

Estimativa do fator L da Equação Universal da Perda de Solo em escala regional – aplicação para o Estado de São Paulo

Grasiela de Oliveira Rodrigues Medeiros¹
Angelica Giarolla¹
Gilvan Sampaio²

¹Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE
Centro de Ciência do Sistema Terrestre – CCST
Caixa Postal 515 – 12227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil
{grasiela.rodrigues, angelica.giarolla}@inpe.br

²Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE
Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos – CPTEC
Rodovia Presidente Dutra, s/n – 12630-000 – Cachoeira Paulista - SP, Brasil
gilvan.sampaio@inpe.br

Abstract. To integrate studies in the Earth System Science context, erosion models were applied only in local scale have been adapted to regional scales such as the Universal Equation for Soil Loss (USLE). Among the parameters required by USLE to estimate soil loss rates the slope length (L) is the main factor favored by advances in the acquisition of Remote Sensing data, especially topographical, and the development of Geographic Information Systems (GIS) and it responsible for satisfactory local-regional adaptation of the model. In this context, the aim of this study was to obtain the L factor map for the Sao Paulo State using the equation of Desmet and Govers (1996), a methodology that employs the concepts of flow direction and accumulate area. Therefore, it was used ArcGIS software and elevation data from TOPODATA project that have a spatial resolution of 30 m. The results showed that the lowest values occurred in interfluves (hilltops) and larger towards the bottom of the valley where there is significant distances from the turning point and flow convergence, and steep slopes (same behavior as the accumulative area). Thus, the higher the L value, the greater the speed and the concentration of runoff, which allows us to infer that these are the areas more conducive to the occurrence of erosion.

Keywords: erosion, GIS, L factor, USLE, topographic attribute.

1. Introdução

Estimar as taxas de perda de solo é uma medida diagnóstica inicial importante para se conhecer a intensidade da degradação do solo. Os modelos de erosão têm sido empregados em diversas escalas (local e regional) de modo a investigar áreas prioritárias para a recuperação do solo através de práticas conservacionistas, sobretudo em regiões agrícolas (Medeiros, 2016). Estes modelos envolvem parâmetros biofísicos e antrópicos (Merritt et al., 2003; Boardman, 2006; Kinnell, 2010; Vente et al., 2013) cuja facilidade para obtenção nos últimos anos, favorecida pelo desenvolvimento de Sistemas de Informação Geográfica (SIG's) e avanços na aquisição de dados por Sensoriamento Remoto, propiciou a disseminação de métodos e análises tornando possíveis aplicações em escalas regionais (Renschler e Harbor, 2002).

Como exemplo, a Equação Universal da Perda de Solo (USLE, do inglês *Universal Soil Loss Equation*), desenvolvida por Wischmeier e Smith (1965, 1978), é uma metodologia destinada à estimativa potencial da erosão em parcelas homogêneas (Bertoni e Lombardi Neto, 2012) que tem sido adotada com êxito nos últimos anos para estimar taxas de erosão em relevos complexos e em escala regional (Fu et al., 2005; Martín-Fernández e Martínez-Núñez, 2011; Tetzlaff et al., 2013; Galdino et al., 2015; Medeiros et al., 2016 *no prelo*). Este modelo relaciona parâmetros climáticos, pedológicos, geomorfológicos, de uso e ocupação do solo e práticas de conservação. Os fatores relacionados à geomorfologia (comprimento de rampa e

declividade) tem sido extraídos automaticamente de dados topográficos correspondendo a uma das principais adaptações metodológicas quando se estende a aplicação da USLE para escalas regionais.

Com relação ao fator L, distância entre a origem do fluxo superficial até o ponto onde o declive decresce (Pulido-Gómes, 2012) e, em termos de erosão hídrica, a perda de solo aumenta com o aumento de L (Wischmeier and Smith, 1978; Desmet and Govers, 1996; Renard et al., 1997) porque ao aumentar a superfície de contato em decorrência do aumento da distância entre o ponto máximo e mínimo de altitude, aumenta o arraste da água sobre o solo gerando um maior número de partículas desprendidas (Mitasova et al., 1996).

Com relação a aspectos metodológicos, o fator L apresenta certa dificuldade na obtenção em escala regional devido às limitações presentes na concepção original do comprimento de rampa determinado na parcela de solo de modo que o objetivo inicial se restringia apenas em determinar a capacidade de transporte de sedimentos pelo escoamento superficial. Diante dessa lacuna diversos modelos/algoritmos têm sido desenvolvidos com o propósito de determinar valores de L automaticamente considerando também aspectos hidrológicos como é o caso de Wischmeier and Smith (1978), Moore and Burch (1986), McCool et al. (1987), Moore and Wilson (1992) e Desmet and Govers (1996) que tem alcançados resultados satisfatórios para o fator L.

Tendo em vista a importância de abordagens que não se limitem a expressar apenas o transporte de sedimentos gerado pelo escoamento superficial, mas que ponderem também os processos hidrológicos e características físicas que controlam processos erosivos (Júnior e Guimarães, 2001), o modelo de Desmet and Govers (1996) combina propriedades hidrológicas como área acumulada e direções de fluxo se adequando de maneira satisfatória à estimativa do fator L em relevos complexos. Essa concepção permite modelar com maior acurácia os processos erosivos provenientes do fluxo laminar para estudos em escalas regionais.

1.1 Objetivo

O objetivo desse artigo é determinar o fator L da USLE para o Estado de São Paulo utilizando técnicas de geoprocessamento e dados de altitude do projeto Topodata a partir da aplicação da metodologia de Desmet e Govers (1996).

2. Metodologia

2.1 Área de estudo

A área de estudo corresponde ao Estado de São Paulo, situado entre os paralelos 19°50'S e 24°30'S e os meridianos 44°W e 53°30'W, com área de 248.209 km² que, em termos econômicos, é protagonista em diversos setores, sobretudo ao que se relaciona à produtividade agrícola. De forma geral, o estado apresenta extensa diversidade biofísica pois faz parte do complexo regional Sudeste, área que engloba grande variedade de solos por se localizar na transição entre as regiões de clima semiárido ("Polígono das Secas", ao Norte de Minas Gerais) e úmido (faixa litorânea e montanhas, incluindo as serras do Mar e da Mantiqueira) e diversidade geológica de rochas que abrange áreas sedimentares nos planaltos a oeste das áreas montanhosas de embasamento cristalino.

Com relação ao clima, o Estado de São Paulo apresenta na sua porção norte/noroeste, clima tropical com inverno seco, Aw; na porção centro-sul predomina o clima subtropical úmido oceânico sem estação seca e com verão quente, Cfa; à nordeste do estado o clima subtropical úmido com inverno seco e verão quente, Cwa, é dominante; na região leste o clima predominante é subtropical úmido oceânica sem estação seca com verão temperado, Cfb, e o litoral apresenta clima tropical sem estação seca, Af (Alvares et al., 2013). Os tipos de solos

de maior ocorrência são os LATOSSOLOS e os ARGISSOLOS distribuídos pelos planaltos e depressão periférica. Na região serrana predominam CAMBISSOLOS e NEOSSOLOS LITÓLICOS e na faixa litorânea GLEISSOLOS, ORGANOSSOLOS e NEOSSOLOS FLÚVICOS (Oliveira et al., 1999).

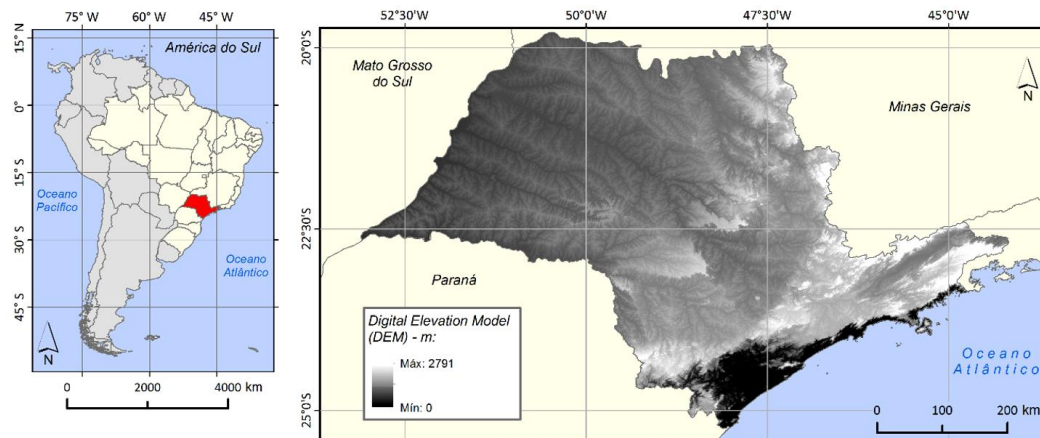


Figura 1. Área de estudo, Estado de São Paulo (Brasil).

2.2 Softwares e dados utilizados

Para a determinação do fator L da USLE foram utilizados dados de altitude do projeto Topodata (Valeriano, 2008) mostrado na Figura 1 e o Sistema de Informação Geográfica ArcGIS versão 10.1 (ESRI, 2014).

2.3 Métodos

O cálculo do fator L foi realizado através do algoritmo proposto por Desmet e Govers (1996) que emprega o conceito de área acumulada e direções de fluxo, como mostra a Equação 1, e envolveu as etapas apresentadas na Figura 2.

$$L_{i,j} = \frac{(A_{i,j-in} + D^2)^{m+1} - (A_{i,j-in})^{m+1}}{(D^{m+2}) * (x_{i,j}^m) * (22,13)^m} \quad (1)$$

onde:

$L_{i,j}$ - comprimento da vertente de uma célula com coordenadas (i,j);

$A_{i,j-in}$ - área de contribuição de uma célula com coordenadas (i,j)

D - tamanho da grade da célula (m);

$x_{i,j}$ - valor da direção do fluxo e

m - coeficiente determinado de acordo com a declividade (θ) que assume os valores 0,5, se $\theta \geq 5\%$, 0,4 se $3\% \leq \theta \leq 5\%$, 0,3 se $1\% \leq \theta \leq 3\%$ e 0,2 se $\theta > 1\%$.

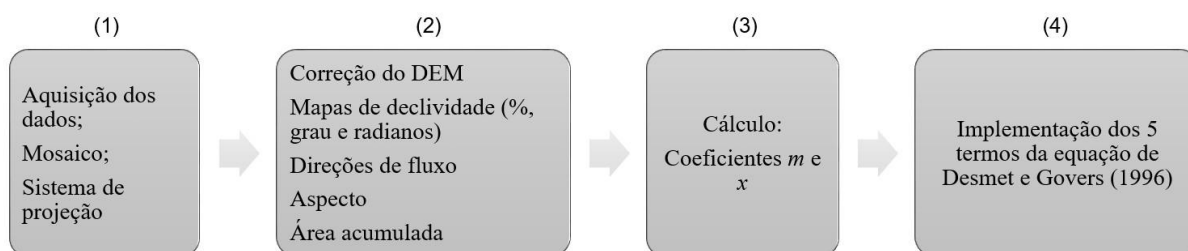


Figura 2. Metodologia para implementação do modelo de Desmet e Govers (1996) e determinação do fator L da EUPS.

A etapa 1 consistiu na aquisição dos dados topográficos via projeto Topodata (Valeriano, 2008), disponíveis em domínio do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) (<http://www.dsr.inpe.br/topodata/>), para o qual Valeriano e Albuquerque (2010) manipularam resultados da *Shuttle Radar Topographic Mission* (SRTM) (Rosen et al., 2000). Para o Estado de São Paulo foi feito *download* de 29 quadrículas que correspondem ao seu limite geopolítico. Estes dados matriciais apresentam grade regular de 30 m (0,000278°) com 5400 colunas e 3600 (exceto para as 4 quadrículas que envolvem o litoral) e foram obtidos no formato “.geotiff” (32 bits *floating point*, suporta números decimais). Seguinte a obtenção dos dados foi criado um mosaico por meio da ferramenta “Mosaic_To_New_Raster” e nesta operação o tipo do pixel *floating point* foi alterado para 16 bits não-assinado onde o valor armazenado pode variar entre zero e 65.535, intervalo que atende às necessidades dos dados utilizados. Com relação ao sistema de projeção, de acordo com o guia de utilização, os dados foram projetados no sistema *Global Coordinate System* com *datum* horizontal *World Geodetic System* estabelecido em 1984 (WGS_1984).

A etapa 2 consistiu primeiramente em realizar correções no dado topográfico de modo a interpolar possíveis falhas (*sinks*) (Valeriano, 2004). A ferramenta utilizada faz parte do pacote de análise espacial *Hydrology* do ArcGIS denominada “Fill”. Em seguida foram gerados automaticamente os mapas de declividade em porcentagem (para o cálculo de m) e em graus (para o cálculo de x) através da ferramenta “Slope” do pacote *surface*. No entanto, o ArcGIS não realiza cálculos utilizando ângulos em graus ou porcentagem, apenas em radianos. Por esta razão, sabendo-se que 1° corresponde a 0,01745 radianos, o mapa da declividade em graus foi multiplicado por 0,01745 para ser convertido em radianos.

Em seguida foram determinadas as direções de fluxo (*local drain direction*), um atributo topográfico da altitude, como explicam Moore et al. (1999), através da ferramenta “Flow Direction” que aponta, para cada pixel, a direção do escoamento (1=leste; 2=sudeste; 4=sul; 8=sudoeste; 16=oeste; 32=noroeste; 64=norte; 128=nordeste). A Figura 3a mostra as possíveis direções de fluxo do pixel em destaque, a Figura 3b mostra valores de altitude hipotéticos e a Figura 3c mostra que o valor da direção de fluxo do pixel em destaque é 64 (norte), direção para a qual se dá o fluxo de escoamento visto que se trata do pixel de menor altitude com relação aos vizinhos (D8).

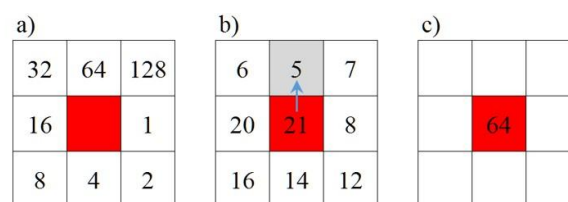


Figura 3. a) Direções de fluxo (pixels com os valores das direções de fluxo): 1=leste; 2=sudeste; 4=sul; 8=sudoeste; 16=oeste; 32=noroeste; 64=norte; 128=nordeste; b) pixels com valores hipotéticos de altitude; c) valor da direção de fluxo para o pixel considerado.

O aspecto é o azimute (ângulo horizontal, α) da projeção da direção determinada pela declividade e corresponde a uma linha perpendicular às curvas de nível, medido em graus e foi determinado para calcular o coeficiente x a ser detalhado no passo 3. A ferramenta utilizada para determiná-lo foi “Aspect” pertencente ao pacote *surface* do ArcGIS. A área acumulada (ou área de contribuição ou fluxo acumulado) de uma determinada célula é a área à sua montante formada pelas células que drenam para esta célula considerada e relaciona-se, juntamente com as direções de fluxo, à delimitação de bacias hidrográficas a partir de dados topográficos. Assim, no ArcGIS a ferramenta utilizada para a determinação automática da

área acumulada é “Flow Accumulation” que requer o mapa da direção de fluxo (determinado anteriormente) e o de altitude (corrigido) para realizar o processamento. Vale destacar que o mapa da área acumulada resultante é fornecido pelo ArcGIS em número de células (pixels). Para a aplicação do modelo de Desmet e Govers (1996) este mapa deve estar em m^2 e, por essa razão, deve-se multiplicá-lo pelo valor da área da célula em m^2 , ou seja, por $900 m^2$ se utilizados dados do projeto Topodata.

A etapa 3 consistiu na geração automática dos coeficientes m e x da Equação 1. O mapa do coeficiente m foi obtido a partir de dois procedimentos. O primeiro trata-se da reclassificação (ferramenta “Reclassify”) do mapa de declividade em 4 categorias cujos novos valores são 2, 3, 4 e 5 propositalmente porque, em seguida (segundo procedimento), os valores de m são obtidos dividindo-se o mapa reclassificado por 10, como mostra a Tabela 1. Esses dois procedimentos são requeridos porque não é possível reclassificar dados matriciais que armazenam números reais no ArcGIS.

Tabela 1. Valores do coeficiente m .

ID	Categorias	Reclassificação	Coefficiente m
1	$\theta < 1\%$	2	0,2
2	$1\% \leq \theta \leq 3\%$	3	0,3
3	$3\% \leq \theta \leq 5\%$	4	0,4
4	$\theta \geq 5\%$	5	0,5

O mapa do coeficiente x foi calculado de acordo com a Equação 2 sendo α o ângulo da direção de fluxo (aspecto). Como coloca Júnior e Guimarães (2001), os valores angulares (α) devem ser reduzidos ao primeiro quadrante trigonométrico para que os valores de x variem entre 1 e 1,4 que são as dimensões mínimas (lado) e máximas (diagonal) do pixel (Figura 4). Estes procedimentos foram feitos através de álgebra de mapas (“Raster Calculator”).

$$x = \text{sen}(\alpha) + \text{cos}(\alpha) \quad (2)$$

onde α é o aspecto.

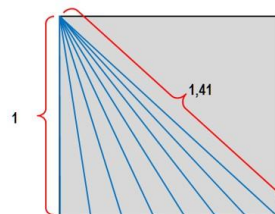


Figura 4. Relações do coeficiente x com as dimensões do pixel.

Para a implementação da Equação 2, etapa 4, no SIG foi utilizada álgebra de mapas através da ferramenta “Raster Calculator” onde a Equação 1 foi dividida em 5 termos. No caso desta aplicação, D é igual a 30 (resolução espacial do dado de altitude utilizado).

3. Resultados e discussão

Em primeiro lugar os autores destacam que ao serem utilizados dados de altitude com resolução espacial de 30 metros para todo o Estado de São Paulo os planos de informação deste trabalho apresentaram, individualmente, 4,63 *Gigabytes*, o que dificulta o processamento em *hardwares* pouco robustos. Wu et al. (2005) afirmam que as taxas de perda de solo apresentam grande sensibilidade em função do fator L , de modo que quanto mais refinado o dado topográfico utilizado, maior a confiabilidade dessas estimativas.

Na Figura 5 estão os resultados intermediários para o cálculo de L segundo o modelo de Desmet e Govers (1996). Como a resolução do dado para a escala de trabalho utilizada é de 30 m, julgou-se inapropriada a apresentação dos resultados intermediários através de mapas de todo o estado de São Paulo. Por isso foi escolhida uma área localizada à Oeste do estado

que faz parte das mesorregiões de Marília e de Bauru para que detalhes pudessem ser visualizados. O mapa do fator L para o Estado de São Paulo é apresentado na Figura 6.

O fator L para o todo o estado variou entre 0 (zero) e 3.141 (média 3 e desvio padrão 14) (Figura 6) sendo que os menores valores ocorreram nos interflúvios (topos de morros) e os maiores no sentido do fundo do vale, justamente onde há distâncias significativas do divisor de águas e de convergência de fluxo, além de altas declividades (mesmo comportamento da área acumulada), condições estas semelhantes àquelas encontradas por Silva (2003) e Michette (2015). O detalhe da Figura 6 revela que, quanto maior o fator L, maiores serão a velocidade e a concentração do escoamento superficial, o que permite inferir que estas são as áreas propícias à ocorrência de erosão laminar.

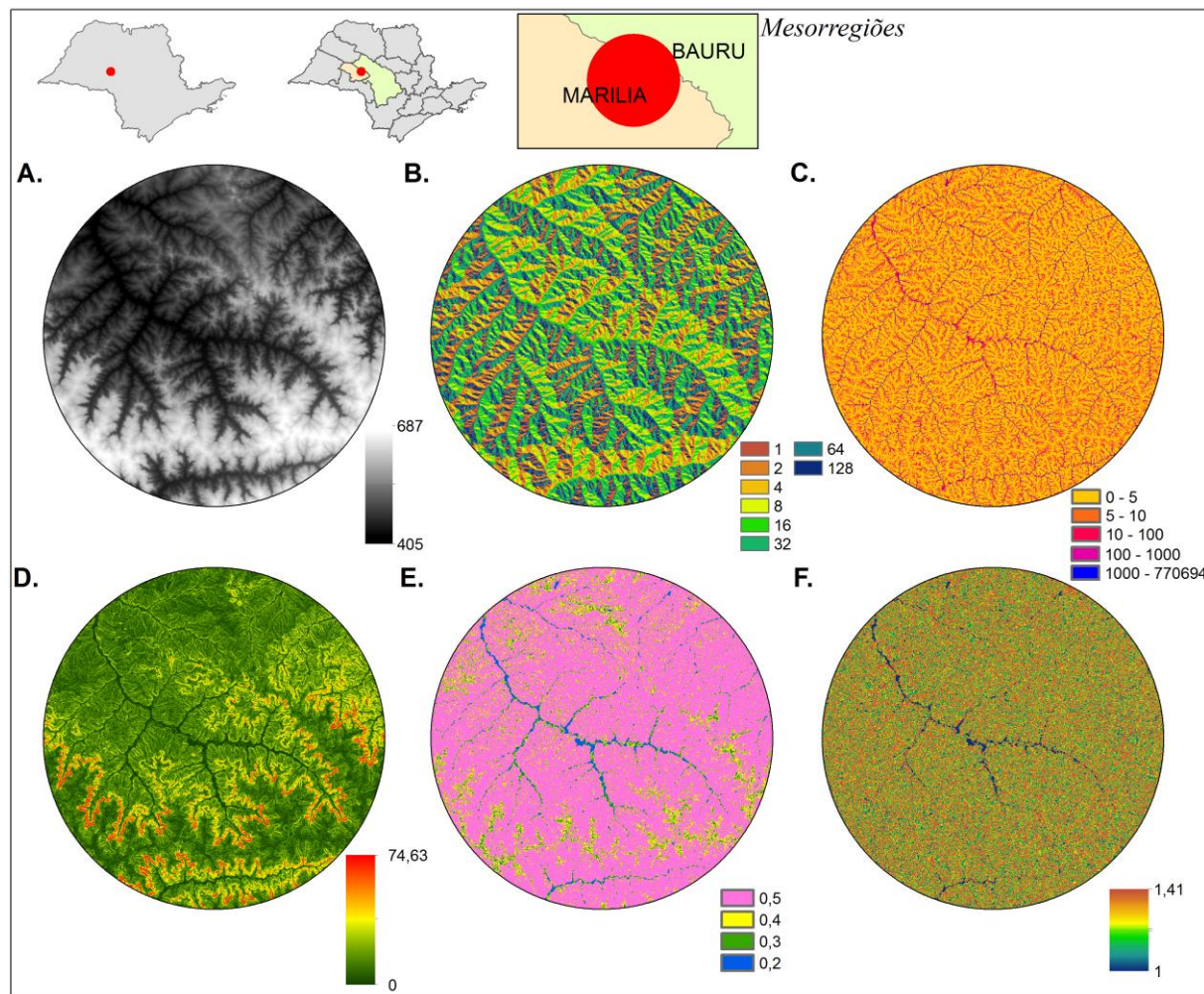


Figura 5. Resultados intermediários. a) DEM (m); b) direções de fluxo; c) área acumulada (número de pixels); d) declividade (%); e) coeficiente m e f) coeficiente x.

A principal diferença entre estes modelos diz respeito à determinação do comprimento de rampa. Em termos gerais, não há dentre os métodos para o cálculo de L um que se destaque (Lino, 2010), entretanto os que consideram área acumulada e outros atributos topográficos com significado hidrológico são considerados mais realísticos pois os processos erosivos provenientes de fluxos laminares são modelados com maior acurácia. Críticas ao modelo de Desmet e Govers (1996) são feitas especialmente por não considerarem o formato da rampa e a mudança do ângulo de inclinação de uma célula para outra ao longo do trajeto da direção do fluxo (Galdino e Weill, 2011), fato considerado no modelo de Van Remortel et al. (2004).

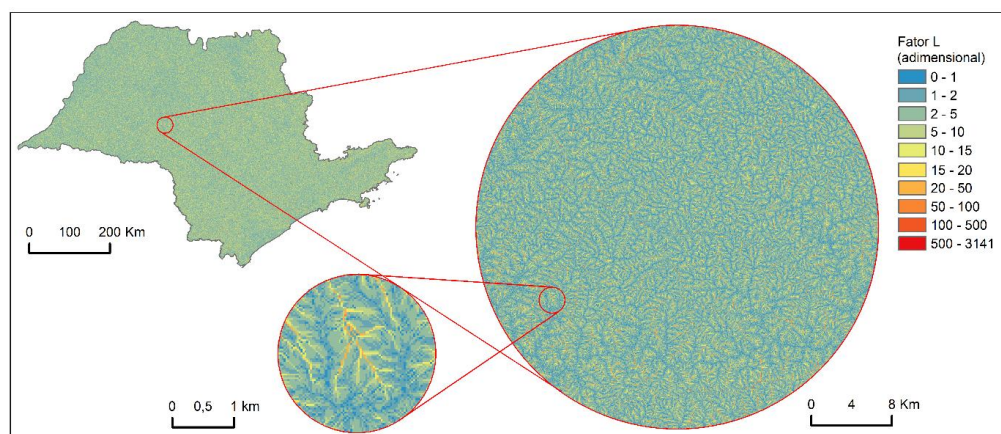


Figura 6. Fator L obtido via metodologia de Desmet e Govers (1996)

4. Conclusões

Este trabalho apresentou o mapa do fator L da USLE para o Estado de São Paulo obtido automaticamente por técnicas de geoprocessamento e utilizando dados do projeto Topodata.

Agradecimentos

Dr. Marcio Valeriano; FUNCATE; Ecometrica (www.ecometrica.com).

Referências Bibliográficas

- Alvares, C.A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, p. 711-728, 2013.
- Bertoni, J.; Lombardi Neto, F. **Conservação do solo**. São Paulo: Ícone, 2012, 355p.
- Boardman, J. Soil erosion science: Reflections on the limitations of current approaches. *Catena*, v. 68, p. 73-86, 2006.
- Bouma, J. Soil science contributions towards Sustainable Development Goals and their implementation: linking soil functions with ecosystem services. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, v. 177, p. 111-120, 2014.
- Chavez, H. M. L. Incertezas na predição da erosão com a USLE: impactos e mitigação. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 34, p. 2021-2029, 2010.
- Desmet, P. J. J.; Govers, G. A GIS procedure for automatically calculating the USLE LS factor on topographically complex landscape units. *Journal of Soil and Water Conservation*, v. 51, p.427-33, 1996.
- ESRI, ArcGIS DESKTOP 10.1. Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute, 2014. CD- ROM.
- Fu, B. J. et al. Assessment of soil erosion at large watershed scale using RUSLE and GIS: a case study in the loess plateau of China. *Land Degradation and Development*, v. 16, p. 73-85, 2005.
- Galdino, S. et al. Large-scale modeling of soil erosion with RUSLE for conservationist planning of degraded cultivated brazilian pastures. *Land Degradation and Development*, v. 27, p. 773-784, 2015.
- Galdino, S., Weill, M. de 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 *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR)*, 15., 2011, Curitiba. *Anais...* São José dos Campos: INPE, 2011. Artigos, p. 4813-4820. Disponível em: < <http://www.dsr.inpe.br/sbsr2011/files/p0942.pdf> >. Acesso em: 01 mai. 2013.
- Janzen, H. H. et al. Global prospects rooted in soil science. *Soil Science Society of America Journal*, v. 75, p. 1-8, 2011.
- Júnior, O.A.C., Guimarães, R.F. Implementação em ambiente computacional e análise do emprego da área de contribuição no cálculo do fator topográfico (LS) da USLE. In: *Simpósio Nacional de Controle de Erosão*, 7., 2001, Goiânia. *Anais...* Goiás: Universidade Federal de Goiás, 2001. Artigos, p. 1-9. Disponível em: < http://www.labogef.iesa.ufg.br/links/simposio_erosao/articles/T025.pdf >. Acesso em: 21 nov. 2008.
- Kinnell, P. I. A. Event soil loss, runoff and the Universal Soil Loss Equation family of models: a review. *Journal of Hydrology*, v. 385, p. 384-397, 2010.
- Lino, J.S. **Evolução do Sistema Plantio Direto e produção de sedimentos no Rio Grande do Sul**. 2010. 118 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Universidade de São Paulo Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba. 2010.
- Martín-Fernández, L.; Martínez-Núñez, M. An empirical approach to estimate soil erosion risk in Spain. *Science of the Total Environment*, v. 409, p. 3114-3123, 2011.

- McCool, D. K. et al. Revised slope steepness factor for the universal soil loss equation. **Transactions of the American Society of Agricultural Engineers**, v. 30, p. 1387–1396, 1987.
- McDonagh, J. Rural geography II: Discourses of food and sustainable rural futures. **Progress in Human Geography**, v. 38, p. 1-7, 2014.
- Medeiros, G. O. R. et al. Estimates of Annual Soil Loss Rates in the State of São Paulo, Brazil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. 2016. (no prelo)
- Medeiros, G. O. R. **Diagnóstico da erosão e a expansão da cultura da cana-de-açúcar no Estado de São Paulo**. 2016. 277 p. (sid.inpe.br/mtc-m21b/2016/06.29.19.24-TDI). Tese (Doutorado em Ciência do Sistema Terrestre) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2016. Disponível em: <<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34P/3LUS58L>>. Acesso em: 16 nov. 2016.
- Merritt, W. S. et al. A review of erosion and sediment transport models. **Environmental Modelling & Software**, v. 18, n. 8-9, p. 761-799, 2003.
- Michette, J.F., **Modelos de previsão de erosão pluvial utilizando SIG: estudo na bacia hidrográfica da Represa do Lobo (BROA), SP**. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Universidade de São Paulo, São Carlos. 2015.
- Mitasova, H., Hofierka, J., Zlocha, M. and Iverson, L. Modelling topographic potential for erosion and deposition using GIS. **International Journal of GIS**, v. 10, n. 5, p.629 - 641, 1996.
- Moore, I. D. et al. Digital Terrain Modelling: a review of hydrological, geomorphological, and biological applications. **Hydrological Process**, v. 5, p. 3-30, 1991.
- Moore, I. D.; Burch, G. J. Physical Basis of the Length-slope Factor in the Universal Soil Loss Equation. **Soil Science Society of America Journal**, v. 50, p. 1294–1298, 1986.
- Moore, I.; Wilson, J. P. Length slope factor for the revised universal soil loss equation: Simplified method of solution. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 47, p. 423-428, 1992.
- Oliveira, J. B. Solos do Estado de São Paulo: descrição das classes registradas no mapa pedológico. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 1999.
- Puig De Le Bellacasa, D. Making time for soil : technoscientific futurity and the pace of care. **Social Studies of Science**, v. 1, p. 691–716, 2015.
- PULIDO-GÓMEZ, J. D. **Estimativa de erosão pela Equação Universal de Perda de Solo (USLE) e transferência de sedimentos**. Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas - Universidade de São Paulo (USP), Piracicaba, 2012.
- Renard, K.G., Foster, G.R., Weesies, G.A., McCool, D.K., Yoder, D.C. Predicting Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation Planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). In *Agriculture Handbook*. Washington: US Department of Agriculture Research Service, 1997. 348 p.
- Renschler, C. S.; Harbor, J. Soil erosion assessment tools from point to regional scales — the role of geomorphologists in land management research and implementation. **Geomorphology**, n. 47, p. 189–209, 2002.
- Rodríguez, E., Morris, C.S., Belz, J.E. A Global Assessment of the SRTM Performance. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, v. 72, 249–260, 2006.
- Silva, V.C. da, 2003. Cálculo automático do fator topográfico (LS) da EUPS, na bacia do Rio Paracatu. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 33, p. 29–34, 2003.
- Tetzlaff, B. et al. Distributed modelling of mean annual soil erosion and sediment delivery rates to surface waters. **Catena**, v. 102, p. 13–20, 2013.
- Valeriano, M. M. TOPODATA: guia de utilização de dados geomorfo métricos locais. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2008.
- Valeriano, M. M.; Albuquerque, P. C. G. TOPODATA: processamento dos dados SRTM. São José dos Campos: INPE, 2010. 79 p.
- Valeriano, M. M. Modelo Digital de Elevação com dados SRTM disponíveis para a América do Sul. INPE. São José dos Campos, SP. 2004.
- Van Remortel, R. D. et al. Computing the ls factor for the revised universal soil loss equation through array-based slope processing of digital elevation data using a C++ executable. **Computers & Geosciences**, v. 30, p. 1043- 1053, 2004.
- Vente, J. et al. Predicting soil erosion and sediment yield at regional scales: Where do we stand? **Earth-Science Reviews**, v. 127, p. 16–29, 2013.
- Wischmeier, W. H. E.; Smith, D. D. Predicting rainfall erosion losses from cropland east of the Rocky Mountains. Washington: United States of Department of Agriculture, 1965.
- Wischmeier, W. H. E.; Smith, D. D. Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning. Washington: United States Department of Agriculture, 1978.
- Wu, S. et al, An evaluation of grid size uncertainty in empirical soil loss modeling with digital elevation models. **Environmental Modeling & Assessment**, v. 10, p. 33-42, 2005.