

## Determinação da perda de solos por erosão laminar na bacia hidrográfica do Rio São Marcos, RS

Taison Anderson Bortolin<sup>1</sup>  
Gisele Cemin<sup>1</sup>  
Vania Elisabete Schneider<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instituto de Saneamento Ambiental – Universidade de Caxias do Sul  
Caixa Postal 95070-560 – Caxias do Sul - RS, Brasil  
{tabortol, gcemin3, veschnei}@ucs.br

**Abstract.** The process of erosion has become a major problem in watersheds. As a consequence, there is generation of sediments that are contributed to the natural flow of rivers. When the existence of a dam in the river, the sediment will be deposited in the reservoir bottom decreasing its accumulation capacity. Because it is costly to monitor erosion throughout the watershed, the mathematical modeling as Equation Universal Soil Loss (USLE) is used. Within this context, this study presents the application of USLE in the basin of São Marcos River, to estimate the generation of sediment caused by erosion by laminar geospatial technologies. The use of Geographic Information Systems (GIS) combined with remote sensing data provided evidence of the factors that make up Equation Universal Soil Loss, enabling the analysis of areas susceptible to soil loss by erosion laminar. The results indicate that the São Marcos River basin has potential for low generation of sediment, with some areas where soil loss ranges from moderate to strong.

**Palavras-chave:** Universal Soil Loss Equation, GIS, conservation, erosion, Equação Universal de Perda de Solo, SIG, conservação, erosão.

### 1. Introdução

O processo de erosão hídrica agravado em função do uso e ocupação do solo tem se tornado um dos principais problemas em bacias hidrográficas tendo como consequência, a geração de sedimentos que são aportados para as calhas dos rios. Quando da existência de um barramento no curso d'água, os sedimentos serão depositados no fundo do reservatório diminuindo sua capacidade de acumulação.

Para exprimir a ação dos principais fatores que influenciam na erosão existem modelos que constituem descrições matemáticas usadas para representar processos erosivos. (Machado, 2002). Um destes modelos é a *Universal Soil Loss Equation* (USLE), criada por Wischmeier & Smith (1978). Esta equação visa prever perdas de solos médias em períodos longos e condições específicas.

A heterogeneidade e complexidade dos fatores atuantes em uma bacia hidrográfica exigem um instrumento computacional capaz de integrar as informações aplicadas no modelo. Neste sentido, a utilização de Sistemas de Informação Geográfica (SIG's) aliado ao Sensoriamento Remoto torna-se uma ferramenta importante suprindo essa necessidade computacional.

O objetivo deste trabalho é apresentar a aplicação de Equação Universal de Perda dos Solos (EUPS) na bacia hidrográfica do Rio São Marcos, visando estimar a geração de sedimentos provocados por erosão laminar através da utilização de técnicas de geoprocessamento.

### 2. Metodologia de Trabalho

#### 2.1 Localização da Área de Estudo

A bacia hidrográfica do Rio São Marcos está inserida entre os municípios de Flores da Cunha, Caxias do Sul e São Marcos, no nordeste do estado do Rio Grande do Sul, abrangendo uma área de aproximadamente 404 km<sup>2</sup>. A Figura 1 apresenta a localização geográfica da área

de estudo, em relação à bacia hidrográfica Taquari-Antas e região hidrográfica do Guaíba nas quais está inserida.

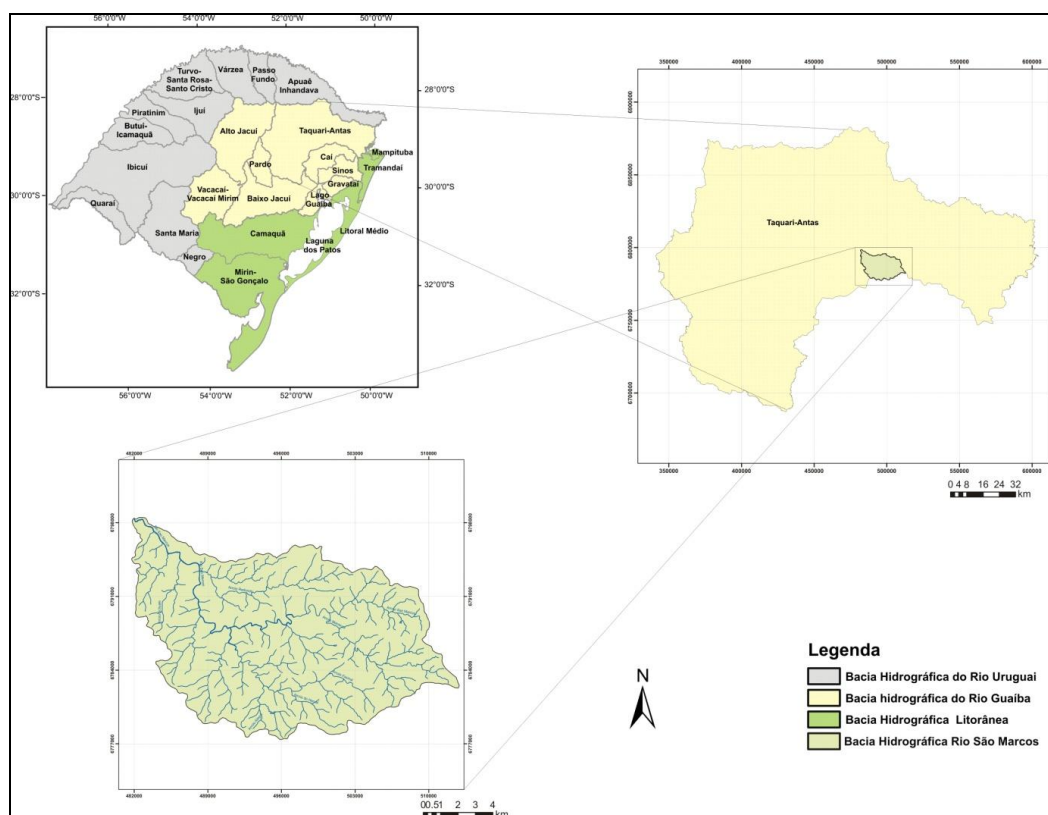


Figura 1. Localização da área de estudo

O clima da bacia hidrográfica do Rio São Marcos é classificado, segundo o método de Köppen, como Cfb, o qual apresenta chuvas distribuídas ao longo do ano, com valores que superam 100 mm mensais e 1600 mm anuais. As temperaturas médias são inferiores a 10°C nos meses de inverno e próximas a 22°C nos meses de verão.

## 2.2 Materiais e métodos

Para a realização do presente trabalho foi utilizada a imagem do satélite Landsat 5, bandas 1, 2, e 3, 4, 5 e 7, órbita-ponto 221-080 de 07/01/2009; softwares de Sistemas de Informação Geográfica Idrisi 32, curvas de nível em formato digital, na escala 1:50.000, extraídas do trabalho elaborado por Hasenack & Weber (2007) para o estado do Rio Grande do Sul; mapa de solos na escala 1:50.000 e dados de chuva da Estação Pluviométrica Seca, referente ao período de 1950 a 2000.

Para o cálculo da geração de sedimentos na bacia por erosão laminar, foi empregada a Equação Universal de Perda de Solo (*USLE-Universal Soil Loss Equation*), conforme apresentado na Equação 1.

$$A = R.K.L.S.C.P$$

(1)

Em que:

A: estimativa de perda de solo (t/ha.ano);

R: erosividade em Mj.mm/(ha.h.ano). Fator que expressa a capacidade da chuva em provocar erosão;

K: erodibilidade em t.h/(Mj.mm). Fator relativo às propriedades inerentes ao solo, tais como textura, estrutura, matéria orgânica e permeabilidade, e que reflete sua maior ou menor susceptibilidade à erosão;

L: fator relativo ao comprimento de declive da encosta (adimensional);

S: fator relativo à declividade da encosta (adimensional);

C: fator relativo ao uso e manejo. Varia de 0 para coberturas que proporcionam uma proteção total do solo a 1 para solos inteiramente expostos (adimensional);

P: fator relativo à prática conservacionista adotada (adimensional).

### 2.2.1 Fator erosividade das chuvas (R)

O Fator R expressa a capacidade da chuva, em uma dada região, de causar erosão em uma área sem proteção. O índice de erosividade da chuva pode ser estimado pela equação de Bertoni e Lombardi Neto (1999), (Equação 2):

$$EI_{\text{mensal}} = 89,823 \cdot (P_m^2 / P_a)^{0,759} \quad (2)$$

Em que:

$EI_{\text{mensal}}$ : média mensal do índice de erosão, Mj.mm/(h.ha), para o mês considerado;

$P_m$ : precipitação média mensal, mm, do mês considerado;

$P_a$ : precipitação média anual, mm.

Para a estimativa da erosividade da chuva foi utilizado os dados da Estação Pluviométrica Seca, que está localizada na área da bacia, compondo uma série histórica 50 anos de observações.

### 2.2.2 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 que é devida as propriedades inerentes ao solo, é referida como erodibilidade do solo (Bertoni e Lombardi Neto, 1999). O fator K é expresso pela Equação 3:

$$K = (2,1 \cdot 10^{-4} \cdot M^{1,14} \cdot (12 - ka) + 3,25(kb - 2) + 2,5(kc - 3)) \cdot 0,001317 \quad (3)$$

Em que:

K: erodibilidade do solo em (t/ha)/(Mj/ha).(mm/h));

M: (% de silte + areia muito fina). (100 - % argila);

ka: % de matéria orgânica;

kb: coeficiente relativo a estrutura do solo (b=1 para estrutura granular muito fina; b=2 para estrutura granular fina; b=3 para estrutura granular média ou grossa; b=4 para estrutura em blocos, laminar ou massiva);

kc: classe de permeabilidade (c=1 para permeabilidade rápida; c=2 para permeabilidade moderada a rápida; c=3 para permeabilidade moderada; c=4 para permeabilidade lenta a moderada; c=5 para permeabilidade lenta; c= 6 para permeabilidade muito lenta).

Na bacia do Rio São Marcos ocorre o predomínio de Cambissolo, com outras formações como Nitossolo, Neossolo e Argissolo. Os valores de K utilizados para cada tipo de solo são: 0,0332 para Cambissolo, 0,015 para Nitossolo, 0,04 para Neossolo e Argissolo.

### 2.2.3 Fator comprimento de vrampa e declive (LS)

O Fator LS é constituído por duas variáveis: o comprimento de rampa (L) e a declividade (S). O aumento do comprimento de rampa acelera a erosão, visto que aumenta o volume de água que escoia através de uma secção transversal a vertente e, conseqüentemente, aumenta a capacidade de remover partículas de solo.

Para o cálculo de comprimento de rampa e declividade foi utilizada a metodologia proposta por Rocha, et al. (1996). A combinação dos valores de L e S foi obtida através da Equação 4, proposta por Lombardi Neto (1996):

$$LS = 0,00984 \cdot L^{0,68} \cdot S^{1,18} \quad (4)$$

Em que:

L: comprimento de rampa (m);

S: declividade (%).

### 2.2.4 Fator uso e manejo do solo (C) e práticas conservacionistas (P)

O fator CP é a relação esperada entre as perdas de solo em áreas cultivadas e de vegetação com áreas cobertas. Segundo Stein et al (1987), a redução da erosão vai depender do tipo de cultura e manejo adotado, da quantidade de chuvas, da fase do ciclo vegetativo, entre outras variáveis, cujas combinações apresentam diferentes efeitos na perda de solo.

A obtenção do fator C foi realizada através da classificação da imagem do satélite Landsat 5, bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7, através do método não supervisionado *Isoclust*. Foram encontradas 7 classes de uso e cobertura do solo correspondente a mata nativa, silvicultura, campo nativo, lavoura, solo exposto, áreas urbanas e lâmina d'água.

O fator práticas conservacionistas (P) é a relação entre a intensidade esperada de perda de solo com determinada prática conservacionista e aquelas quando a cultura está plantada no sentido do declive. As práticas conservacionistas mais comuns para as culturas anuais são o plantio em contorno, plantio em faixas de contorno, terraceamento e alternância de capinas (Paiva, 2001). Ao fator P atribuiu-se valor de 1, considerando que não há a adoção de práticas conservacionistas nas áreas de lavouras diversas e solo descoberto em toda a extensão da bacia.

## 3. Resultados e Discussão

A Tabela 1 apresenta a precipitação média mensal e o fator erosividade da chuva calculado. Observa-se que os meses com maior erosividade referem-se a setembro, janeiro e agosto, período com maior intensidade de chuvas. A erosividade anual corresponde a 6865,28 MJ.mm/h.ha.

Tabela 1. Precipitação média mensal e fator erosividade (R)

Mês	Precipitação média mensal (mm)	Fator Erosividade (R) (MJ.mm/h.ha)
Janeiro	153,7	681,85
Fevereiro	142,6	608,42
Março	116,0	444,55
Abril	121,2	475,22
Mai	105,8	386,87
Junho	138,5	582,10
Julho	145,6	627,72
Agosto	152,6	674,34

Setembro	165,5	762,44
Outubro	150,5	660,41
Novembro	111,3	417,35
Dezembro	132,5	544,02
<b>Total</b>	<b>1635,9</b>	<b>6865,28</b>

A Figura 2 e a Tabela 2 apresentam o fator topográfico (LS) separado em classes para a bacia do Rio São Marcos.

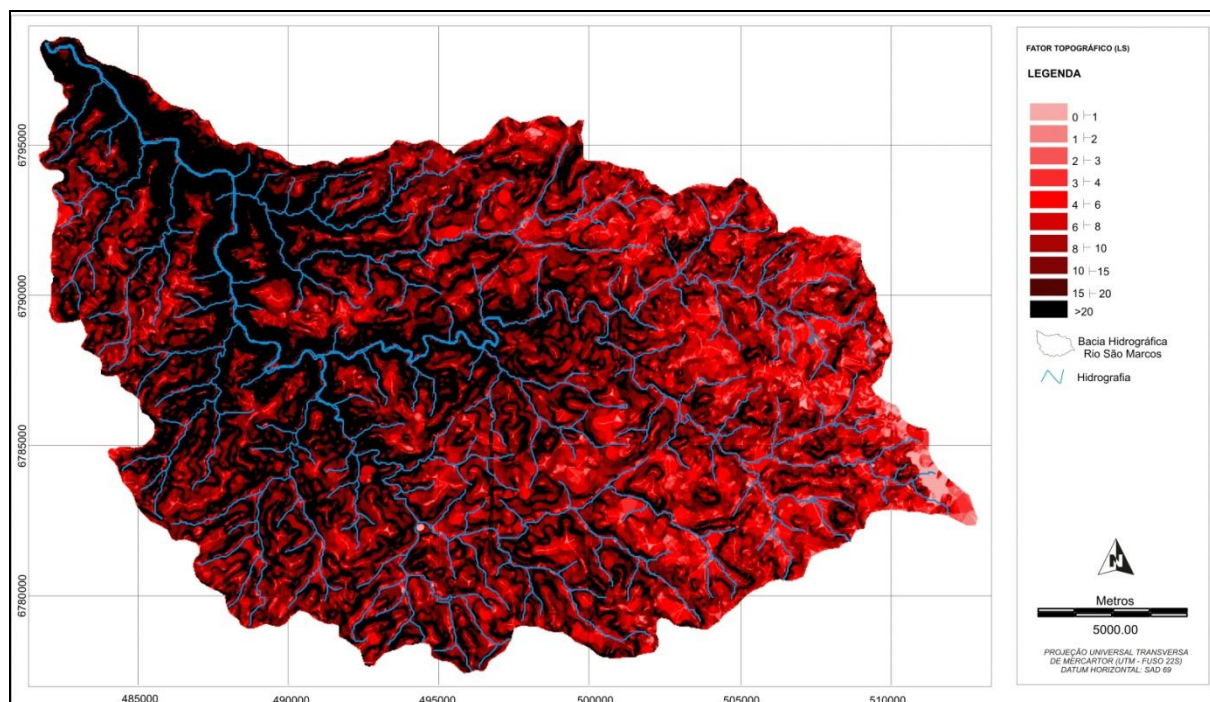


Figura 2. Fator topográfico (LS) para a bacia do Rio São Marcos

Tabela 2. Classes de topografia (LS)

Classes de LS	Área (ha)	%
0   1	233	0,58
1   2	382	0,94
2   3	641	1,59
3   4	955	2,36
4   6	3.126	7,73
6   8	4.131	10,22
8   10	4.217	10,44
10   15	8.414	20,82
15   20	5.348	13,23
≥20	12.967	32,09
<b>Total</b>	<b>40.414</b>	<b>100</b>

Verifica-se que a bacia hidrográfica do Rio São Marcos apresenta a maior área com classe topográfica superior a 20, correspondendo a 32,09% da bacia, seguido por classe de LS que varia de 15 a 20. Estas classes representam áreas com declividade acentuada, corroborando com a característica da bacia que se encontra em uma região de planaltos, apresentando diversas formações de vales e morros. Estas áreas em declive possuem maior suscetibilidade à erosão quando em solo descoberto. Cerca de 87% da bacia apresenta classes de LS superior a 6.

A Figura 3 mostra o mapa de uso e cobertura do solo, enquanto a Tabela 3 apresenta os dados de uso e cobertura do solo, fator de manejo (C) e práticas conservacionistas (P) da bacia. Identifica-se que ocorre o predomínio de mata nativa, com 46,14%, seguido de lavoura e campo nativo, ambos com valores superiores a 20%.

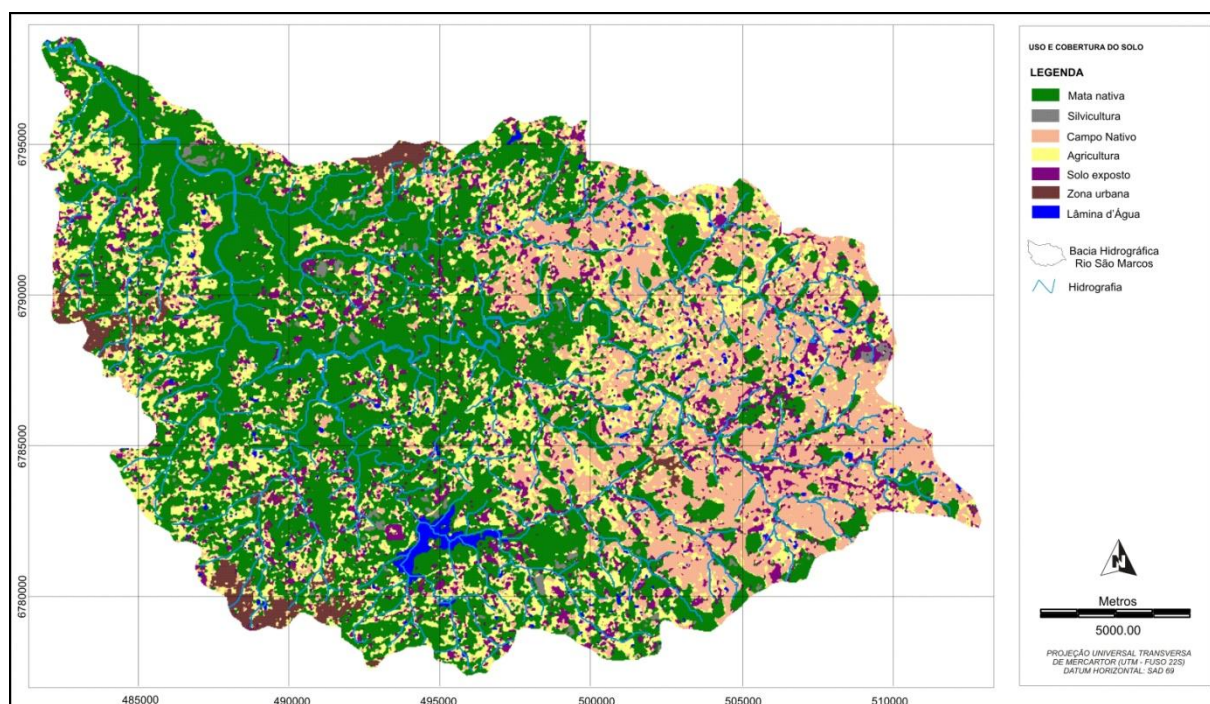


Figura 3. Mapa de Uso e Cobertura do Solo

Tabela 3. Dados de uso e cobertura do solo, fator de manejo do solo e práticas conservacionistas (CP)

Classe	Área (ha)	%	CP*
Mata nativa	18.648	46,14	0,012
Silvicultura	327	0,81	0,004
Campo nativo	8.187	20,26	0,011
Lavoura	8.247	20,41	0,4933
Solo Exposto	3.607	8,93	1
Área urbana	891	2,20	0,001
Água	505	1,25	0
Total	40.412	100,00	-

\*Bertoni e Lombardi Neto (1999)

Após o cálculo dos fatores que compõem a equação USLE, foi possível calcular os valores das perdas de solos por erosão laminar na área de estudo. O mapa resultante foi classificado em classes de suscetibilidade à erosão, variando desde muito baixa a muito forte

conforme apresentado em Ribeiro e Alves (2007). A Tabela 4 apresenta os índices de perda anual de solos na bacia e a Figura 4 mostra a espacialização dos valores obtidos.

Tabela 4. Perda anual de solos na bacia do Rio São Marcos

Classe	Perda de solo (t./ha.ano)	Área (ha)	%
Muito Baixa	<1	1.648	4,08
Baixa	1 – 10	26.912	66,59
Baixa a moderada	10 – 50	116	0,29
Moderada	50 – 100	1.074	2,66
Moderada forte	100 – 500	9.702	24,01
Forte	>500	962	2,38
<b>Total</b>	-	40.414	100

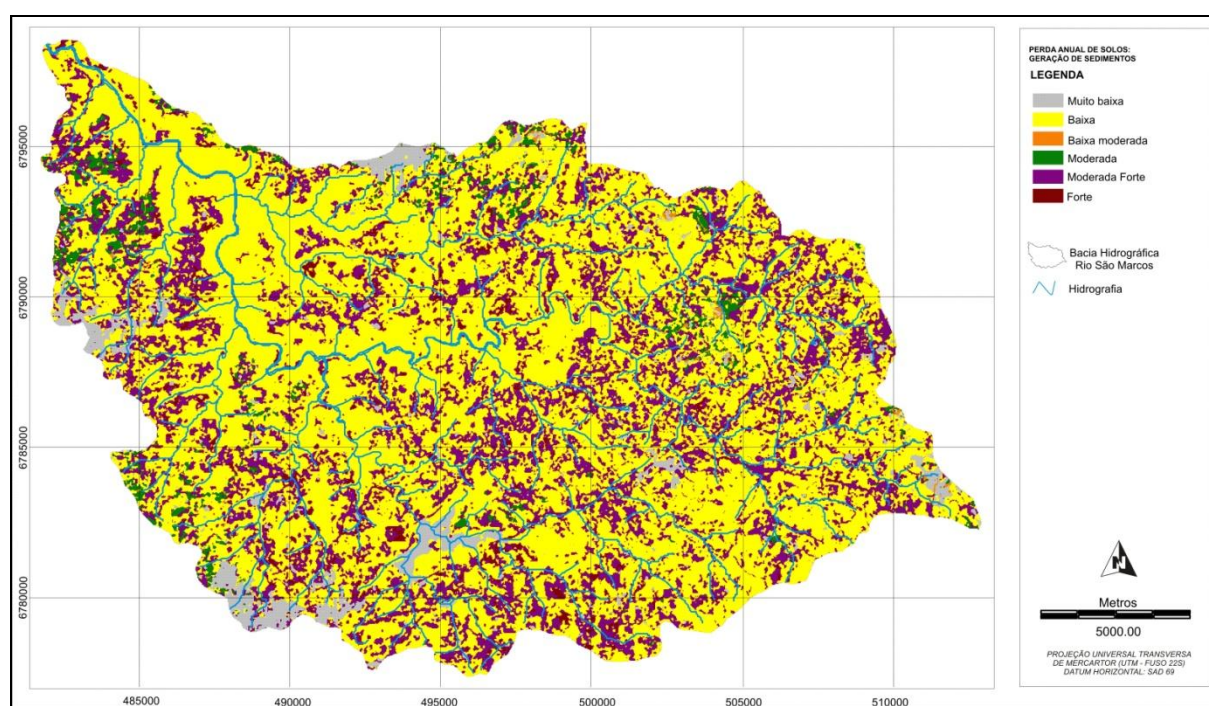


Figura 4. Espacialização dos índices de perda anual de solos

Analisando os resultados apresentados na Tabela 4 e o mapa da Figura 4, verifica-se que mais de 70% do território da bacia possui potencial de perda de solos que varia de muito baixa a baixa. Apesar das encostas dos morros possuírem maior suscetibilidade a erosão, devido à declividade, observa-se que na bacia do Rio São Marcos há ocorrência de baixo potencial de erosão, em virtude da preservação das encostas, as quais estão cobertas por vegetação nativa, representada pela Floresta Ombrófila Mista - Mata de Araucária. A ocupação inadequada destas áreas apresentaria efeito negativo aumentando o risco quanto aos processos erosivos.

Mais de 9.700 ha, o que corresponde a aproximadamente 24% da bacia, apresenta erosão moderada a forte, com perdas que chegam a 500 toneladas/ha.ano. Estas áreas estão ocupadas principalmente por atividade agrícola ou mesmo solo descoberto, fator que eleva o índice de perdas de solo, já que suas propriedades são alteradas.

A análise de perda de solo tem significativa importância para a bacia do Rio São Marcos, pois esta possui atualmente três reservatórios, sendo dois de abastecimento público e um de geração de energia. Os sedimentos formados pela erosão laminar são carreados para os rios, sendo transportados até os barramentos, assoreando-os. O monitoramento, o uso de práticas de conservação dos solos e o adequado planejamento das atividades situadas na bacia

hidrográfica permitem que sejam minimizados efeitos erosivos, como por exemplo, o assoreamento de reservatórios, uma vez que os danos ambientais e econômicos devido à acumulação de sedimentos nestes locais podem ser grandes e de extrema dificuldade de remediar. (Carvalho et al., 2000)

#### 4. Conclusões

O uso de Sistemas de Informação Geográfica (SIGs), associado a dados de Sensoriamento Remoto permitiu a obtenção dos fatores que compõem a Equação Universal de Perda de Solos, possibilitando a análise das áreas suscetíveis a geração de sedimento por erosão laminar.

Os resultados obtidos indicam que a bacia do Rio São Marcos apresenta potencial de baixa geração de sedimentos, com algumas áreas cuja perda de solos varia de moderada a forte. Nestas áreas, a utilização de práticas conservacionistas torna-se uma ferramenta útil para redução dos processos erosivos.

#### Referências Bibliográficas

Bertoni, J.; Lombardi Neto, F. **Conservação do Solo**. 4.ed. São Paulo: Ícone Editora, 1999.

Carvalho, N. O; Filizola JR., Santos P. M. C; Lima, J. E. F. W. – **Guia de avaliação de assoreamento de reservatórios**. Brasília : ANEEL, 132p. 2000.

Hasenack, H.; Weber, E. (Org.). **Base cartográfica digital da região da Serra Gaúcha**. Escala 1: 50.000. Porto Alegre: UFRGS-Centro de Ecologia, 2007. 1CD-ROM.(Série Geoprocessamento, 2).

Lombardi Neto, F. Geração de Sedimentos em Bacias Hidrográficas e seus Impactos Ambientais. **In: Curso de Geração, Transporte e Deposição de Sedimentos em Bacias Hidrográficas e seus Impactos Ambientais**. Vitória, ES, 1996. 8p

Machado, R. E. **Simulação de Escoamento e Produção de Sedimentos em uma Microbacia Hidrográfica utilizando técnicas de Modelagem e Geoprocessamento**. Tese (Doutorado em Agronomia). Escola Superior de Agricultura “Luiz Queiroz”, Piracicaba, 2002, 126p.

Paiva, J. B. e Paiva, E. M. C. D. **Hidrologia aplicada á gestão de pequenas bacias hidrográficas**. Porto Alegre: ABRH, 2001

Ribeiro, L. S.; Alves, M da G. **Quantificação de perda de solo por erosão laminar no município de Campo dos Goytacazes/RJ através de técnicas de geoprocessamento**. In: XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. **Anais...** Florianópolis. P. 3039-3046. 2007.

Rocha, J.V.; Lombardi Neto, F.; Bacellar, A.A.A. Metodologia para determinação do fator comprimento de rampa (L) para a Equação Universal de Perdas de Solo. In: **I Simpósio de Usuários Idrisi**, p.3-6, Campinas-SP, 1996.

Stein, D. P.; Donzelli, P. L.; Gimenez, F. A.; Ponçano, E. L; Lombardi Neto, F. **Potencial de Erosão Laminar, Natural e Antrópica na Bacia do Peixe-Paranapanema**. In: Simpósio Nacional de Controle de Erosão, 4. **Anais...** São Paulo, 1987.

Wischmeier, W.H.; Smith, D.D. **Predicting rainfall erosion losses: a guide planning**. Washington, DC: USDA/ARA, 1978.