

ESTIMATIVA DO FATOR TOPOGRÁFICO "LS" UTILIZANDO MODELOS DIGITAIS DE ELEVÇÃO COM DIFERENTES RESOLUÇÕES ESPACIAIS

Cavalcante, R. R. ¹, Lopes, F. B. ², Calou, V.B.C. ³, Gomes, F. E. ⁴, Teixeira, A. dos S. ⁵

¹ Engenheiro Agrônomo, Mestrando Engenharia Agrícola, Depto. de Engenharia Agrícola, UFC, (85) 996919175, raireboucas@hotmail.com

² Tecnólogo em Irrigação, Prof. Doutor, Depto. de Engenharia Agrícola, UFC, Fortaleza –CE

³ Engo Agrônomo, Prof. Mestre, IFCE, Iguatu -CE

⁴ Tecnólogo em Irrigação, Doutorando em Engenharia Agrícola, Depto. de Engenharia Agrícola, UFC, Fortaleza –CE

⁵ Engo Agrônomo, Prof. Ph.D., Depto. de Engenharia Agrícola, UFC, Fortaleza –CE

Apresentado no
XLVII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2018
06, 07 e 08 de agosto de 2018 - Brasília - DF, Brasil

RESUMO: A erosão hídrica é um dos fatores mais importantes para o entendimento da dinâmica do solo, a qual é potencializada pela topografia do terreno. O objetivo deste trabalho foi identificar o fluxo do fator topográfico na Bacia Experimental Vale do Curu, no município de Pentecoste – Ceará – Brasil, através de modelos digitais de elevação (MDE) oriundos de diferentes plataformas, com diferentes resoluções espaciais, sendo: SRTM (30 metros de resolução), Alos Palsar (12,5 metros de resolução) e VANT (Veículo Aéreo Não Tripulado – 0,1 metro de resolução). Foram aplicadas duas metodologias para estimar o fator topográfico, sendo: o método de Bizuwerk, que se baseia no fluxo acumulado dos pixels do MDE e; o método de Bertoni e Lombardi Neto, que estima o fator topográfico com base na declividade do terreno e valores altimétricos disponíveis pelo MNT. A bacia apresenta declividade suave ondulada e fator LS médio variando de 0,7 a 9,3 dependendo do modelo de superfície utilizado nas metodologias, tendo sido observada uma maior precisão de cálculo proveniente do MNT gerado a partir do VANT, devido sua alta resolução espacial, o que indica uma melhor representação da topografia local. Os métodos apresentaram valores próximos aos calculados manualmente através das equações empíricas usadas na USLE.

PALAVRAS-CHAVE: EROSÃO, MDE, VANT

ESTIMATION OF THE "LS" TOPOGRAPHIC FACTOR USING DIGITAL ELEVATION MODELS WITH DIFFERENT SPACE RESOLUTIONS

ABSTRACT:

Water erosion is one of the most important natural factors in understanding soil dynamics, which is enhanced by the topography of the terrain. The objective of this work was to identify the flow of the topographic factor in the Bacia Experimental Vale do Curu, in Pentecoste - Ceará - Brazil, through digital elevation models (DEM) from different platforms with different spatial resolutions, such as: SRTM (30 GSD), Alos Palsar (12.5 GSD) and UAV (Unmanned Aerial Vehicle, 0.1 GSD). Two methodologies were applied to estimate the topographic factor (LS factor: slope-length-steepness), being: the Bizuwerk method, which is based on the accumulated flow of the MNT pixels and; the Bertoni method, which estimates the LS factor based on the slope of the terrain and the altimetric values available by the MDE. The experimental basin presents smooth undulating slope and LS factor varying from 0.7 to 9.4 depending on the surface model used in both methodologies and a higher calculation accuracy was observed from the MNT generated from the VANT images due to its high spatial resolution, which indicates a better representation of the local topography. The methods presented values close to those calculated manually through the empirical equations used in USLE.

KEYWORDS: EROSION, DEM, VANT

INTRODUÇÃO

O processo erosivo é decorrente de diversos fatores como o clima, solos, topografia, uso do solo e fatores socioeconômicos (ZHANG et al., 2018). As consequências locais da erosão incluem a degradação do solo, diminuição da fertilidade do solo, desertificação, redução na infiltração e capacidades de armazenamento de água, e fora do local (jusante), inclui a sedimentação de reservatórios e rios, poluição da água, aumento da possibilidade de enchentes.

Diversos estudos tentam modelar a erosão através de parâmetros que influenciam o processo erosivo, em destaque está a Equação Universal de Perda de Solo Revisada (RUSLE) desenvolvida pelo serviço de pesquisa em agricultura americano (*Agricultural Research Service*) com boa precisão nas estimativas de perda de solo (SANTOS, 2009). A topografia influencia diretamente no equacionamento proposto por Wischmeier & Smith, sendo o comprimento de rampa e a declividade os principais fatores que afetam a perda de solo (LIU et al. 2000).

Os Modelos Numéricos de Terreno (MNT's) fornecem informações imprescindíveis para o desenvolvimento das técnicas de SIG. A busca por modelos que representem a superfície terrestre com maior fidelidade impulsiona os investimentos de novas tecnologias (MINASNY; MCBRATNEY, 2016). A aquisição do fator topográfico de modo manual é onerosa e requer tempo para coleta de dados pontuais, que serão extrapolados, e perderão a sua representatividade (SILVA, 2013). Dentre as diversas ferramentas para mensurar a altimetria do terreno, o uso de Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) apresenta maior precisão na aquisição de MNT (DA SILVA et al, 2016; CALOU et al 2017; DA SILVA et al 2017).

Alternativas para quantificar o fator topográfico a partir de MDEs foram desenvolvidas por diversos autores (Oliveira et al., 2015). Bizuwerk et al. (2008) e Bertoni e Lombardi Neto (2005) aplicaram metodologia informatizadas usando pressupostos hidrológicos para estimar o fator topográfico de bacias hidrográficas e aplicam na modelagem da erosão. Diante da dificuldade em estimar o valor do fator topográfico, objetivou-se testar metodologias para a determinação do fator de comprimento de rampa e declividade (LS) a partir de MNT provindos de diferentes plataformas em uma micro bacia experimental no semiárido brasileiro.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado na área da Microbacia Experimental Vale do Curu (MEVEC), inserida na Bacia Experimental Vale do Curu (BEVEC), localizada na Fazenda Experimental Vale do Curu (FEVC) (Figura 1), pertencente à Universidade Federal do Ceará, situada na zona rural do município de Pentecoste, região semiárida do estado de Ceará. O vertedouro da MEVEC está localizado a latitude 3° 48' 16,15'' e longitude 39° 20' 47,28''. O município de Pentecoste está localizado geograficamente na Microrregião do Médio Curu, no Estado do Ceará, a altitude média é de 60 metros (BRASIL, 1973), distante aproximadamente 100 km de Fortaleza.

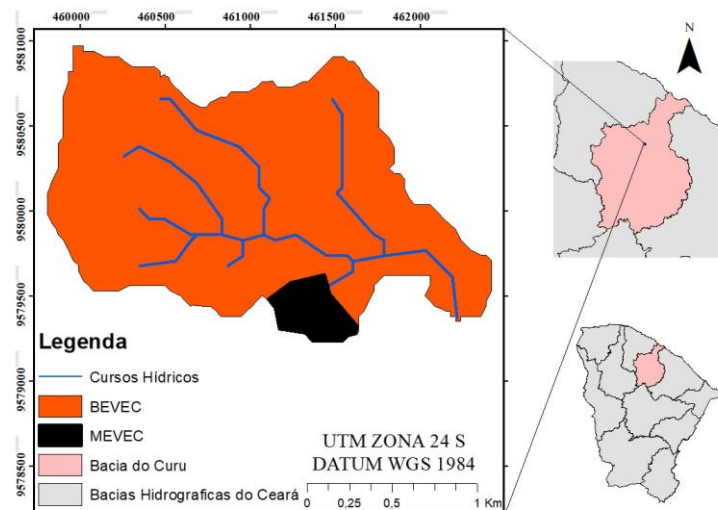


FIGURA 1. Mapa de localização da Bacia Experimental do Curu, Pentecoste.

Para determinação dos fatores topográficos foram utilizados três modelos numérico de terreno (MNT), com diferentes resoluções espaciais. Foi obtida imagem Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) 1arcsec, gerada por interferometria pelo radar (InSAR) disponíveis no site do serviço geológico americano (USGS), a resolução da imagem equivale a 30 metros por pixel.

Outra cena foi obtida pelo radar PALSAR do satélite ALOS, com resolução de 13 metros por pixel. O PALSAR corresponde a um radar imageador de abertura sintética que opera com resoluções espaciais que variam entre 10 a 100 m e possui três modos de imageamento: fino, ScanSAR e polarimétrico (IGARASHI, 2001). No que diz respeito aos Modelos Digitais Elevação (MDE) SRTM e PALSAR não foram realizadas correções do efeito da vegetação, tendo em vista que as imagens foram adquiridas em períodos diferentes, SRTM período chuvoso e ALOS PALSAR no período seco.

Para obtenção das imagens aéreas, empregou-se um VANT *Inspire 1*, fabricado pela empresa *DJI Innovations*, categorizado como multirrotor (Quadrirrotor). A aquisição das imagens aéreas ocorreu no dia 28 de novembro de 2017, fixando-se a altura de voo em 100 metros e velocidade de cruzeiro de 21 km/h, com o auxílio do software Litchi®. Foi utilizada a câmera X5 para a aquisição das imagens, sendo um sensor pancromático de 8 bits (0 a 255) e 16MPixels de resolução.

Distribuíram-se, na área de estudo, 10 placas de controle (GCP – *Ground Control Point*) utilizadas para realizar o georreferenciamento do modelo digital. Obtiveram-se as coordenadas de cada placa de controle utilizando receptor topográfico (L1) ProMark3 Magellan® do sistema GNSS. O pós-processamento dos dados foi realizado pelo software GNSS Solutions®, pertencente à Magellan.

O processamento digital das fotos obtidas foi realizado com software *PhotoScan*®, da *Agisoft*®, para a geração do ortomosaico georreferenciado da área de estudo e modelo digital de elevação, A resolução do modelo produzidas foi reamostrado para de 4 metros por pixel, para efeito de processamento. O MNT produzido foi projetado em UTM, *Datum* WGS 1984 Zona 24S, bem como os MDE, no entanto os valores altímetros do MDT foram corrigidos através do software *MapeGeo* 2015, usado na conversão do sistema elipsoidal para o geoidal.

As delimitações da bacia hidrográficas pelos diferentes modelos numéricos do terreno (MNT) foram realizadas em ambiente SIG com o auxílio do software ArcGIS 9.4, utilizando a extensão ArcHydro 9.4. Para a determinação do fator LS da USLE na MEVEC foram aplicadas duas metodologias, Bizuwerk (2008) e Bertoni e Lombardi Neto (2005).

A metodologia descrita por Bizuwerk et al. (2008) se baseia nos pressupostos definidos por Wischmeier e Smith (1978). O comprimento de rampa e declividade do terreno foram estudados em parcelas padrão, e foi apresentada a relação da perda de solo em área de declive e comprimento de rampa unitária de 22,1 m e 9% de declividade e a partir desses resultados foi determinada a equação empírica para cálculo do fator LS manual (WISCHMEIER; SMITH, 1978).

A equação 1 refere-se a aplicação automática do equacionamento descrito por Wischmeier e Smith, em que o fator comprimento de rampa pode ser a partir do MNT.

$$LS = \frac{(\text{fluxo acumulado} \times \text{Resolução pixel})^m}{22,1} \times (D^2 \times 0.0065 + D \times 0.045 + 0.065) \quad (1)$$

em que,

LS é o fator de comprimento de rampa e declividade (adimensional);

D é a declividade do terreno (%);

m é um fator que varia conforme a declividade.

TABELA 1. Fator *m* correlacionado com a declividade do terreno (WISCHMEIER; SMITH, 1978).

Factor m correlated with the slope of the terrain (WISCHMEIER; SMITH, 1978).

<i>m</i>	Declividade (%)
0,2	$0 \geq D < 1$
0,3	$1 \geq D < 3$
0,4	$3 \geq D < 5$
0,5	$D \geq 5$

O fluxo acumulado foi derivado a partir do MDE e MDT usando a extensão Archydro do software ArcGis 10.1. As resoluções do pixel variaram de acordo com os MNT utilizados. A equação 1 foi aplicada em todos os três modelos digitais já citados, e a ferramenta álgebra de mapas, bem como a calculadora raster para determinação da declividade do software ArcGis.

O segundo método utilizado para determinação do fator LS para a MEVEC foi desenvolvido por Bertoni e Lombardi Neto (2005). O seu equacionamento leva em consideração a área total da bacia e o somatório dos cursos de drenagem (corpos hídricos, estradas e ferrovias) presentes na mesma. No entrando para fins de aplicação dos MNT, o fator comprimento médio sofreu modificações para melhor adequação da técnica, como na metodologia descrita por Coutinho et al. (2014).

$$LS = 0,00984 \times (Lr^{0,63}) \times (D)^{1,18} \quad (2)$$

em que,

LS é o fator topográfico

Lr é o comprimento médio da rampa

D é a declividade do terreno.

$$Lr = \sqrt{(\text{resolução espacial})^2 + \left[\frac{D}{100} * (\text{resolução espacial})\right]^2} \quad (3)$$

em que,

Lr é o comprimento da rampa

D é a declividade calculada pela calculadora raster.

O software ArcGis 9.4 foi utilizado na execução dos cálculos dos raster na determinação do comprimento da rampa adaptado (Equação 2), bem como a ferramenta calculadora de raster. Foram produzidos mapas de distribuição do fator LS nos 2 modelos digitais elevação e no modelo digital de terreno por VANT.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As delimitações automáticas da MEVEC apresentaram diferenças na área, forma da bacia e no número de cursos formados tendo em vista que os modelos de terreno utilizados eram de resolução espacial e temporal distintas. A resolução do pixel influenciou diretamente nos algoritmos do ArcHydro (Tabela 2). O número elevado de possíveis cursos é explicado por Valeriano *et al.*, (2008), o fluxo acumulado determina a área de captação e pode ser associado ao fator comprimento de rampa da bacia, o levantamento com VANT apresentou um elevado número informações por hectare, desta forma favorecendo a localização dos possíveis cursos.

TABELA 2. Área total, comprimento dos cursos e cota máxima e mínima da MEVEC por meio de MNT diferentes.

Total area, length of courses, maximum height and minimum height of MEVEC means of different MNT.

	Área total (ha)	Comprimento dos cursos formados (m)	Cota máxima (m)	Cota mínima (m)
SRTM 30	16,13	250,91	105,24	72,39
PALSAR	11,49	678,38	77,50	66,20
VANT	11,86	1492,10	120,30	59,53

De acordo com a tabela 3 a declividade da microbacia não atingiu valores acima de 20%, nos MDE SRTM e ALOS, sendo considerada uma região de relevo suave-ondulado (RUTHES et al., 2012). O maior detalhamento por pixel do levantamento realizado pelo VANT sofreu forte influência da vegetação, que mesmo na estação seca influenciou fortemente nos valores de altimetria, sendo assim, 36,93% da microbacia apresentou valores superiores a 15% de declividade, chegando a valor máximo de 298%.

TABELA 3. Classes de declividade em função dos modelos de terreno SRTM, PALSAR e VANT.
Slope classes according to SRTM, PALSAR and VANT terrain models.

	Classes de declividade (%)	Área(ha)	Frequência Relativa (%)	Frequência Acumulada (%)
SRTM 30	0 - 5	6,03	36,06	36,06
	5 - 10	8,01	47,85	83,87
	10 - 15	2,70	16,13	100,00
	>15	-	-	-
Total		16,13		
PALSAR	0 - 5	3,30	28,61	28,65
	5 - 10	4,70	40,86	69,57
	10 - 15	2,90	25,37	94,68
	>15	0,61	5,16	100,00
Total		11,49		
VANT	0 - 5	1,71	14,49	14,49
	5 - 10	3,34	28,22	42,71
	10 - 15	2,37	20,37	63,07
	>15	4,37	36,93	100,00
Total		11,86		

O fator LS segundo o método descrito por Bizuwerk (2008) apresentou valores mínimo e máximo de 0 e 1810, respectivamente, para o MDT por VANT, sendo que a maior parte da microbacia apresentou fator topográfico variando entre 0 a 3 (Tabela 3). O valor médio para os modelos foram 1,18; 1,48; 9,27 para MDT SRTM, PALSAR e MDT VANT, respectivamente. Fator LS superiores a 5 são encontrados em maior proporção no levantamento topográfico realizado pelo VANT, representando apenas 17,35% da microbacia.

TABELA 3. Fator LS pelo método de Bizuwerk (2008) em função dos modelos de elevação.
LS factor by the Bizuwerk method (2008) according to the elevation models.

	Classes de Fator LS	Área (ha)	Frequência Relativa (%)	Frequência Acumulada (%)
SRTM 30	0 – 0,8	4,31	25,76	25,76
	0,8 – 1,2	2,41	14,39	40,15
	1,2 - 3	7,48	44,70	84,85
	3 – 5	2,16	12,88	97,73
	>5	0,38	2,27	100,00
	Total		16,74	
POLSAR	0 – 0,8	3,45	30,08	30,08
	0,8 – 1,2	1,49	13,01	43,09
	1,2 - 3	3,99	34,76	77,85
	3 – 5	1,44	12,60	90,45
	>5	1,09	9,55	100,00
	Total		11,49	
VANT	0 – 0,8	7,12	50,28	50,28
	0,8 – 1,2	2,10	14,85	65,13
	1,2 - 3	1,56	11,02	76,15
	3 – 5	0,92	6,50	82,65
	>5	2,43	17,35	100,00
	Total		11,86	

Analisando os mapas criados com o fluxo do fator LS pelo método descrito por Bizuwerk (2008), Figura 2, o fluxo acumulado influencia diretamente no aumento do fator LS próximo aos cursos. Todos os modelos de elevação apresentaram maiores valores do fator topográfico no contorno dos pixels que estão os cursos, proporcionando uma concentração geográfica do mesmo.

Lahloui et al. (2015), encontraram resultados similares em uma bacia hidrográfica no Marrocos, os valores encontrados por eles para o fator LS foram maiores próximo aos cursos hidrográficos da bacia. O fluxo acumulado já discutido anteriormente determina a formação dos cursos e ele é decisivo no comprimento de rampa por pixel, deste modo, quanto maior o valor da célula, maior será seu comprimento de rampa estimado.

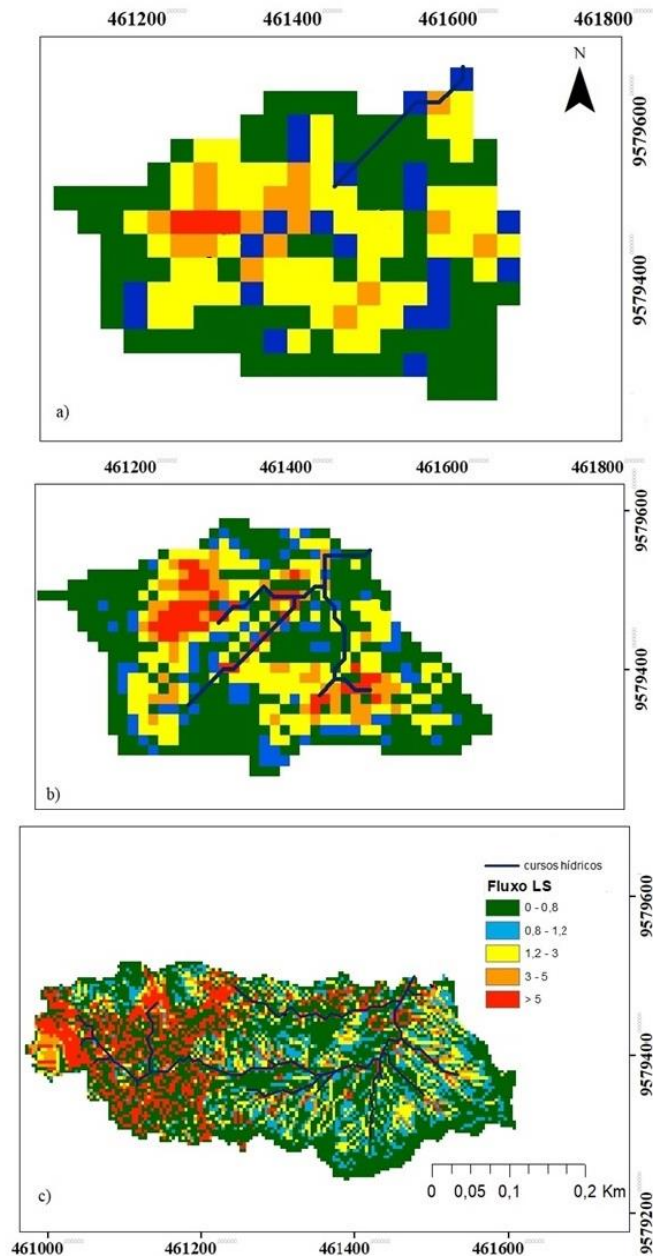


FIGURA 2 - Fluxo do fator LS pelo método Buzuwerk (2008): a) MDE – SRTM 30 metros b) MDE – PALSAR 13 metros c) MDT – VANT 4 metros.

Com aplicação do método de Bertoni e Lombardi Neto (2005), a bacia experimental apresentou fator topográfico variando de 0 a 40,51 (adimensional), intervalo bem inferior ao encontrado pelo método anterior. Mais de 90% da bacia possui fator LS de até 2 para os modelos de elevação SRTM e PALSAR, o intervalo 0 a 0,8 constitui aproximadamente mais de 50% da área total da bacia para todos os modelos Tabela 4, a média do fator LS para todos os modelos de elevação não superou 1,4.

O método descrito por Bertoni e Lombardi Neto (2005) para o fator topográfico usa procedimentos tradicionais (manuais) para obtenção de dados de declividade, através da relação de altitude e projeção horizontal. Segundo Bueno *et al.* (2011), a declividade afeta diretamente a erosão hídrica, quanto mais acentuada declividade maior a velocidade do escoamento superficial e maior a força de arraste de sedimento, ou seja, maior será o fator LS da USLE. Como a bacia tem uma declividade suave ondulada, ou seja, possuem valores baixos de declividade o fator LS segundo esse método é mais suavizado.

TABELA 4. Fluxo do fator LS pelo método de Bertoni e Lombardi Neto (2005).

Flow of the LS factor by the Bertoni and Lombardi Neto method (2005).

	Classes de Fator LS	Área (ha)	Frequência Relativa (%)	Frequência Acumulada (%)
SRTM 30	0 – 0,8	9,00	53,76	53,76
	0,8 – 1,2	4,50	26,88	80,64
	1,2 – 2,0	2,79	16,66	97,31
	>2	0,45	2,70	100,00
	Total	16,74		
POLARSAR	0 – 0,8	7,55	65,78	65,78
	0,8 – 1,2	2,64	23,01	88,79
	1,2 – 2,0	1,23	10,77	99,56
	>2	0,05	0,44	100,00
	Total	11,49		
VANT	0 – 0,8	8,25	69,55	69,55
	0,8 – 1,2	0,63	5,29	74,85
	1,2 – 2,0	0,85	7,20	82,05
	>2	2,13	17,95	100,00
	Total	11,86		

Diferentemente do mapa do método anterior, o método de Bertoni e Lombardi Neto (2005) apresenta uma maior suavização do fator LS em toda a bacia, concentrando-se na região com maiores declividades. O comportamento da distribuição espacial do fator topográfico está adequado a partir da literatura consultada (BESKOW *et al.*, 2009; BUENO *et al.*, 2011; PINHEIRO; CUNHA, 2010).

Araújo (2003) aplicou a metodologia de Bertoni e Lombardi Neto (2005) para o cálculo do fator LS de forma manual em sete bacias hidrográficas no semiárido e obteve valores próximos aos estimados pela metodologia adaptada ao SIG, confirmando e validando a adequação citada por Coutinho *et al.* (2014).

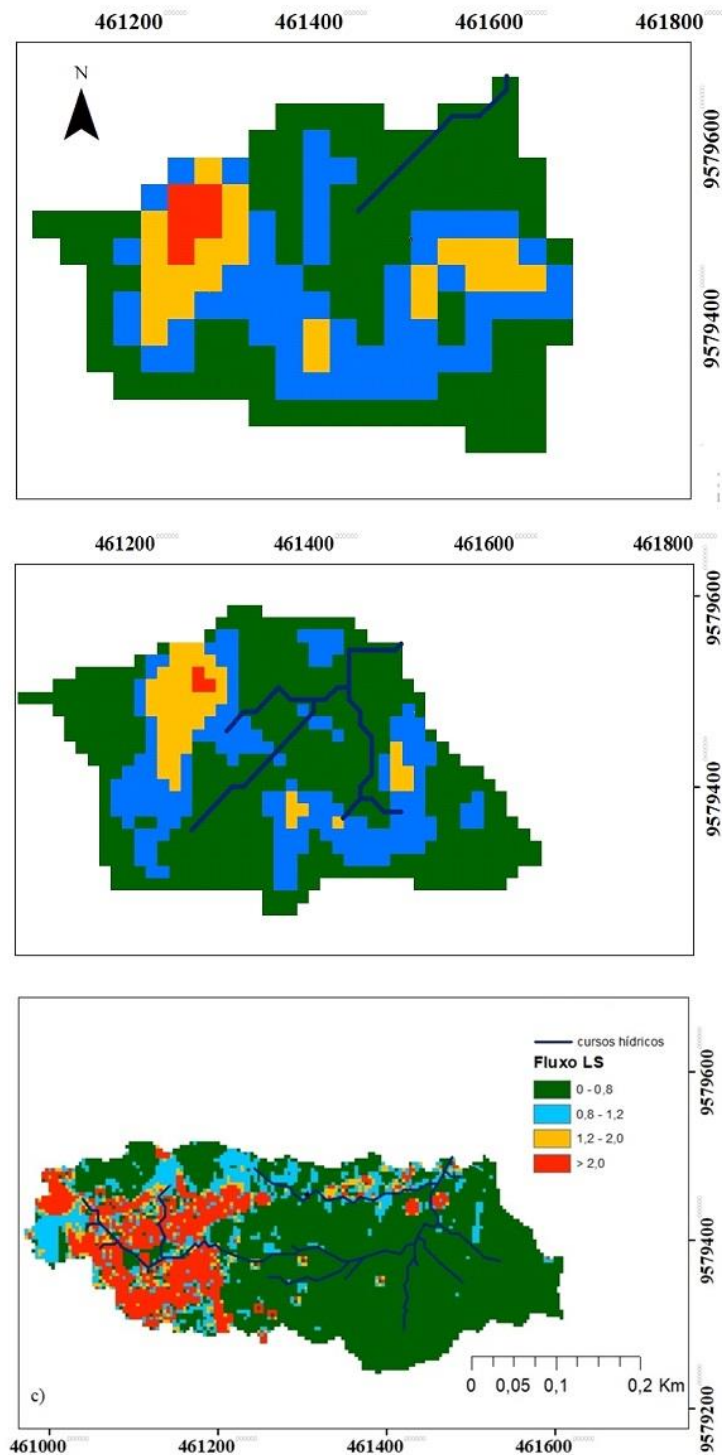


FIGURA X - Fluxo do fator LS pelo método Bertoni e Lombardi Neto (2005): a) MDE – SRTM 30 metros b) MDE – PALSAR 13 metros c) MDT – VANT 4 metros.

CONCLUSÕES

A aplicação dos métodos de determinação automática do fator topográfico apresentaram diferenças entre os valores extremos, os valores médios do fator LS variaram entre os modelos numéricos de terreno, sendo o modelo do terreno com alta resolução espacial representou mais fielmente a topografia, no entanto, foi mais sensível as interferências da vegetação.

Modelos de elevação com acurácia maior são mais adequados para estimação do fator topográfico e da declividade do terreno, sendo medidas importantes para a modelagem e quantificação da produção de sedimento, deste modo, o uso de MNT com melhor resolução tornam-se mais adequados para essas estimativas.

O uso de VANT acoplado com sensores e câmeras auxiliam no imageamento de pequenas regiões agregando maior resolução por pixel e maior fidelidade da topografia. Outra vantagem do uso de VANT é a possibilidade de adequar a resolução espacial, visto que o levantamento topográfico é mais preciso quando há redução do efeito da vegetação. No período seco do ano, no semiárido, houve forte interferência da vegetação no levantamento topográfico por VANT.

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, J. C et al., Assoreamento em reservatórios do semiárido: modelagem e validação. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 8, n. 2, p. 39-56, 2003.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. Conservação do Solo. 5ª ed. São Paulo: Ícone, 2005.
- BIZUWERK, A.; TADDESE, G.; GETAHUN, Y. Application of GIS for Modeling Soil Loss Rate in Awash Basin, Ethiopia. **International Livestock Research Institute (ILRI)**, 2008.
- BUARQUE, D. C. et al. Comparação de métodos para definir direções de escoamento a partir de modelos digitais de elevação. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 14, n. 2, p. 91-103, 2009.
- COUTINHO, L. M. Cálculo do fator LS da Equação Universal de Perdas de Solos (EUPS) para a bacia do Rio da Prata, Castelo-ES. **Revista Agroambiente On-line**, v. 8, n. 1, p. 01-09, 2014.
- CALOU V. B. C., TEIXEIRA, A. S., DA SILVA, J. A., OLIVEIRA, M. R. R., RABELO, F. D. B. Modelo digital de elevação utilizando imagens de VANT em comparação à missão SRTM. **Anais de III Simpósio Brasileiro de Recursos Naturais no Semiárido**. 10.18068/IIISBRNS2017.geoap761, 2017.
- DA SILVA, C. A. DUARTE, C. R, SOUTO, M. V. S. SANTOS, A. L. S. AMARO, V. E. BICHO, C. P. SABADIA, J. A. B. Avaliação da acurácia do cálculo de volume de pilhas de rejeito utilizando vant, gnss e lidar. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 22, n. 1, p. 73, 2016.
- DA SILVA, J. A., CALOU, V. B. C., TEIXEIRA, A. S., ALBIERO, D. Controle estatístico de processo aplicado à GCP's em mapeamento aerofotogramétrico com uso de VANT. **Anais de XVIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. ISBN: 978-85-17-00088-1, 2017.
- LAHLAOI, H. et al. Potential erosion risk calculation using remote sensing and GIS in Oued El Maleh watershed, Morocco. **Journal of Geographic Information System**, v. 7, n. 02, p. 128, 2015.
- LIU, B. Y. et al. Slope length effects on soil loss for steep slopes. **Soil Science Society of America Journal**, v. 64, n. 5, p. 1759-1763, 2000.
- MINASNY, Budiman; MCBRATNEY, Alex B. Digital soil mapping: A brief history and some lessons. **Geoderma**, 264(B): 301–311, 2016.
- OLIVEIRA, J. A. et al. A GIS-based procedure for automatically calculating soil loss from the universal soil loss equation: Giusus-m. **Applied Engineering in Agriculture**, v. 31, n. 6, p. 907, 2015.
- RUTHES, J. M. et al. 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.1099-109, 2012.
- SILVA, V. D. Cálculo automático do fator topográfico (LS) da EUPS, na bacia do Rio Paracatu. **Pesquisa Agropecuária Tropical** (Agricultural Research in the Tropics), v. 33, n. 1, p. 29-34, 2003.
- VALERIANO, M. M. Dados topográficos. In: FLORENZANO, T.G. (Org.). **Geomorfologia, conceitos e tecnologias atuais**. São Paulo: Oficina de Textos, p.72-104. 2008.
- WISCHMEIER, W.H; SMITH, D.D. Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning. **Agricultural Handbook**. Washington: USDA, 1978.
- ZHANG, X. et al. Effects of topographic factors on runoff and soil loss in Southwest China. **CATENA**, v. 160, p. 394-402, 2018.