Determinação do fator topográfico utilizando Modelos Digitais de Elevação de diferentes fontes e resoluções para a Bacia Hidrográfica do Rio Conceição - RS

Viviane Capoane¹ Leonardo José Cordeiro Santos¹ Jean Paolo Gomes Minella² Tales Tiecher² Romário Trentin³

¹Universidade Federal do Paraná Departamento de Geografia, Centro Politécnico, Bloco 5, Sala PH17 Av. Cel. Francisco H dos Santos, 100 - 81531-980 Caixa Postal 19001 Curitiba – PR. capoane@gmail.com; santos@ufpr.br

² Universidade Federal de Santa Maria Departamento de Solos, Centro de Ciências Rurais, Prédio 42, Campus - Bairro Camobi; 97105-900 - Santa Maria, RS. jminella@gmail.com; tales.t@hotmail.com

³ Universidade Federal de Santa Maria Departamento de Geografia, Centro de Ciências Naturais e Exatas, Prédio 17, Campus -Bairro Camobi; 97105-900 - Santa Maria, RS. tocogeo@yahoo.com.br

Abstract.

Knowledge of sediment delivery to and from rivers and streams is essential evaluate the impact of land use on water quality. The impact of current and alternative land use needs to be investigated in order to determine appropriate land management strategies to maintain or obtain good water quality. The influence of relief at the erosion risk is usually calculated by the topographic factor (LS) from the Universal Soil Loss Equation – USLE and its derivations RUSLE. This work evaluates the influence of the grid spacing in Digital Elevation Models (DEMs) on the determination of the topographic factor for the Rio Conceição hydrographic basin – RS. The DEMs employed in this study are those from the STRM mission (90 m) and TOPODATA project (30 m) and one generated from the topographic charts published by the Geographic Service Directorate of the Brazilian Armed Forces with a 1:50.000 scale (20 m). The DEMs generated from both the STRM and TOPODATA sources are found to be inadequate for the determination of the topographic factor with a tendency to underestimate erosive potential in the undulating areas and overestimate the erosive potential for the planar areas. The DEM generated by the topographic charts gives the best estimate of declivity values, especially the areas with high declivity, and gives the best estimate of the erosive potential for land forms in the hydrographic basin studied.

Palavras-chave: Topographic factor; mathematical models; soil erosion; sediment yield; DEM; GIS.

1. Introdução

A erosão do solo é um processo complexo de degradação que leva à diminuição da qualidade e da produtividade do solo (Lal, 2001). Além disso, o aporte de sedimentos para os cursos d'água causa impacto na qualidade da água e aceleração da sedimentação natural de rios e reservatórios. Dada à degradação ambiental resultante e suas importantes consequências ecológicas e econômicas, a necessidade de mitigar a erosão do solo e diminuir o aporte de sedimentos para cursos d'água hoje é amplamente aceita (Joziasse et al., 2007), no entanto, a tomada de decisões para a gestão de sedimentos na escala de bacia hidrográfica representa uma tarefa desafiadora e é dependente da identificação das fontes que exigem correção.

Como a identificação das fontes da erosão e medição do aporte de sedimento não pode ser feita em larga escala, modelos matemáticos são usados para executar esta tarefa. A modelagem da erosão do solo é uma ferramenta que auxilia na identificação e classificação de áreas quanto ao risco de erosão, na compreensão dos mecanismos do processo e previsão de cenários, fornecendo informações de apoio para a alocação de recursos e os tipos de práticas que irão fornecer a proteção mais eficaz.

Esta análise se tornou mais acessível nos últimos anos em decorrência dos avanços nas técnicas de coleta da informação espacial, associados às formas avançadas de armazenamento de dados informatizados disponíveis para seu manejo (Ferrero, 2004). Com o desenvolvimento do Sistema de Informação Geográfica (SIG) e a disponibilização de dados de Sensoriamento Remoto (SR), a Universal Soil Loss Equation (USLE) (Wischmeier e Smith, 1960, 1965, 1978) e derivações (Renard et al., 1997), passaram a ser empregadas para avaliar a degradação em grandes áreas, possibilitando estimar a abrangência dos processos erosivos e sua intensidade. Contudo, uma grande limitação no uso de modelos empíricos de erosão como USLE/RUSLE em escala de bacias hidrográficas é a dificuldade em estimar valores adequados do fator topográfico comprimento da rampa (L) e declividade (S) para aplicações em SIG, pois estes modelos fazem uma grande generalização da realidade ao adotar um comprimento de declive médio da área, sem considerar a influencia do fluxo convergente e divergente e não proporcionando informações quanto às fontes e sumidouros dos materiais erodidos (Warren et al., 2005). A distribuição espacial da erosão do solo na paisagem prevista por tais modelos deturpa as condições presentes e tende a superestimar a erosão em escala de bacia hidrográfica ou paisagem (Van Remortel et al., 2001).

Em decorrência das limitações existentes na concepção original do comprimento de rampa, o fator L da RUSLE é substituído pela área de contribuição específica (*specific catchment area*) (Moore e Burch, 1996a; 1996b; Desmet e Govers, 1996). A área de contribuição específica (A_s), ao substituir o L gera a rede de erosão calculada como a convergência do fluxo de sedimentos, explicando o duplo fenômeno de convergência de drenagem e sulcamento (Gertner et al., 2002). A substituição da variável L pela variável A_s é embasada na teoria da unidade de energia do fluxo (*Unit Stream Power Theory*) (Yang, 1972; 1984).

A base física da equação do fator topográfico (LS) foi desenvolvida com base em um modelo digital de elevação (MDE) (Moore e Burch, 1986; Moore e Wilson, 1992), logo, a precisão da previsão do LS está relacionada com a precisão e espaçamento da grade do MDE. Assim, considerando que a análise topográfica é sensível à resolução e fonte do MDE, este trabalho tem como objetivo determinar o fator topográfico com base nos dados SRTM (90 m) e TOPODATA (30 m), comparando os resultados com o LS obtido a partir de cartas topográficas na escala 1:50.000 (20 m) para a bacia hidrográfica do rio Conceição, Rio Grande do Sul.

2. Metodologia do Trabalho

2.1 Área de Estudo

A bacia hidrográfica (BH) do Rio Conceição está situada no noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, possuindo uma área de drenagem de 800 km². Seus limites encontram-se entre as coordenadas UTM 204000 a 247000 m E e 6819000 a 6854000m S, sistema de projeção de coordenadas WGS 84, zona 22 sul.

Conforme Rossato (2011), o clima da região corresponde ao subtropical III: úmido com variação longitudinal das temperaturas médias. A temperatura média anual varia entre 17-20°C. A temperatura média do mês mais frio oscila entre 11-14°C e a temperatura média do mês mais quente varia entre 23-26°C. A precipitação fica entre 1700-1800 mm ao ano em 100-120 dias de chuva.

A Geologia da bacia é composta predominantemente por basaltos, Formação Serra Geral. A sequência básica é constituída predominantemente por rochas efusivas, as quais são reunidas em três grandes grupos: basaltos, andesitos e basaltos vítreos (Frascá e Sartori, 1998). Uma pequena porção da bacia está sobre a Formação Tupanciretã, que é composta por um conjunto litológico bastante heterogêneo em que predominam conglomerados, arenitos e intercalações de delgadas camadas de argila. Sua espessura média é de 60 m atingindo no máximo, cerca de 80 m, sua origem é continental fluvial, pertencente ao terciário inferior (Menegotto et al., 1968).

As características do relevo em si estão inteiramente relacionadas à litologia e ao clima do local, de modo geral, constituído por colinas suave onduladas (classe de declividade predominante 3-8%). As classes de solo encontradas na BH são os Latossolos, Argissolos, Nitossolos e Neossolos. O Latossolo Vermelho é a classe de maior expressividade (Streck et al., 2008). Os padrões de lineamentos estão associados às estruturas tectônicas dúcteis e rúpteis de direção NE-SW e NW-SE, derivadas do Ciclo Brasiliano e da reativação cretácea respectivamente. Os afluentes do rio Conceição seguem um padrão de drenagem paralelo na direção NW-SE e o canal de drenagem principal NE-SW. As nascentes têm comportamento intermitente, sujeitas a influência de períodos de estiagem e frequentemente ficam secas. Nas áreas de topografia mais baixa e plana, os arroios assumem um comportamento perene. Além da rede de drenagem natural, existem ainda inúmeros espelhos d'água artificiais (açudes e barragens), que são usados para a irrigação de culturas agrícolas.

Conforme Didoné et al. (2012), o uso da terra predominante é agricultura com a produção de grãos de soja e trigo e cultivo de pequenas áreas de pastagem no período de inverno (aveia e azevém) para o gado de leite. O manejo do solo para a produção de grãos é baseado no sistema de plantio direto, contudo, são poucas as propriedades que possuem barreiras físicas para a contenção da enxurrada (terraços e cultivo em contorno). A BH estudada está inserida nos municípios de Augusto Pestana, Boa Vista do Cadeado, Ijuí e Cruz Alta.

2.2 Atributos Topográficos

A base para a extração dos atributos topográficos é um MDE hidrologicamente consistente da bacia hidrográfica. Visando analisar a influência de diferentes fontes de informações topográficas na modelagem da erosão da BH, foram comparados os valores de LS calculados de três fontes de dados: cartas topográficas da Diretoria do Serviço Geográfico (DSG) do Exército na escala 1:50.000; sensores orbitais SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) e do projeto TOPODATA, que é um refinamento dos dados SRTM executado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) (Valeriano, 2004).

2.2.1 Dados Cartográficos e Sensores Orbitais

Os dados cartográficos utilizados (rede de drenagem, curvas de nível e pontos cotados) foram adquiridos no formato digital de um banco de dados da Universidade Federal do Rio

Grande do Sul (UFRGS) (Hasenack e Weber, 2010). Antes de proceder à interpolação para geração do MDE realizou-se uma verificação da existência de erros provenientes do processo de digitalização. A interpolação dos dados para a geração do MDE foi realizado pelo método *Topogrid* desenvolvido para estudos hidrológicos (Hutchinson, 1989). Na interpolação manteve-se a resolução espacial das cartas topográficas (20 m).

Os dados orbitais utilizados neste trabalho foram SRTM e projeto TOPODATA. Os dados SRTM, com resolução espacial de ± 90 m e elipsoide de referência WGS84, foram obtidos gratuitamente no site da *United States Geological Survey* (USGS) no endereço http://dds.cr.usgs.gov/srtm/version2_1/SRTM3/. Para cobrir toda a área de estudo foi utilizada a grade srtm_25_18 (27.50 S - 52.50 W). Os dados do projeto TOPODATA com resolução de ± 30 m, também são fornecidos gratuitamente pelo INPE e estão disponíveis no endereço http://www.dsr.inpe.br/topodata/acesso.php. Para cobrir completamente a área de estudo, foram necessárias as seguintes grades: 28s54 e 28s555.

A partir destes três MDEs, realizaram-se as operações preliminares para o cálculo do fator topográfico como a área acumulada (A_c), declividade (β), aspecto (φ) e área de contribuição específica (A_s). O software utilizado foi o ArcGIS 10 (ESRI, 2011).

2.2.2 Extração dos Atributos Topográficos Primários e Secundários

Os ângulos $\beta \in \varphi$ foram calculados com base no valor de altitude das células adjacentes utilizando-se uma operação de vizinhança (Liu et al., 2009), enquanto a área de contribuição foi calculada por meio de algoritmos de distribuição do fluxo. Para este trabalho o algoritmo empregado foi o *Deterministic 8 (D8)* (O'Callanghan e Mark, 1984). Considerando que o fluxo do escoamento superficial em determinada célula do MDE possui direção e sentido equivalentes ao ângulo de orientação de vertentes (φ), a largura do fluxo que passa por esta célula pode ser calculada por meio da Equação 1, onde *D* corresponde ao espaçamento da grade do MDE. A *A_s* é expressa por meio da razão entre a área de contribuição pela largura do fluxo, Equação 2.

$$w = D\left(|sen\varphi| + |cos\varphi|\right) \tag{1}$$

$$A_s = \frac{Ac}{w} \tag{2}$$

Posteriormente foi efetuado o cálculo do fator topográfico, Equação 3, para a bacia hidrográfica do Rio Conceição.

$$LS = \left(\frac{As}{22.13}\right)^m \left(\frac{Sen\beta}{0.0896}\right)^n \tag{3}$$

No qual A_s corresponde à área de contribuição específica por unidade de largura ortogonal à linha de fluxo (m² m⁻¹), β é a declividade expressa em graus radianos, 22,13 e 0,0896 são o comprimento e declive gráfico padrão da USLE, respectivamente. Os expoentes *m* e *n* refletem a interação entre os diferentes tipos de fluxo, assim como o transporte e desprendimento de solo. Os expoentes utilizados neste trabalho foram 0,4 e 1,3 (Moore e Wilson, 1992, 1994).

3. Resultados e Discussões

O MDE gerado a partir das cartas topográficas da DSG permitiu estimar os valores de declividade com maior detalhamento, favorecendo a detecção de áreas com alta declividade menos perceptíveis nas superfícies dos MDEs gerados a partir dos dados SRTM e TOPODATA.

Observando a Tabela 1, verifica-se a predominância da classe de relevo suave-ondulado, (3 a 8%), para as três bases analisadas. As classes com relevo suave (declividade 0 - 3%) encontram-se nas várzeas e interflúvios. As áreas de declive mais acentuado encontram-se na meia encosta e, em alguns trechos ao longo das drenagens. A distribuição das classes de declividade da BH é representativa da geomorfologia do planalto do Rio Grande do Sul, caracterizado por um relevo suave ondulado.

| Tabela 1. Frequência relativa e acumulada das classes de declividade da Bacia Hidrográfica |
|--|
| do Rio Conceição para as três bases cartográficas analisadas. |

| Classes | CARTA TOPOGRÁFICA (20 m) | | | TOPODATA (30 m) | | | SRTM (90 m) | | |
|--------------------|--------------------------|---------------------|----------------------|-----------------|---------------------|----------------------|-------------|---------------------|----------------------|
| Declividade (%) | Área (ha) | Fr. relativa (%) | Fr. acumulada (%) | Área (ha) | Fr. relativa (%) | Fr. acumulada (%) | Área (ha) | Fr. relativa (%) | Fr. acumulada (%) |
| 0 - 3 | 19841,32 | 24,63 | 24,63 | 16112,05 | 20,00 | 20,00 | 18053,05 | 22,44 | 22,44 |
| 3 - 8 | 30253,89 | 37,55 | 62,18 | 37541,69 | 46,61 | 66,61 | 44273,27 | 55,03 | 77,47 |
| 8 - 13 | 18303,12 | 22,72 | 84,90 | 21840,61 | 27,11 | 93,72 | 16676,06 | 20,73 | 98,10 |
| 13 - 20 | 9542,28 | 11,84 | 96,74 | 4598,73 | 5,71 | 99,43 | 1396,44 | 1,74 | 99,93 |
| 20 - 45 | 2585,28 | 3,21 | 99,95 | 457,74 | 0,57 | 99,99 | 57,51 | 0,07 | 99,99 |
| > 45 | 42,36 | 0,05 | 100 | 0,09 | 0,00 | 100 | 0,00 | 0,00 | 100 |

Os resultados do fator topográfico são expressos na Tabela 2, Figura 1. Verifica-se a predominância das classes com pequenos valores (0 - 0.4 e 0.4 - 0.8) sendo 78,54%, 90,85 % e 98,1% da área total da BH para as fontes carta topográfica, TOPODATA e SRTM, respectivamente. Essas áreas coincidem, predominantemente, com as de relevo suave nos interflúvios e várzeas. Considerando que o relevo da bacia é predominantemente suave ondulado, a resolução da base SRTM mostra-se inadequada para a determinação do fator topográfico, pois estaria subestimando o potencial erosivo nas áreas com relevo ondulado e superestimando o potencial erosivo nas áreas planas. Deste modo, os valores do LS obtidos a partir das cartas topográficas melhor traduzem o potencial erosivo característico das formas do terreno da bacia hidrográfica.



TOPODATA (**B**) e SRTM (**C**).

Apesar dos resultados do fator topográfico obtidos da base TOPODATA estarem melhor distribuídos quando comparado aos da base SRTM, o MDE TOPODATA foi obtido da interpolação do MDE SRTM, logo os erros poderão se propagar através do modelo hidrológico e comprometer a precisão das simulações. Comparando os dados TOPODATA com os da carta topográfica percebe-se uma tendência a superestimação do potencial erosivo para as classes 0 - 0.4 = 0.4 - 0.8 (Tabela 2).

| Classes LS | CARTA TOPOCRÁFICA (20 m) | | | TOPODATA (20 m) | | | SPTM (00 m) | | |
|---------------|--------------------------|---------------------|----------------------|-----------------|---------------------|----------------------|-------------|---------------------|----------------------|
| | Área (ha) | Fr. relativa (%) | Fr. acumulada (%) | Área (ha) | Fr. relativa (%) | Fr. acumulada (%) | Área (ha) | Fr. relativa (%) | Fr. acumulada (%) |
| 0 - 0.4 | 44680 | 55,46 | 55,46 | 52856 | 65,618 | 65,618 | 65947 | 81,97 | 81,97 |
| 0.4 - 0.8 | 18595 | 23,08 | 78,54 | 20330 | 25,239 | 90,857 | 12974 | 16,13 | 98,09 |
| 0.8 - 1.6 | 13594 | 16,87 | 95,41 | 6667 | 8,276 | 99,134 | 1457 | 1,81 | 99,90 |
| 1.6 - 3.2 | 3425 | 4,25 | 99,66 | 673 | 0,835 | 99,969 | 73 | 0,09 | 99,99 |
| > 3.2 | 273 | 0,34 | 100 | 25 | 0,031 | 100 | 5,67 | 0,01 | 100 |

| Tabela 2. Frequência relativa e | e acumulada do fator topo | ográfico da Bacia | Hidrográfica do Rio |
|---------------------------------|---------------------------|--------------------|---------------------|
| Conceição | para as três bases cartog | ráficas analisadas | |



Figura 2. Recorte ilustrando o fator topográfico gerado a partir das cartas topográficas da DSG (20 m) (A) TOPODATA (30 m) (B) e SRTM (90 m) (C) para a bacia hidrográfica do Rio Conceição.

Cabe ressaltar que, embora, a frequência de distribuição dos dados esteja melhor distribuída na base carta topográfica, as informações contidas nas cartas foram geradas a partir de levantamentos fotogramétricos de 1975, quando técnicas mais antigas que as atuais eram empregadas na confecção de mapas. Ainda, considerando que a agricultura irrigada ocupa grandes áreas da bacia hidrográfica em estudo, muitas feições do terreno já foram alteradas, tanto para facilitar a passagem do maquinário agrícola e deslocamento dos pivôs de irrigação, quanto em função dos processos de esculturação natural da paisagem.

4. Conclusões

Das três bases utilizadas neste trabalho, a frequência relativa está melhor distribuída nos dados da base carta topográfica. A redução do espaçamento da grade SRTM de 90 m para 30 m – refinamento TOPODATA, altera a distribuição dos valores do fator topográfico apresentando tendência à superestimação do potencial erosivo em algumas áreas. Isso demonstra que a interpolação de MDEs na tentativa de obter uma resolução mais fina poderá propagar erros através do modelo hidrológico, consequentemente, comprometer a precisão das simulações. Assim, considerando que a resolução dos modelos digitais de elevação influencia diretamente no cálculo das variáveis topográficas, consequentemente na modelagem hidrológica, esta deve primar por MDEs que representem fidedignamente as formas do relevo.

Referências Bibliográficas

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**, Ankeny, v. 51, n. 5, p. 427-433 Sept./Oct, 1996.

Didoné, E. J.; Minella, J. P. G.; Reichert, J. M.; Dalbianco, L.; Barrros, C. A, P.; Ramon, R. Impacto da agricultura conservacionista na produção de sedimentos em duas grandes bacias hidrográficas rurais. In: X Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos – ENES. **Anais.** Foz do Iguaçu-PR. dez/2012.

ESRI, 2011. ArcGIS Desktop: Release 10. Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute.

Ferrero, V. O. **Hidrologia computacional y modelos digitales del terreno**: teoria, practica y filosofia de una nueva forma de analisis hidrologico. [S.l.: s.n.], 2004. 364 p.

Frascá, M. H. B. O.; Sartori, P. L. P. Minerais e rochas. In: Oliveira, A. M. S.; Brito, S. N. A. de. (ed.). **Geologia de engenharia**. São Paulo: Associação brasileira de geologia de engenharia, 1998. 586 p.

Gertner, G. et al. Effect and uncertainty of digital elevation model spatial resolutions on predicting the topographical factor for soil loss estimation. **Journal of Soil and Water Conservation**, Ankeny, v. 57, n. 3, p. 164-174, May/June, 2002.

Hasenack, H.; Weber, E. (org.). **Base cartográfica vetorial contínua do Rio Grande do Sul - escala 1:50.000.** Porto Alegre, UFRGS-IB-Centro de Ecologia. 2010. 1 DVD-ROM (Série Geoprocessamento, 3).

Jenson S.K.; Domingue, J.O. Extracting Topographic Structure from Digital Elevation Data for Geographic Information System Analysis. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, 54 (11): 1593-1600, 1988.

Lal, R. Soil degradation by erosion. Land Degradation & Development, 2001, 12 (6): 519–539.

Liu, H.; Fohrer, N.; Hormann, G.; Kiesel, J. Suitability of S factor algorithms for soil loss estimation at gently sloped landscapes. **Catena**, v. 77, p. 248-255, 2009.

Hutchinson, M.F. A new procedure for gridding elevation and stream line data with automatic removal of spurious pits. **Journal of Hydrology**, v. 106, p. 211-232, 1989.

Joziasse, J. et al. Sediment management objectives and risk indicators. Sustain Manage Sed Resour, 3:9-75. 2007.

Menegotto, E.; Sartori, P. L. P.; Maciel Filho, C. L. Nova sequência sedimentar sobre a Serra Geral no Rio Grande do Sul. **Publicação Especial do Instituto de Solos** e Culturas, Seção Geologia e Mineralogia, Santa Maria, 1:1-19, 1968.

Mitasova, H.; Hofierka, J.; Zlocha, M.; Iverson, R.L. Modeling topographic potential for erosion and deposition using GIS. International Journal of Geographical Information Systems (in press), 1996.

Moore, I.D.; Wilson; J.P. Reply to "Comment on Length-slope factors for the Revised Universal Loss Equation: Simplified method of estimation" by George R. Foster. **Journal of Soil and Water Conservation** 49(2): 174-180, 1994.

Moore, I.D.; Wilson, J.P. Length-slope factors for the Revised Universal Soil Loss Equation: Simplified method of estimation. Journal of Soil and Water Conservation, 47, 423-428, 1992.

Moore, I.D.; Burch, G.J. Modeling erosion and deposition: topographic effects. **Transactions of the America**, **Science Agricultural Engineering**, St. Joseph, v. 29, n. 6, p. 1624-1640, Dec, 1986a.

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**, Madison, v. 50, n. 5, p. 1294-1298, Sept./Oct. 1986b.

O'Callaghan, J.F.; Mark, D.M. The extraction of drainage networks from digital elevation data. **Computer Vision, Graphics, and Image Processing**, v. 28, p. 323-344, 1984.

Renard, K. G. et al. **Predicting soil erosion by water**: a guide to conservation planning with the revised universal soil loss equation (RUSLE). 1997. Washington: USDA 1997. 404 p. (Agriculture handbook, n. 703).

Rossato, M.S. **Os climas do Rio Grande do Sul:** variabilidade, tendências e tipologia. 2011. 240 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2011.

Streck, E.V. et al., Solos do Rio Grande do Sul. 2.ed. rev. e ampl. Porto Alegre: Emater/RS, 2008. 222p.

Warren, S.D. et al. Validation of a 3-D enhancement of the Universal Soil Loss Equation for prediction of soil erosion and sediment deposition. **Catena**, Amsterdam, v. 64, n. 2/3, p. 281-296, Dec. 2005.

Wischmeier, W.H.; Smith, D.D. **Predicting rainfall erosion losses**: a guide to consevation planning. Washington: USDA, 1978. 58 p. (Agriculture Handbook, n. 537).

Yang, C.T. Unit stream power and sediment transport. Journal of Hydrology. Div., Proc. Am. Soc. Civil Eng. 98:1805-1826, 1972.

Yang, C.T. Unit stream power equation for gravel. Journal of Hydrology. Div., Proc. Am. Soc. Civil Eng., 110:1783-1797, 1984.

Valeriano, M. M. **Modelo digital de elevação com dados SRTM disponíveis para a América do Sul**. São José dos Campos, SP: INPE: Coordenação de Ensino, Documentação e Programas Especiais (INPE-10550-RPQ/756). 2004, 72p.

Van Remortel, R.; Hamilton, M.; Hickey, R. Estimating the LS factor for RUSLE through iterative slope length processing of digital elevation data. **Cartography**, Brisbane, v. 30, n. 1, p. 27-35, Jun. 2001.