



Cálculo do fator LS da Equação Universal de Perdas de Solos (EUPS) para a bacia do Rio da Prata, Castelo-ES¹

Calculating the LS factor of Universal Soil Loss Equation (USLE) for the watershed of River Silver, Castelo-ES

Luciano Melo Coutinho^{*2}, Roberto Avelino Cecílio³, Giovanni de Oliveira Garcia⁴, Alexandre Cândido Xavier⁵, Sidney Sára Zanetti⁶, Michel Castro Moreira⁷

Resumo - A erosão é apontada como a principal causa do depauperamento de terras agrícolas, o que gera prejuízos anuais aproximados da ordem de bilhões de dólares no Brasil. A erosão hídrica é a mais comum, ocasionada pela precipitação efetiva em bacias, que devido ao seu potencial erosivo é o principal agente de remodelagem do terreno. A Equação Universal de Perdas de Solos (EUPS) mostra-se de grande aplicabilidade para estimar a erosão de bacias hidrográficas a partir de seus elementos físicos e geográficos ($PS = R * K * L * S * C * P$). A intensidade da erosão pode sofrer influência do perfil da encosta, avaliada pelo comprimento (L) e grau do declive (S). O fator topográfico (LS) da EUPS é o de mais difícil obtenção para áreas grandes e/ou de relevo diversificado. Realizou-se a espacialização do mapa de fator LS da bacia da Prata (Castelo-ES) a partir do processamento de dados cartográficos em ambiente de Sistemas de Informação Geográfica (SIG). O relevo da área de estudos foi representado via interpolação de curvas de nível com suporte de hidrografia mapeada, obtendo-se o Modelo Digital de Elevação Hidrologicamente Consistente (MDEHC) e o mapa de declividade. Para geração do fator LS utilizou-se a equação desenvolvida por Bertoni e Lombardi Neto (2005), adequada para encostas de comprimento e declividade distintos. A bacia do Rio da Prata apresenta relevo diversificado, marcado por áreas planas e de declividade acentuada, o que indica vulnerabilidade erosiva. Os principais valores de LS identificados foram mínimo (0), médio (8,2) e máximo (80,5).

Palavras-chave - Escoamento superficial. Relevo. Fator topográfico. Processos erosivos.

Abstract - Erosion is considered the main cause of depletion of agricultural land, which generates approximate annual losses of billions of dollars in Brazil. Water erosion is the most common, caused by effective precipitation basin, since its potential is the main agent of reshaping the land. Universal Equation Soil Loss (USLE) show great applicability to estimate erosion in watersheds from their physical and geographical elements ($PS = R * K * L * S * C * P$). The intensity of erosion can be influenced by the profile of the slope, measured by the length (L) and grade of slope (S). The topographic factor (LS) of the USLE is the most difficult to obtain for large and/or diverse relief areas. We calculated the spatial map of the LS factor Silver watershed (Castelo-ES) from the processing of cartographic data in environment Geographic Information Systems (GIS). The relief of the study area was represented by interpolation from contour lines supported mapped hydrography, give the digital elevation model hydrologically consistent (MDEHC) and declivity map. For generation of the LS factor was used to equation developed by Bertoni and Lombardi Neto (2005), suitable for slopes of different length and declivity. The Silver watershed has diversified relief, marked by flat and steep declivity areas, which indicates erosive vulnerability. The main values of LS were identified minimum (0), medium (8.2) and maximum (80.5).

Key words - Runoff. Relief. Topographic factor. Processes erosive.

*Autor para correspondência

Enviado para publicação em 01/07/2013 e aprovado em 03/04/2014

¹Parte da dissertação de mestrado do primeiro autor

²Mestre em Ciências Florestais pela UFES, Professor Assistente I do Curso de Ciências Biológicas do Centro Universitário São Camilo-ES, Cachoeiro de Itapemirim-ES, lencoutinho@hotmail.com

³Prof. Adjunto da Universidade Federal do Espírito Santo, Bolsista de Produtividade em Pesquisa-CNPq, Alegre-ES, racecilio@yahoo.com.br

⁴Prof. Adjunto da Universidade Federal do Espírito Santo, Bolsista de Produtividade em Pesquisa-CNPq, Alegre-ES, giovanni@ambientalis-es.com.br

⁵Prof. Associado I da Universidade Federal do Espírito Santo, Bolsista de Produtividade em Pesquisa-CNPq, Alegre-ES, xavier@cca.ufes.br

⁶Prof. Adjunto da Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre-ES, ssszanetti@yahoo.com.br

⁷Prof. Adjunto da Universidade Federal da Bahia, Barreiras-BA, michelcm@gmail.com

Introdução

O aporte da água proveniente das precipitações desencadeia uma série de processos internos em bacias hidrográficas, sendo os principais a infiltração, o armazenamento superficial e subsuperficial no solo, escoamento superficial, intemperismo físico e químico, processos erosivos e deflúvio, os quais interagem constantemente (SILVA *et al.*, 2007; TERRANOVA *et al.*, 2009).

A erosão é um processo natural, característica da própria formação do solo, marcada pelo desprendimento e arraste das partículas. É ocasionada principalmente pela ação dos ventos (erosão eólica), da água (erosão hídrica) e da biodiversidade (erosão mecânica). Por erosão geológica entende-se o conjunto de fenômenos naturais que agem sobre a superfície terrestre, modificando-a, e que contribuem para a própria formação do solo. A erosão acelerada é característica da ação antrópica, ocasionada pelas práticas que expõem os solos aos impactos dos agentes erosivos (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2005; PRUSKI, 2009).

O termo erosão inclui os processos capazes de remodelar a paisagem pela retirada de material intemperizado, ocasionando o nivelamento do terreno, no caso da erosão laminar, ou formação de sulcos ou voçorocas. O empobrecimento estrutural acelerado e a desvalorização econômica das terras são apontados como as principais consequências da erosão (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2005).

No Brasil as áreas de agropecuária sofrem perdas anuais de 822,7 milhões de toneladas de solo. A erosão ocasiona um prejuízo, no âmbito da propriedade rural, de US\$ 2,9 bilhões por ano, relativo aos custos com correção dos solos, perdas referentes à produtividade e custos de produção. Os custos externos à propriedade rural que são decorrentes do processo erosivo (tratamento de água, manutenção de estradas, maior consumo de combustíveis, maior consumo de energia elétrica em áreas irrigadas) somam outros US\$ 1,3 bilhões. Assim, estima-se que a erosão promova um total de US\$ 4,2 bilhões de prejuízo anual ao Brasil (HERNANI *et al.*, 2002).

Devido à complexidade de processos que se relacionam aos processos erosivos, diversas propostas foram adotadas visando encontrar uma modelagem adequada, com a intenção de gerar uma descrição física e matemática das perdas de solos por erosão hídrica. Segundo Bertoni e Lombardi Neto (2005) as propostas de elaboração de equações de avaliação de perdas de solos datam de 1940, na região do *Corn Belt* (EUA), e tiveram maior expressão no fim da década de 1950 com o surgimento da Equação Universal de Perdas do

Solo (EUPS), traduzida do original *Universal Soil Loss Equation* (USLE).

Segundo Beskow *et al.* (2009) a intensidade da erosão hídrica pode ser fortemente afetada pelo comprimento do declive (fator L) e seu gradiente (fator S). O fator L representa a relação de perdas de solos entre comprimento do declive e comprimento de rampa de 25 m para os mesmos fatores solo, chuva, grau de declive, cobertura e manejo. O fator S trata da relação de perdas de solo entre um declive qualquer e um declive de 9%, sendo apresentada uma equação para possíveis ajustes às características locais. Nas aplicações práticas da EUPS os fatores L e S são avaliados em conjuntos. É considerado um fator de difícil obtenção, principalmente para trabalhos realizados em bacias hidrográficas e normalmente viabilizados pela adoção de softwares que efetuam seu cálculo (SILVA *et al.*, 2007).

Do exposto, o presente trabalho reuniu em Sistemas de Informação Geográfica (SIG) os elementos cartográficos (altimetria e hidrografia) necessários para a obtenção do fator LS da bacia do Rio da Prata. Pauta-se na importância dos estudos preditivos de processos erosivos, considerando os potenciais e reais riscos ambientais. Espera-se contribuir com a geração de dados físicos e subsídios às tomadas de decisão para gestão da área.

Material e métodos

A bacia hidrográfica do Rio da Prata está situada no município de Castelo, sul do Estado do Espírito Santo (Figura 1). Abrange uma área de 132,3 km², com cotas de altitude máxima de 2020 m e mínima de 80 m. As principais atividades do município de Castelo são a agropecuária, a mineração e o turismo.

A vegetação nativa inclui a Região de Floresta Ombrófila Densa e Região de Floresta Estacional Semidecidual. As principais classes de solos são Argissolo, Chernossolo e Latossolo (RADAMBRASIL, 1983). O relevo inclui a Faixa de Agradação Cachoeiro de Itapemirim-Castelo (altitude entre 80 e 100 m, superfícies suaves, vales abertos e interflúvios abaulados, ação intempérica e raros afloramentos rochosos), Feições de Mar de Morros (altitude entre 200 e 900 m, mais resistentes ao intemperismo) e Remanescentes do Ciclo Sul-Americano (altitudes em torno de 900 m, área de solos espessos com processos erosivos em franco desenvolvimento). A precipitação anual varia entre 1500 e 2000 mm. O uso e cobertura do solo se destacam pelo predomínio de pastagens (30,6% da área) e culturas (30,2%), remanescentes de floresta (24,7%), vegetação rupestre em solos rasos (12,7%), enquanto as demais formas de uso da terra representam 1,8% da área (COUTINHO, 2010).

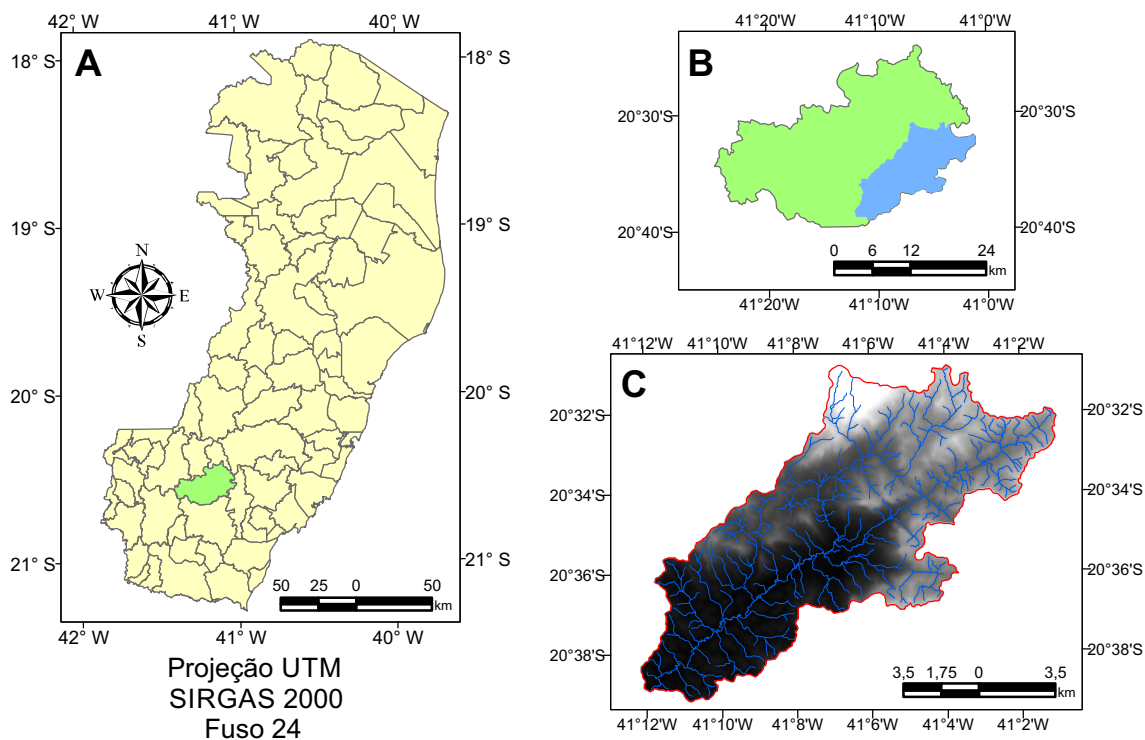


Figura 1 - Divisão política do Espírito Santo (A); município de Castelo, verde, e bacia da Prata, azul(B); e relevo e hidrografia da bacia da Prata(C).

Os dados cartográficos utilizados foram os *layers* de altimetria (equidistância de 20 m) e de hidrografia advindos das cartas digitais originais do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), folha SF-24-V-A-V-2 em escala 1: 50000.

Utilizou-se o programa ArcGIS 9.2® da categoria de SIG para processamento dos dados, sendo: 1- delimitação da área de estudos; 2- representação do relevo por Modelo Digital de Elevação (MDE), declividade, comprimento de rampa e fator LS; e 3- representação temática dos dados.

Para fim de validação do MDE adotado procedeu-se a comparação entre MDE obtidos por diferentes dados (curvas de nível do IBGE e mapeamento do *Shuttle Radar Topography Mission* - SRTM) e diferentes interpoladores (TIN e TR). Os procedimentos de validação consistiram de: 1) comparação dos valores de altitude dos MDE; 2) comparação das áreas da bacia obtidas por diferentes métodos de delimitação (manual e automático); e 3) cruzamento de dados de hidrografia.

A comparação de métodos de delimitação de bacias teve como procedimento padrão a delimitação manual, realizada por métodos tradicionais, conforme a proposta de Cecílio *et al.* (2010), sendo utilizados carta topográfica, aerofotos georeferenciadas e verificações

de campo de valores de altimetria com receptor de GPS. Este procedimento é considerado o mais confiável devido à diversidade de recursos e intervenção direta do pesquisador. Assim foram realizadas e comparadas as seguintes delimitações de bacia da área de estudos:

- delimitação manual padrão via carta topográfica do IBGE, aerofotos e GPS (D1);
- MDE gerado por interpolação de curvas do IBGE via TIN (D2);
- MDE gerado por interpolação de curvas do IBGE via TR (D3);
- MDE gerado por interpolação de curvas do IBGE via TR com hidrografia (D4);
- MDE original dos dados SRTM (D5);
- MDE de SRTM refinado via TIN (D6); e
- MDE de SRTM refinado via TR (D7).

A delimitação automática da bacia a partir dos diferentes dados consistiu da metodologia descrita por Santos (2007), considerando as seguintes etapas:

- MDE por distintos dados e interpoladores;
- MDE hidrologicamente consistente por eliminação

de espúrias (*Fill*);

- mapa de direção de fluxo (*Flow Direction*);
- mapa de fluxo acumulado (*Flow Accumulation*);
- mapas de rede de drenagem (*Stream Networks*); e
- delimitação de bacias (*Basin – Watershead*).

Diante de cada procedimento de delimitação, as redes hidrográficas geradas a partir dos MDE foram confrontadas com a hidrografia mapeada (D1) por procedimentos de subtração. Este procedimento consistiu da vetorização e subtração das hidrografias, cujas diferenças podem ser decorrentes dos valores de *pixels* dos MDE.

Bertoni e Lombardi Neto (2005) apresentam a equação de perda de solo (Equação 1), a qual exprime a ação dos principais fatores que influenciam a erosão hídrica. Os fatores R, K, L e S são dependentes das condições naturais, e os fatores C e P são fatores antrópicos (uso e ocupação dos solos).

$$PS = R * K * L * S * C * P \quad (1)$$

Em que PS = perda de solo por área em t ha⁻¹ ano⁻¹; R = erosividade da chuva (MJ ha⁻¹mm h⁻¹ ano⁻¹); K = erodibilidade do solo [t ha⁻¹ (MJ ha⁻¹ mm h⁻¹)⁻¹]; L = comprimento do declive (adimensional); S = grau de declive (adimensional); C = uso e manejo do solo (adimensional); e P = práticas conservacionistas (adimensional).

Os procedimentos tradicionais de obtenção de dados de encostas são baseados na relação entre altitude e projeção horizontal. Na Figura 2 a reta AB representa a projeção horizontal ou distância real (10 m), BC é a altitude (10 m total), AC representa o comprimento de rampa e D representa a diferença entre projeção horizontal e rampa. A declividade da encosta (i, ii, iii) é a relação de proporção entre altitude e projeção horizontal, representada por grau ou porcentagem.

Nota-se que a reta BC está graduada, indicando que com o aumento da altitude em relação a distância real (AB), ocorre aumento de D e do comprimento de rampa total (AB + D = AC). Assim, o grau de declividade será sempre maior na medida em que ocorrer o aumento da altitude em relação à distância real (i = 25%, ii = 50% e iii = 100%). A intensidade da erosão hídrica é afetada pela declividade, ou seja, quanto mais acentuada a declividade maior a propensão à erosão. Soma-se ainda a distância em que se processa o escoamento de superfície (BUENO et al., 2011).

Com base em procedimentos manuais e dados de campo, o fator LS é obtido, em sua forma mais tradicional, pela Equação 2.

$$LS = \left(\frac{\sqrt{X}}{100} \right) * (1,36 + 0,97D + 0,1385D^2) \quad (2)$$

Em que LS: fator topográfico; X: comprimento da vertente (m); e D: declividade do terreno (%).

A representação matricial do relevo da bacia da Prata foi realizada pelo MDE gerado pelo interpolador *Topo to Raster* (TR) a partir das linhas de altimetria (*Contour*) com suporte de hidrografia mapeada (*Stream*) para indicação do traçado dos canais (MEDEIROS et al., 2009; PIRES et al., 2005). O interpolador TR adota os

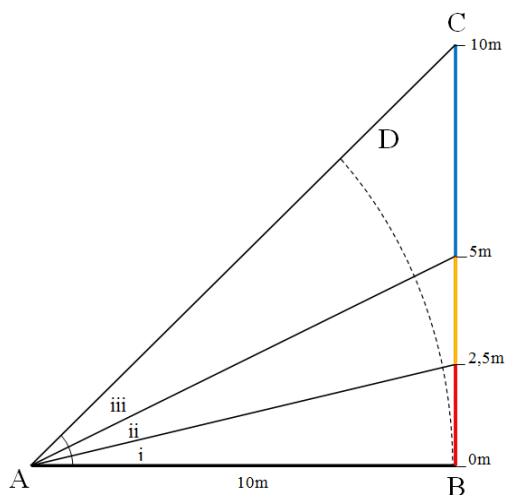


Figura 2- Representação de componentes e declividade de encostas.

valores de atributos dos vetores por varredura (diferenças finitas), a qual combina a eficiência de interpolação local (a exemplo do inverso do quadrado da distância) com interpolação global, que utiliza superfície de continuidade (a exemplo da Krigagem). Esta combinação garante uma estrutura matricial contínua a partir da organização dos dados de origem, representando topos de morros e fundos de vales.

A resolução espacial dos *pixels* foi de 10 x 10 m. O pós-processamento consistiu na eliminação de espúrias (*Fill*), obtendo-se um Modelo Digital de Elevação Hidrologicamente Consistente (MDEHC) e o mapa de declividade (*Slope*) a partir do MDEHC.

Para o seguimento da proposta de geração do mapa de fator LS, foi necessário obter individualmente o fator comprimento de rampa (λ) de cada pixel do MDEHC, o que foi possível a partir da Equação 3 adaptada ao ambiente de SIG.

$$\lambda = \sqrt{Px^2 + [(D/100) * Px]} \quad (3)$$

Em que λ = comprimento de rampa; e D = declividade do terreno (%).

O fator LS da área de estudos foi gerado a partir da Equação 4 de acordo com a metodologia proposta por Bertoni e Lombardi Neto (2005).

$$LS = 0,00984 * \lambda^{0,63} * D^{1,13} \quad (4)$$

Em que LS = fator topográfico; λ = comprimento de rampa; e D = declividade do terreno (%).

O mapa gerado representa *pixel a pixel* o resultado final, com base no cruzamento entre o comprimento de rampa e a declividade. A adaptação desta equação para ambiente de SIG se pautou na metodologia proposta por Silva (2003). As etapas de preparo de material e processamento de dados são representadas por fluxograma na Figura 3.

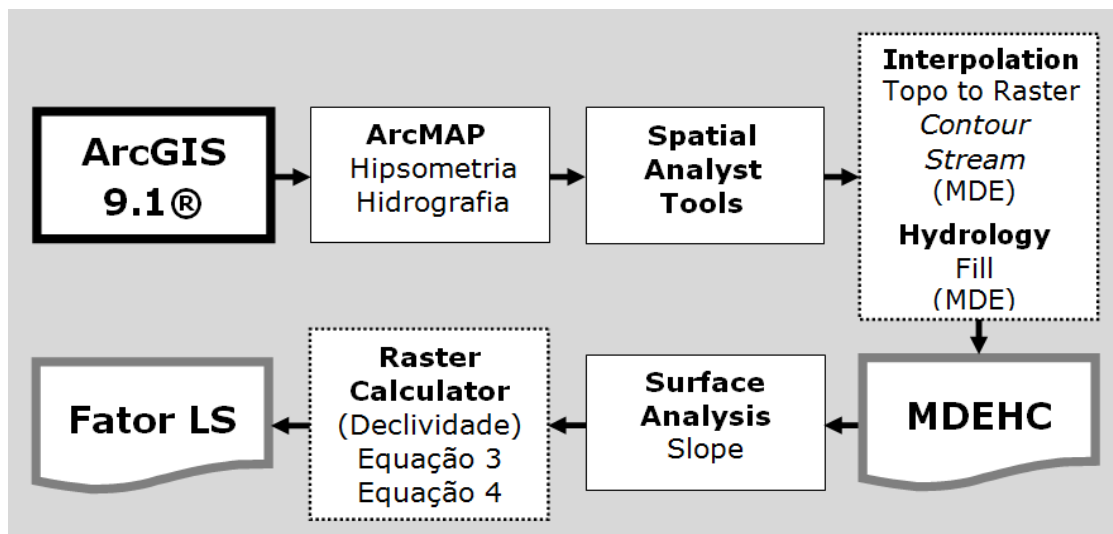


Figura 3 - Fluxograma de preparo de material e de métodos.

Resultados e discussão

A partir da interpolação das curvas de nível foi possível gerar o MDEHC, a declividade e fator LS para a bacia da Prata. Constatou-se a dificuldade expressa na literatura para obtenção do fator LS em grandes áreas, o que exige especial atenção na escolha das fórmulas e procedimentos de adequação das mesmas ao ambiente de SIG.

O experimento realizado por Coutinho (2010) consistiu da representação do relevo e delimitação da Bacia da Prata (Castelo-ES) por interpolação das curvas de nível do IBGE e dados de SRTM, sendo empregados os interpoladores TIN e *Topo to Raster*. Os dados obtidos pela interpolação de curvas de nível pelo interpolador *Topo to Raster* com suporte de hidrografia mapeada (D4) foi o procedimento de melhor desempenho. O valor de área obtido pelo interpolador D4 (132,33 km²) foi o melhor resultado em comparação a D1 (132,3 km²). A maior disparidade do valor de área é no MDE D6 (137,54 km²).

Os valores de altitude identificados nas cotas foram mínimos (entre 60 e 80 m) e máximos (entre 2.020 e 2.040 m). Os valores do MDE D4 foram diferentes dos verificados nas cotas, sendo 82 m (mínimo) e 2.031 m (máximo), devido a representação dos fundos de vales e áreas de contribuição direta da drenagem e topos de morros. Este resultado se justifica pelo padrão de representação matricial do relevo por este interpolador, o qual atribui valores contínuos nas áreas desprovidas de amostras. O resultado de altitude de menor confiabilidade foi a partir do MDE D6, sendo mínimo 100 m e máximo 1.980 m.

A partir da comparação visual do traçado dos divisores topográficos a delimitação D4 apresentou diferenças pouco significativas em comparação a D1. Estes resultados são semelhantes aos que foram obtidos por Medeiros *et al.* (2009) e Pires *et al.* (2005), cujos menores erros são verificados pelo uso do interpolador *TopoGrid*.

Diante do cruzamento de redes hidrográficas, o melhor resultado foi obtido a partir do MDE D4. As

hidrografias mapeadas foram modificadas para formato *Raster* com resolução de 10 x 10 m, sendo D1 composta por 36.536 *pixels* e D4 por 19.699 *pixels*, sendo 7.265 *pixels* (19,88%) comuns entre estas representações. O pior resultado de coincidências foi verificado na imagem de radar (D5) original, sendo apenas 0,59% de *pixels* comuns.

Os resultados pouco satisfatórios de dados originais de radar podem ser explicados pelo procedimento de mapeamento, pois a resposta e o registro do sinal de retorno podem ser influenciados por diferentes ocorrências de superfície e tamanho de *pixel*, em certos casos omitindo ou exagerando os valores de representação (COUTINHO, 2010; MEDEIROS *et al.*, 2009; PIRES *et al.*, 2005).

A declividade do relevo foi avaliada de acordo com a proposta de classificação da EMBRAPA (1999), citado por Ruthes *et al.* (2012), cujas classes e distribuição espacial se encontram na Tabela 1. Adotou-se utilizar a distribuição das classes em tabela e sua representação visual nos mapas. A análise geoestatística se pautou nos valores das medidas de tendência central e de dispersão dos dados gerados em formato *Raster* (*Properties – Classification Statistics*) que representam o relevo da bacia.

O relevo desta bacia pode ser considerado do tipo forte ondulado devido a predominância desta classe (36,4% da área), seguido do tipo montanhoso (26,9%), enquanto as áreas planas são de menor representatividade (3,5%), o que indica ocorrência de forte gradiente topográfico decorrente da geologia. De acordo com a frequência acumulada as áreas de menor declividade (0-20) somam 27,7%, enquanto as mais íngremes (>20) representam mais da metade da bacia (72,3%) (Tabela 1).

Ruthes *et al.* (2012) classificaram o relevo do rio Catorze (Francisco Beltrão-PR) e identificaram o predomínio das categorias de declividade ondulado a forte-

ondulado (36% da área) e forte-ondulado a montanhoso (22% da área), confirmando rápido escoamento superficial. Cardoso *et al.* (2006) identificaram na bacia do Rio Debossan-RJ que a maior parte do relevo (47,6% da área), assim como a declividade média (32,6% de inclinação), é do tipo forte ondulado.

Na Figura 4 se encontram os mapas de declividade e comprimento de rampa da bacia hidrográfica do rio da Prata. A partir dos dados de declividade da bacia verificou-se disparidade a partir de medidas de tendência central nos valores de mínimo (0% - relevo plano), média (36,7% - forte ondulado) e máxima (176,6% - relevo escarpado). As medidas de dispersão verificadas foram consideradas altas, sendo variância 855,8, desvio padrão 29,2 e coeficiente de variação 79,5%.

Informações sobre a declividade de bacias são relevantes para o planejamento e cumprimento de legislação, pois tornam mais eficientes as formas de intervenções antrópicas (TONELLO *et al.*, 2006). Deve-se atentar que as maiores declividades, associadas às condições de encosta, regime de precipitação e a cobertura vegetal, favorecem ocorrências de erosão (TOMAZONI; GUIMARÃES, 2005). Declives acentuados podem gerar maior velocidade de escoamento, reduzindo assim o volume de água armazenada no solo, sujeitando a bacia à degradação por erosão.

O comprimento de rampa expressa a relação direta entre a projeção horizontal e a declividade. Sua ocorrência sugere a distribuição das encostas a partir de seu comprimento, o que por sua vez se reflete no tempo e trajeto de escoamento superficial. Os valores de distribuição do comprimento de rampa constam na Tabela 2.

Os valores entre 20-35 m são de maior ocorrência (42% da bacia) e a soma das categorias acima de 35 m são bem expressivos (15% da área). Os menores valores de

Tabela 1 - Classificação do relevo da bacia do Rio da Prata (EMBRAPA, 1999).

Classificação	Classe (%)	Área (km ²)	Área (%)	Acumulado (%)
Plano	0 - 3	4,7	3,5	3,5
Suave	3 - 8	10,3	7,8	11,3
Ondulado	8 - 20	21,8	16,4	27,7
Forte ondulado	20 - 45	48,2	36,4	64,2
Montanhoso	45 - 75	35,6	26,9	91,1
Escarpado	> 75	11,8	8,9	100,0
-	Total	132,3	100,0	-

Tabela 2 - Classificação do comprimento de rampa da bacia do Rio da Prata

Classe (m)	Área (km ²)	Área (%)	Acumulado (%)
10 - 11	13,93	10,5	10,5
11 - 12	5,92	4,5	15,0
12 - 13	5,03	3,8	18,7
13 - 14	4,73	3,6	22,3
14 - 15	4,55	3,4	25,7
15 - 20	22,23	16,8	42,5
20 - 35	56,24	42,5	85,0
35 - 50	16,97	12,8	97,8
> 50	2,98	2,2	100,0

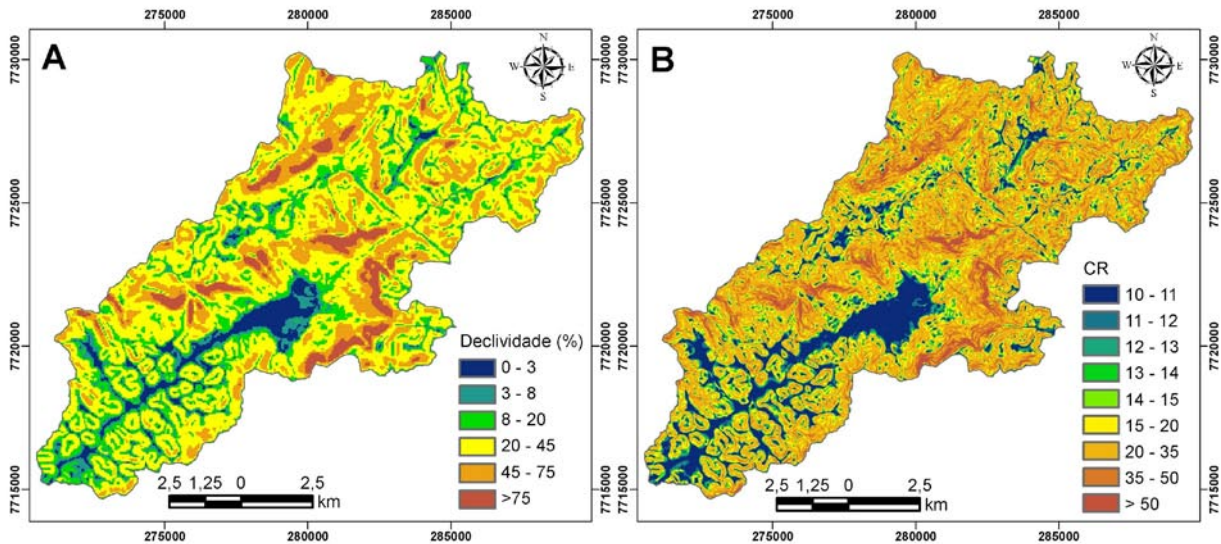


Figura 4 - distribuição espacial de declividade (A) e comprimento de rampa (B) da área de estudos.

rampa (10-11 m) representam apenas 10,5% da área. Os parâmetros estatísticos foram mínimo (10 m), média (23,7 m) e máximo (73,9 m).

A partir do mapa de declividade e comprimento de rampa, adaptados a Equação 4 (*Raster Calculator*), foi gerado o mapa do fator LS (Figura 5). A distribuição espacial do fator topográfico, adequada a partir da literatura

consultada, pode ser verificada na Tabela 3 (BESKOW *et al.*, 2009; BUENO *et al.*, 2011; PINHEIRO; CUNHA, 2010).

Ao se adotar tal ordenamento as classes de maior declividade (>20%) foram unificadas, ao passo que as de menor declividade foram diluídas, permitindo assim maior detalhamento de sua ocorrência. Embora, as áreas de relevo

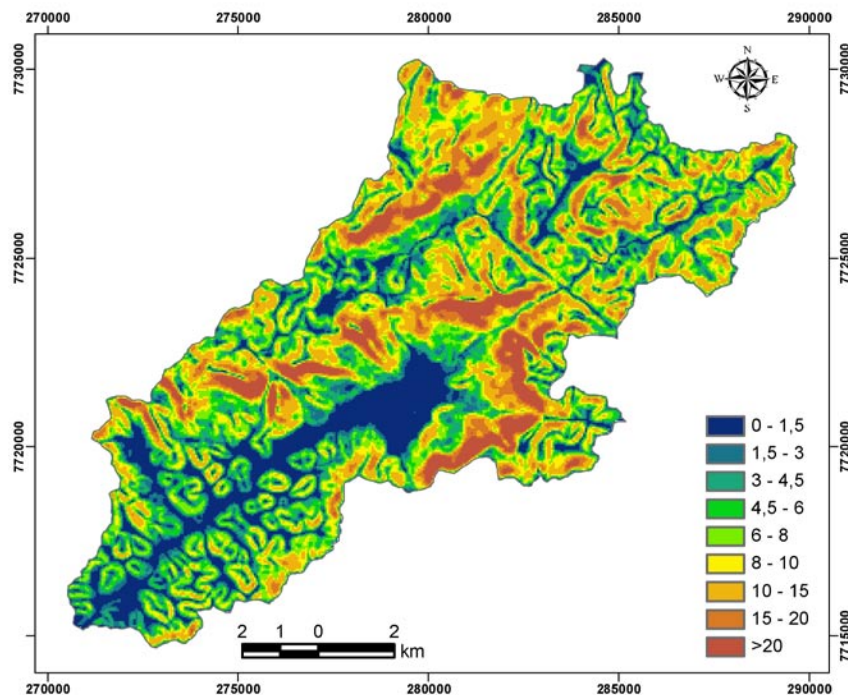


Figura 5 - Distribuição espacial do fator LS da área de estudos.

Tabela 3 - Distribuição espacial do fator LS da bacia do Rio da Prata

Classe	Área (km ²)	Área (%)	Acumulado (%)
0 - 1,5	15,7	11,9	11,9
1,5 - 3	11,9	9,0	20,8
3 - 4,5	14,8	11,2	32,0
4,5 - 6	16,0	12,1	44,1
6 - 8	20,0	15,1	59,3
8 - 10	16,0	12,1	71,3
10 - 15	22,3	16,8	88,2
15 - 20	8,2	6,2	94,4
> 20	7,4	5,6	100,0

acima de 20% de inclinação sejam de maior ocorrência no mapa de declividade, ocorre exatamente o oposto no mapa de LS, pois a classe >20 ocorre em apenas 5,6% da área da bacia (Tabela 3), que pode ser explicado pelas propostas de adequação dos valores da Equação 4. Desta forma, há uma compensação entre os valores de comprimento de rampa e declividade, o que não seria possível pela simples multiplicação destes fatores, podendo ocorrer valores superestimados do fator LS.

Com base nas considerações de Silva (2003), ao utilizar o método automático de Desmet e Govers (1996) e o método manual de Wischmeier e Smith (1978), verificou-se que as áreas de baixas declividades apresentaram valores semelhantes de LS, enquanto que as áreas mais declivosas apresentaram valores superiores pelo método automático, devido a convergência do relevo e fluxo acumulado.

O experimento de Oliveira *et al.* (2010) consistiu da identificação do fator LS do Ribeirão Salobra via aplicação dos algoritmos de Wischmeier e Smith (1978), McCool *et al.* (1989) e de Nearing (1997), sendo verificados resultados semelhantes em áreas planas e maiores diferenças nas declividades acentuadas.

Verifica-se que a maior ocorrência de LS é da classe 10-15 (16,8%) e a menor da classe >20 (5,6%) (Tabela 3). Toda a área de 0-3 representa 20,8% da bacia da Prata. A porção entre 3-8 equivale a 38,3%, enquanto a distribuição entre 8-20 representa a 35,2% da bacia. Os parâmetros estatísticos avaliados foram mínimo (0), média (8,2) e máximo (80,5). A dispersão observada foi considerada alta, sendo variância 50,41, desvio padrão 7,1 e coeficiente de variação 86,58%.

A partir da interpretação visual dos mapas (Figuras 4 e 5), pode-se verificar estreita relação entre a declividade e o fator LS, sendo os menores valores de LS proporcionais às menores declividades, com destaque aos topos de morros do tipo platô, nos fundos de vales e áreas de deposição

à jusante. Os maiores valores de gradientes topográficos são verificados na porção norte da bacia (áreas de relevo intrusivo) e na área central, onde se localizam encostas longas e declivosas, decorrentes da transição de unidades geológicas. Nota-se relação entre os maiores valores de LS com o comprimento de rampa, e não apenas com a declividade pontual, onde o modelo gerado representa áreas de encostas acentuadas. As perdas de solos podem ser mais sensíveis com mudanças de declividade, e não tanto com o comprimento de rampa (OLIVEIRA *et al.*, 2010).

Lopes *et al.* (2011) utilizaram dados SRTM para obtenção do fator topográfico pela equação proposta por Chair (2005), sendo processados dados de altimetria, fluxo acumulado e declividade. Áreas de topos de morros, chapadas e menores declividades apresentaram baixos valores de LS. Os maiores valores de LS foram identificados distantes dos divisores topográficos, nas convergências de fluxos e nas declividades acentuadas.

A bacia do Rio da Prata pode ser considerada de grande fragilidade devido a fatores que favorecem a drenagem e a erosão, com destaque das cabeceiras de drenagem e as condições de encosta. O fator LS é bastante significativo nas aplicações da EUPS, uma vez que é originado de fatores que condicionam o escoamento de superfície e os processos erosivos (inclinação do relevo e o comprimento de rampa). O escoamento superficial pode ser compensado, mesmo em riscos decorrentes da inclinação, pela boa cobertura vegetal (CARDOSO *et al.*, 2006).

Conclusão

A bacia do Rio da Prata apresenta grande diversidade de relevo, áreas planas (27,3%) e declivosas (72,3%), ocasionando rupturas topográficas e aumento de declividade. Tais fatores indicam vulnerabilidade erosiva.

Literatura científica citada

- AVANZI, J. C.; SILVA, M. L. N.; CURTI, N.; MELLO, C. R. de; FONSECA, S. Calibração e aplicação do modelo MUSLE em uma microbacia hidrográfica nos Tabuleiros Costeiros brasileiros. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 12, n. 6, p. 563-569, 2008.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do Solo**. 5ª ed. São Paulo: Ícone, 2005.
- BESKOW, S.; MELLO, C. R.; NORTON, L. D.; CURTI, N.; VIOLA, M. R.; AVANZI, J. C. Soil erosion prediction in the Grande River Basin, Brazil using distributed modeling. **Catena**, n.79, p. 49-59, 2009.

- BUENO, C. R. P.;ARRAES, C. L.; MIQUELONI, D. P. Aplicação do sistema de informação geográfica para determinação do fator topográfico em bacias hidrográficas. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, v.4, n.2, p.30-47, 2011.
- CARDOSO, C. A. DIAS, H. C.; SOARES, C. P. B.; MARTINS, S. V. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Rio Debossan, Nova Friburgo-RJ. **Revista Árvore**, v.30, n.2, p.241-248, 2006.
- CECÍLIO, R. A.; COUTINHO, L. M.; ZANETTI, S. S. Delimitação de bacias hidrográficas. In: ANDRADE, F. V.; PASSOS, R. R.; MENDONÇA, E. de S.; LIMA, J. S. de S.; FERREIRA, A. (orgs.). **Tópicos especiais em Produção Vegetal II**, 2ª ed. Alegre: UFES, 2011, p. 329-348.
- CORRÊA, C. M. C.; DEDECEK, R. A. Erosão real e estimada através da RUSLE em estradas de uso florestais, em condições de relevo plano a suave ondulado. **FLORESTA**, v.39, n.2, p.381-391, abr./jun. 2009.
- COUTINHO, L. M. **Impacto das áreas de preservação permanente sobre a erosão hídrica na bacia hidrográfica do Rio da Prata, Castelo-ES**. 2010. 86 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo (CCAUFES), Alegre.
- LOPES, F. B.; ANDRADE, E. M. de; TEIXEIRA, A. dos S.; CAITANO, R. F.; CHAVES, L. C. G. Uso de geoprocessamento na estimativa da perda de solo em microbacia hidrográfica do semiárido brasileiro. **Agro@ambiente On-line**, v. 5, n. 2, p.88-96, maio-agosto, 2011.
- MEDEIROS, L. C.; FERREIRA, N. C.; FERREIRA, L. G. Avaliação de modelos digitais de elevação para delimitação automática de bacias hidrográficas. **Revista Brasileira de Cartografia**, v.61, n.2, p.137-151, 2009.
- OLIVEIRA, P. T. S. de; RODRIGUES, D. B. B.; ALVES SOBRINHO, T.; PANACHUKI, E. Estimativa do fator topográfico da USLE a partir de três algoritmos. **Ambi-Água**, v.5, n.2, p.217-225, 2010.
- PIRES, J. M.; NASCIMENTO, M. C.; SANTANA, R. M.; RIBEIRO, C. A. A. S. Análise da exatidão de diferentes métodos de interpolação para geração de modelos digitais de elevação e obtenção de características morfométricas em bacias hidrográficas. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.10, n.2, p.39-47, 2005.
- PINHEIRO, L. de S.; CUNHA, C. M. L. da. A importância da geração do fator topográfico (LS) da EUPS para modelagem erosiva de bacia hidrográfica. **Revista Geográfica de América Central**, Costa Rica, Número Especial EGAL, p.1-13, II Semestre 2011.
- PRUSKI, F. F. Prejuízos decorrentes da erosão hídrica e tolerância de perdas se solo. In: PRUSKI, F. F. **Conservação do solo e da água**. Viçosa: Ed. UFV, 2009.
- RUTHES, J. M.; TOMAZONI, J. C.; GUIMARÃES, E.; GOMES, T. C. Uso de Sistema de Informação Geográfica na Determinação do Fator Topográfico da Bacia do Rio Catorze, Sudoeste do PR. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.05, p.1099-1109, 2012.
- SANTOS, A. R. **ArcGIS 9.1 total: aplicações para dados espaciais**. Vitória, ES: Fundagres, 2007.
- SILVA, A. M.; ALVARES, C. A. Levantamento de informações e estruturação de um banco dados sobre a erodibilidade de classes de solos no estado de São Paulo. **Geociências**, v. 24, n.1, p.33-41, 2005.
- SILVA, V. C. da. Cálculo automático do fator topográfico (LS) da EUPS, na bacia do Paracatu. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.33, n.1, p.29-34, 2003.
- SERIO, J.; COSTA, C. A. G.; TEIXEIRA, A. dos S.; ORTEGA, E. Aplicação da USLE e SIG na caracterização de três microbacias hidrográficas no Brasil. **Revista Acadêmica: Ciências Agrárias e Ambientais**, v. 6, n. 2, p. 213-221, abr./jun. 2008
- TERRANOVA, O.; ANTRONICO, L.; COSCARELLI, R.; IAQUINTA, P. Soil erosion risk scenarios in the Mediterranean environment using RUSLE and GIS: An application model for Calabria (southern Italy). **Geomorphology**, n.112, p. 228-245, 2009.
- TOMAZONI, J. C.; GUIMARÃES, J. A sistematização dos fatores da EUPS em SIG para quantificação da erosão laminar na bacia do Rio Jirau. **Revista Brasileira de Cartografia**, n.57/03, 2005.
- TONELLO, K. C.; DIAS, H. C. T.; SOUZA, A.L de; RIBEIRO, C. A. A. S.; LEITE, F. P. Morfometria da bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhães-MG. **Revista Árvore**, v.30, n.5, p.849-857, 2006.