das médias mensais do Índice de Erosão (IE) obtendo-se o valor de 7531 MJ/ha.mm/ano.

O mapa para a variável Erodibilidade (Fator K) foi gerado através da reclassificação do mapa pedológico. A Tabela 1 apresenta os valores de erodibilidade adquiridos para as diferentes classificações do solo da bacia do Ribeirão Águas Claras, adaptado de FARINASSO *et al.*, (2006).

Tabela 1. Classes de solo e respectivos valores de Erodibilidade

Classes de Solo	K (t.h.MJ ⁻¹ .mm ⁻¹)
Associação de Areias Quartzosas.	0,041
Associação de Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico, e Latossolo Vermelho Escuro Álico.	0,032
Latossolo Roxo Distrófico.	0,014

Para estimar os valores do Fator C foi utilizado o Mapa de Uso e Ocupação do Solo da bacia do Ribeirão Águas Claras (Figura 1).

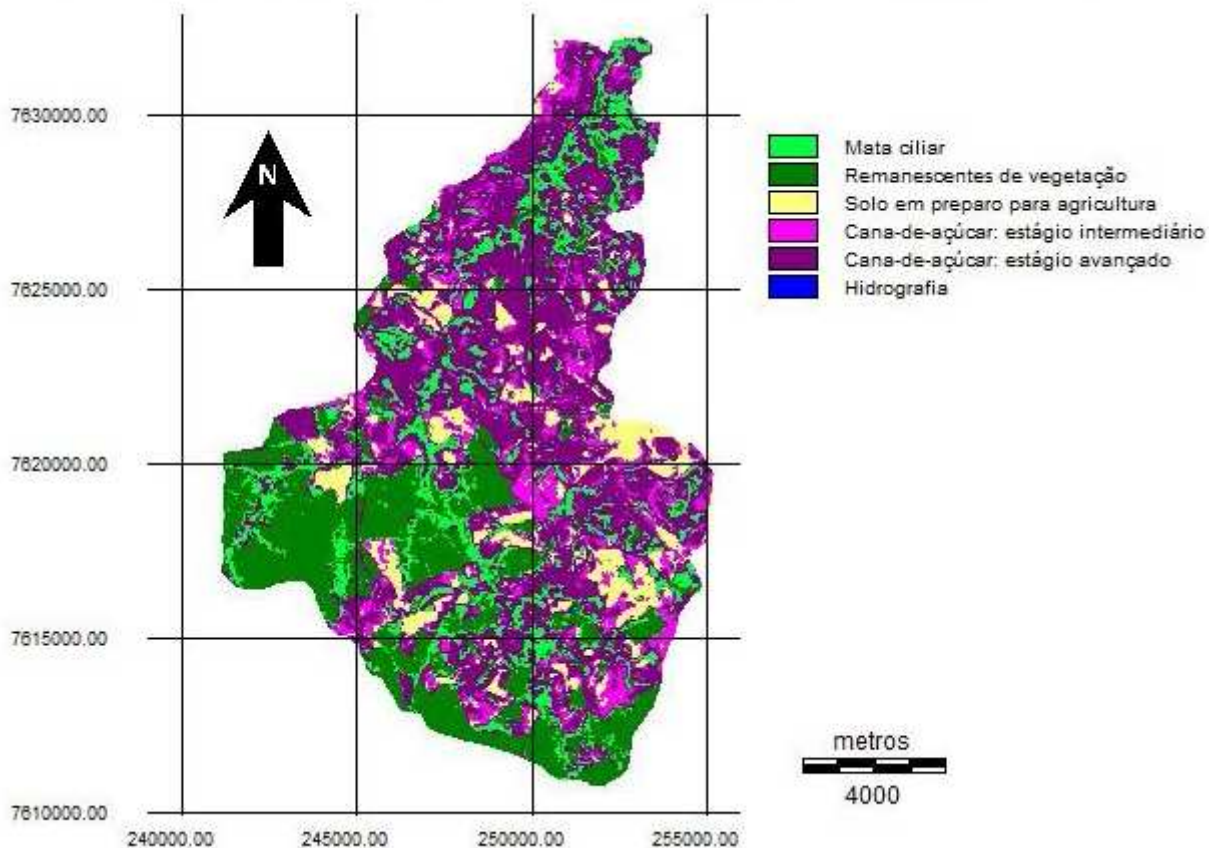


Figura 1: Mapa de Uso e Ocupação do Solo da bacia do Ribeirão Águas Claras

Em relação ao mapa de Uso e Ocupação do Solo é possível observar que na região norte da bacia em estudo há o predomínio de áreas de cultura de cana-de-açúcar, assim como parte da região sudeste. As regiões centro-oeste e extremo sul possuem áreas com remanescentes de vegetação relativamente significativos, através da Tabela 2 é possível observar as áreas existentes para cada uso em questão.

Tabela 2: Áreas quantificadas para cada tipo de uso específico na Microbacia do Ribeirão Águas Claras

Uso e Ocupação Área	Área (km²)	%
Cana-de-açúcar estágio avançado	56,83	33,68
Remanescentes de vegetação	32,91	19,50
Mata Ciliar	37,58	22,27
Cana-de-açúcar estágio intermediário	20,78	12,32
Solo em preparo para agricultura	20,61	12,22

A Bacia do Ribeirão Águas Claras insere-se na região do estado de São Paulo onde a economia é basicamente agrícola. Decorrente deste fato tem-se o predomínio de áreas agrícolas com cultivo de cana de açúcar, como observado na Figura 1 e Tabela 2.

A partir do mapa de Uso e Ocupação do Solo foram estimados os valores do Fator C que melhor representavam as classes de uso do solo (Tabela 3).

Tabela 3: Classes de uso e ocupação e respectivos valores de Fator Uso e Manejo

Classe de Uso do Solo	Fator C	Fonte
Hidrografia	0,0001	Adaptado de FARINASSO <i>et al</i> (2006)
Mata ciliar	0,012	
Vegetação remanescente	0,042	
Solo em preparo para agricultura	1	
Cana de açúcar em estágio intermediário	0,4283	Adaptado de RIBEIRO E ALVES (2007)
Cana de açúcar em estágio avançado	0,3066	

Novamente sobre o Mapa de Uso e Ocupação do Solo da bacia do Ribeirão Águas Claras e das respectivas declividades observadas sobre os usos da terra, foi obtido o valor do fator P, conforme pode ser visualizado na Tabela 4.

Tabela 4: Classes de uso e manejo predominantes e respectivos valores de Práticas de Conservação

Uso do solo Predominante	Declividade Predominante (%)	Fator P
Cana de açúcar	70	0
	35	0,15
	10	0,25
Mata ciliar	-	0,75
Vegetação remanescente	-	0,75
Demais Usos	-	1

A Figura 2 apresenta o Mapa de Perda de Solo da Bacia do Ribeirão Águas Claras.

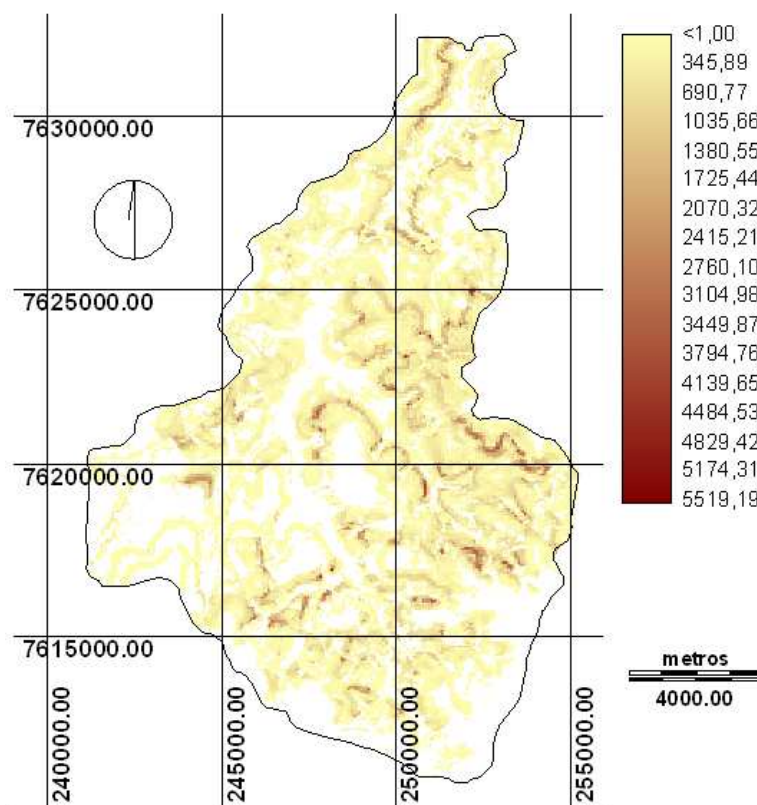


Figura 2: Mapa de Perda de Solo (t.ha⁻¹.ano⁻¹) da Bacia do Ribeirão Águas Claras

A partir do cálculo da perda de solo da bacia do Ribeirão Águas Claras em $t \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$, foi elaborado intervalos e quantificados de forma a representar a perda de solo e susceptibilidade à erosão da área de estudo (Tabela 5).

Tabela 5: Classes de Perda de solo e Susceptibilidade à Erosão da Bacia do Ribeirão Águas Claras

Perda de Solo ($t \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$)	Susceptibilidade a Erosão	Área (km^2)	%
0 – 10	Muito baixa	54,82	32,50
10 – 50	Baixa	53,42	31,66
50 – 100	Média	23,49	13,92
100 – 200	Alta	19,15	11,35
>200	Muito Alta	17,85	10,58

Fonte: Adaptado de Ribeiro e Alves, 2007.

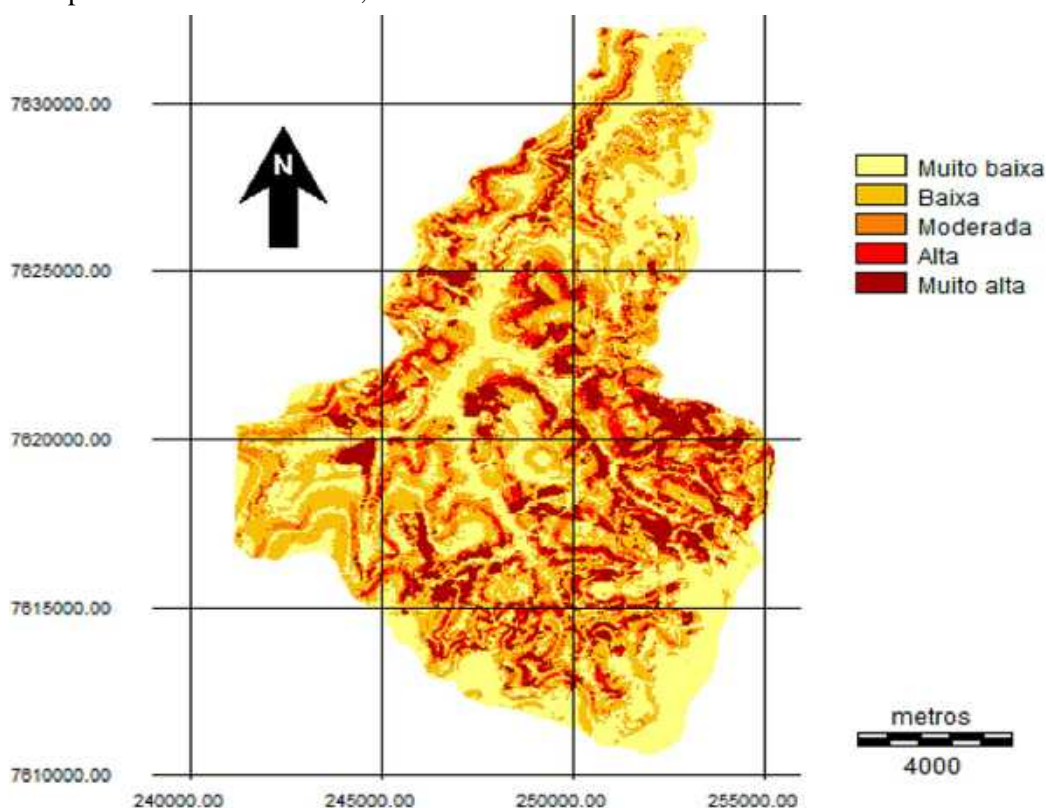


Figura 3: Mapa de Susceptibilidade à Erosão da Bacia do Ribeirão Águas Claras

Através da observação do mapa da Figura 3 e da Tabela 5 é possível afirmar que a Susceptibilidade à Erosão é predominantemente na classe muito baixa e baixa, situando-se principalmente na região norte da bacia e nas proximidades das calhas dos corpos hídricos. O extremo leste da bacia possui as maiores susceptibilidades, assim como parte da região oeste.

CONCLUSÕES

Concluiu-se que a associação do solo tipo areias quartzosas com o preparo para cultivo em declividades de 12 à 20% gera uma maior susceptibilidade à erosão nas regiões leste e parte da região oeste onde predominam essas características e que a relação entre o latossolo roxo e a presença de mata ciliar relativamente preservada contribuiu para os menores índices de perda de solo e, conseqüentemente, menor susceptibilidade à erosão. Verificou-se também a existência de áreas de cultivo em regiões de elevada susceptibilidade de perda de solo. O método utilizado

mostrou-se adequado para este tipo de estudo, pois foi de fácil aplicabilidade e entendimento, podendo ser utilizado em diferentes áreas como um subsídio no manejo do solo visando a preservação do mesmo.

REFERÊNCIAS

- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. (1999). *Conservação do solo*. Livroceres, Piracicaba – SP, 355 p.
- CÂMARA, G.; MEDEIROS, J. S. (1998). Mapas e suas representações computacionais. In: *Sistema de informações geográficas: aplicações na agricultura*. Org. por Assad, E. D. e Sano, E. E, Embrapa, Brasília, pp. 13-29.
- CENTRO DE PESQUISAS METEOROLÓGICAS E CLIMÁTICAS APLICADAS A AGRICULTURA (CEPAGRI). Disponível em: http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima_muni_532.html. Acesso em: 17 de maio de 2011.
- COSTA, A. L. C. (2005). *Estudo da vulnerabilidade à erosão com a aplicação da Equação Universal de Perda do Solo na Alta Bacia Hidrográfica do Rio Jacaré Pepira, utilizando SIG/SPRING*. Dissertação (mestrado), Universidade Estadual Paulista, IGCE, Rio Claro.
- FARINASSO, M; *et al.* (2006). Avaliação qualitativa do potencial de erosão laminar em grandes áreas por meio da EUPS – equação universal de perdas de solos utilizando novas metodologias em SIG para os cálculos dos seus fatores na região do alto Parnaíba – PI – MA. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, Ano 7, nº 2, pp. 73-85.
- FUGIHARA, A. K. (2002). *Predição de Erosão e Capacidade de Uso do Solo numa microbacia do Oeste Paulista com suporte de Geoprocessamento*. p. 118. Dissertação (Mestrado) Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba.
- GALDINO, S.; WEILL, M. A. M. Estimativa do fator topográfico (LS) da RUSLE para a bacia do alto Taquari – MS/MT, utilizando algoritmo do ângulo de inclinação limite para erosão/deposição. In *Anais do XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR*, Curitiba, Brasil. INPE, 2011, pp. 4813.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Disponível em: www.ibge.gov.br. Acesso em 22 de maio de 2011.
- LOMBARDI NETO, F.; MOLDENHAUER, W.C. (1992). Erosividade da chuva: sua distribuição e relação com perdas de solo em Campinas, SP. *Bragantia*, Campinas, 51(2) pp. 189-196
- MINGOTI, R. (2009). *Produção de sedimentos em microbacias hidrográficas em função do relevo e da cobertura florestal*. 101p. Dissertação (mestrado), Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba.
- RANIERI, S. B. L.; SPAROVEK, G.; SOUZA, M. P.; NETO, D. D. (1998). Aplicação de Índice Comparativo na Avaliação do Risco de Degradação das terras. *Revista Brasileira Ci. do Solo*, São Carlos, 22: pp.751-760.
- RENARD, K. G.; FOSTER, G. R.; WEEIES, G. A.; MCCOOL, D. K.; YODER, D. C. (1997). *Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the revised universal soil loss equation (RUSLE)*. Washington: USDA, Agriculture Handbook, (703), 404 p.
- RIBEIRO, L. S.; ALVES, M. G. (2007). Quantificação de perda de solo por erosão no município de Campos de Goytacazes/ RJ através de técnicas de Geoprocessamento. In: *Anais do XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Florianópolis. 2007, pp. 3039-3046.
- SISTEMA INTEGRADO DE GERENCIAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DE SÃO PAULO (SIGRH, 2010). Plano Pardo 2008-2011.
- VILLELA, S. M.; MATTOS, A. (1975). *Hidrologia Aplicada*. Sao Paulo, McGraw-Hill, 245p.
- WISCHMEIER, W.H.; SMITH, D.D. (1978). *Predicting rainfall erosion losses - a guide to conservation planning*. Washington, USDA, Agricultural Handbook, (537) 58p.