

DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE POTÊNCIA DE ESCOAMENTO PARA O MUNICÍPIO DE PALMITINHO/RS UTILIZANDO MODELOS DIGITAIS DE ELEVAÇÃO

Viviane Capoane¹

Resumo: O objetivo deste trabalho foi determinar o índice de potência de escoamento (IPE) para o município de Palmitinho e, identificar os locais onde medidas de conservação do solo são prioritárias em função do risco de fluxos erosivos. Para tal foram utilizadas bases de dados com diferentes escalas para a geração dos modelos digitais de elevação (MDEs), sendo elas: carta topográfica na escala 1:50.000 e SRTM de $\pm 30\text{m}$. Os *softwares* utilizados foram o ArcGIS e o SagaGIS. O IPE gerado com o MDE carta topográfica classificou melhor as áreas com potencial erosivo no município em comparação ao IPE gerado com o MDE SRTM que, tendeu a subestimar o potencial de escoamento em áreas planas e superestimar o potencial erosivo nos canais de drenagem. O mapa gerado pode dar suporte à gestão ambiental do município, pois discretizou as áreas em risco de fluxo erosivo intenso, que se constituem nas áreas prioritárias para a implementação de práticas mecânicas de conservação de solo.

Palavras-chave: Sistema de Informação Geográfica; Relevo; Erosão.

DETERMINATION THE STREAM POWER INDEX FOR THE MUNICIPALITY PALMITINHO/RS USING DIGITAL ELEVATION MODELS

Abstract: The objective of this study was to determine the stream power index (SPI) for the Palmitinho municipality and identify the locations where soil conservation measures are priorities for risk of erosive flows. For such databases were used with different scales to generation of digital elevation models (DEMs), which are: topographic maps at 1:50.000 scale and SRTM $\pm 30\text{m}$. The software used was the ArcGIS and SagaGIS. The SPI generated with DEM topographic map best classified areas with erosive potential in municipality compared to SPI generated with the DEM SRTM, that tended to underestimate the potential flow on flat areas and overestimate the erosive potential in the drainage channels. The map generated can support the environmental management of the municipality, since as classified areas at risk of intense erosive flow, which are the priority areas for the implementation of mechanical soil conservation practices.

Keywords: Geographical Information System; Relief; Erosion.

¹ Doutora em Geografia pela Universidade Federal do Paraná (UFPR). capoane@gmail.com.

INTRODUÇÃO

A perda de solo por erosão é particularmente preocupante, pois as taxas de formação do solo (pedogênese) são extremamente lentas. Sob condições agrícolas tropicais e temperadas, 200 a 1000 anos são necessários para a formação de 2,5 cm ou 340 t/ha de camada superficial (ELWELL, 1985; HUDSON, 1981; LAL 1984a, b). Esta taxa de renovação é equivalente a 0,3 a 2 t/ha/ano.

A intensa erosão do solo ocorre principalmente nas regiões agrícolas e o problema aumenta à medida que mais terras marginais são incorporadas à produção. Dados compilados por Posner (1981) já indicavam perdas de solo especialmente severas em encostas íngremes da América Latina, onde a distribuição das terras é desigual obrigando pequenas propriedades familiares a cultivar encostas com relevo acentuado, que são facilmente erodidas e que normalmente apresentam solos pobres (UNEP, 1982). Caso do município de Palmitinho, que têm como característica a agricultura familiar realizada, em grande parte, em áreas de relevo ondulado e fortemente dissecado.

Considerando que a erosão do solo está intimamente relacionada com a topografia e conectividade da paisagem (HELMING et al., 2005), estudos que contemplem o efeito do relevo na perda de solo apresentam destacada importância para o entendimento dos processos que envolvem o transporte e deposição de sedimento e nutrientes/poluentes na paisagem, bem como para a gestão ambiental. Nesse sentido, a análise digital do terreno, que é uma técnica quantitativa baseada no sistema de informação geográfica (SIG), pode ser utilizada para o estudo da topografia e processos geomorfológicos em uma variedade de escalas, utilizando para tal, modelos digitais de elevação (MDEs) (WILSON & GALLANT, 2000).

Com a crescente disponibilidade de MDEs e o advento de ferramentas de análise computadorizada do terreno, como os SIGs, tem havido grandes avanços nas pesquisas ligadas às ciências ambientais (RUHOFF et al., 2011), pois os mesmos têm possibilitado a previsão e compreensão de processos atuantes na paisagem que são dependentes da topografia como: a erosão do solo, transporte de contaminantes, dentre outros fenômenos. A análise digital do terreno baseia-se na derivação de atributos topográficos primários e secundários (MOORE et al., 1991; GRUBER & PECKHAM, 2008).

Os atributos topográficos primários incluem características topográficas tais como a orientação de vertentes, declividade, área de captação, perfil e plano de curvatura, que são diretamente mensuráveis a partir de um MDE. Os atributos topográficos secundários são derivados matematicamente pela combinação de atributos primários. Geralmente são índices que predizem ou descrevem a variabilidade espacial de processos hidrológicos, geomorfológicos, biológicos, dentre outros, na paisagem (MOORE et al. 1991). Os valores dos atributos são normalmente calculados para cada célula (pixel) na imagem raster do MDE em ambiente do SIG. Assim, a exatidão e precisão da derivação do atributo e seu poder preditivo estão diretamente relacionados com a resolução do modelo digital de elevação.

O índice de potência de escoamento (IPE), do inglês *stream power index*, é um atributo topográfico secundário que descreve o potencial da topografia para concentrar grandes quantidades de água superficial, promovendo o entalhe. Ele é derivado da área de contribuição específica (A_s) do fluxo acumulado e da

declividade (β), a partir de um modelo digital de elevação, sendo formulado como: $IPE = \text{As} \tan \beta$. A determinação da energia erosiva superficial dá-se com base no pressuposto de que o fluxo acumulado e declive é proporcional ao potencial de arraste do sedimento. Assim, destaca grandes áreas e encostas íngremes onde o poder erosivo do escoamento superficial será mais elevado (WILSON & GALLANT, 2000).

Os valores do índice de potência de escoamento gerados a partir de um MDE são menos importantes (a equação foi concebida com dados incompletos e certas aproximações/hipóteses), do que o padrão que ele gera ao longo de um canal de drenagem ou através de uma paisagem (GOLDEN & SPRINGER, 2006; PEREZ-PENA et al., 2009), pois, a imagem gerada descreve o potencial da água que flui superficialmente para executar o trabalho geomórfico, logo, possibilita a identificação de áreas em risco de fluxo erosivo intenso, especialmente em relação a eventos de precipitação de alta magnitude.

Tendo em vista que a erosão hídrica é um grave problema ambiental, econômico e social dos tempos modernos (WANG et al., 2013), pois ela não só causa grave degradação e perda de produtividade do solo e degradação da qualidade da água, mas também ameaça a estabilidade e a saúde da sociedade em geral (EL-SWAIFY et al., 1985; TROEH et al., 1991), identificar áreas em risco de fluxo erosivo intenso, pode auxiliar na gestão ambiental de terras agrícolas. Diante do exposto, o objetivo do presente trabalho é determinar o índice de potência de escoamento para o município de Palmitinho utilizando bases de dados de diferentes escalas para geração do MDE e, identificar locais onde medidas de conservação do solo são prioritárias em função do risco de desencadeamento de processos erosivos.

MATERIAL E MÉTODOS

LOCAL DO ESTUDO

O município de Palmitinho, com aproximadamente 144,5 km², localiza-se na região noroeste do Estado do Rio Grande do Sul (Figura 1). O relevo do local é acidentado com encostas íngremes possuindo formas distintas como: espigões rochosos (28,7%); espigões degradados (1,16%); serras (62,64%) com superfícies íngremes de relevo com aspecto muito rochoso, fortemente escarpado e; vales com terras quase planas ou aplainadas nos platôs e fundos de vales (7,53%) (CUNHA et al., 2010).

O substrato litológico é composto de basaltos da Formação Serra Geral (*Fácie Paranapanema*), as principais classes de solo do município são: Luvissoles crômicos, Neossolos litólicos e regolíticos e Cambissolos háplicos (CUNHA et al., 2010). O clima da região é o subtropical muito úmido com inverno fresco e verão quente (ROSSATO, 2011). As águas do município drenam para duas bacias hidrográficas (BHs), sendo elas: a BH do Rio Guarita (68,4%) e a BH do Rio Pardo (31,6%), ambas drenam para a bacia hidrográfica do Rio Uruguai (Figura 1).

O município de Palmitinho apresenta pequenas propriedades que se fragmentaram ao longo do tempo com uma agricultura familiar de pequenos produtores. A economia depende dos produtos primários, sendo basicamente agrícola com a pecuária leiteira integrada a criação de suínos e aves.

DADOS CARTOGRÁFICOS

Os dados cartográficos utilizados foram adquiridos no formato digital a partir de um banco de dados da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (HASENACK & WEBER, 2010), com as informações altimétricas (isolinhas e pontos cotados) já vetorizadas, facilitando o processo de geração do MDE. Para cobrir a área de estudo foi necessária a carta topográfica (CT) de Palmitinhos, folha SG-22-Y-C-I-4/ MI-2884/4, fuso 22S.

DADOS ORBITAIS

Os dados orbitais foram obtidos no *site* da *United States Geological Survey* (USGS) no endereço <http://earthexplorer.usgs.gov/>. A imagem raster é originária da missão de mapeamento do relevo terrestre - SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), pela NASA (Agência Aeronáutica e Espacial) e NGA (Agência Nacional de Inteligência Geoespacial) dos Estados Unidos, executada no ano 2000 por meio da aeronave Endeavour. Os dados SRTM banda C com resolução de 1 arco-segundo ($\pm 30\text{m}$), são fornecidos gratuitamente pelo USGS. Para cobrir a área de estudo foi necessária a imagem S28W054.

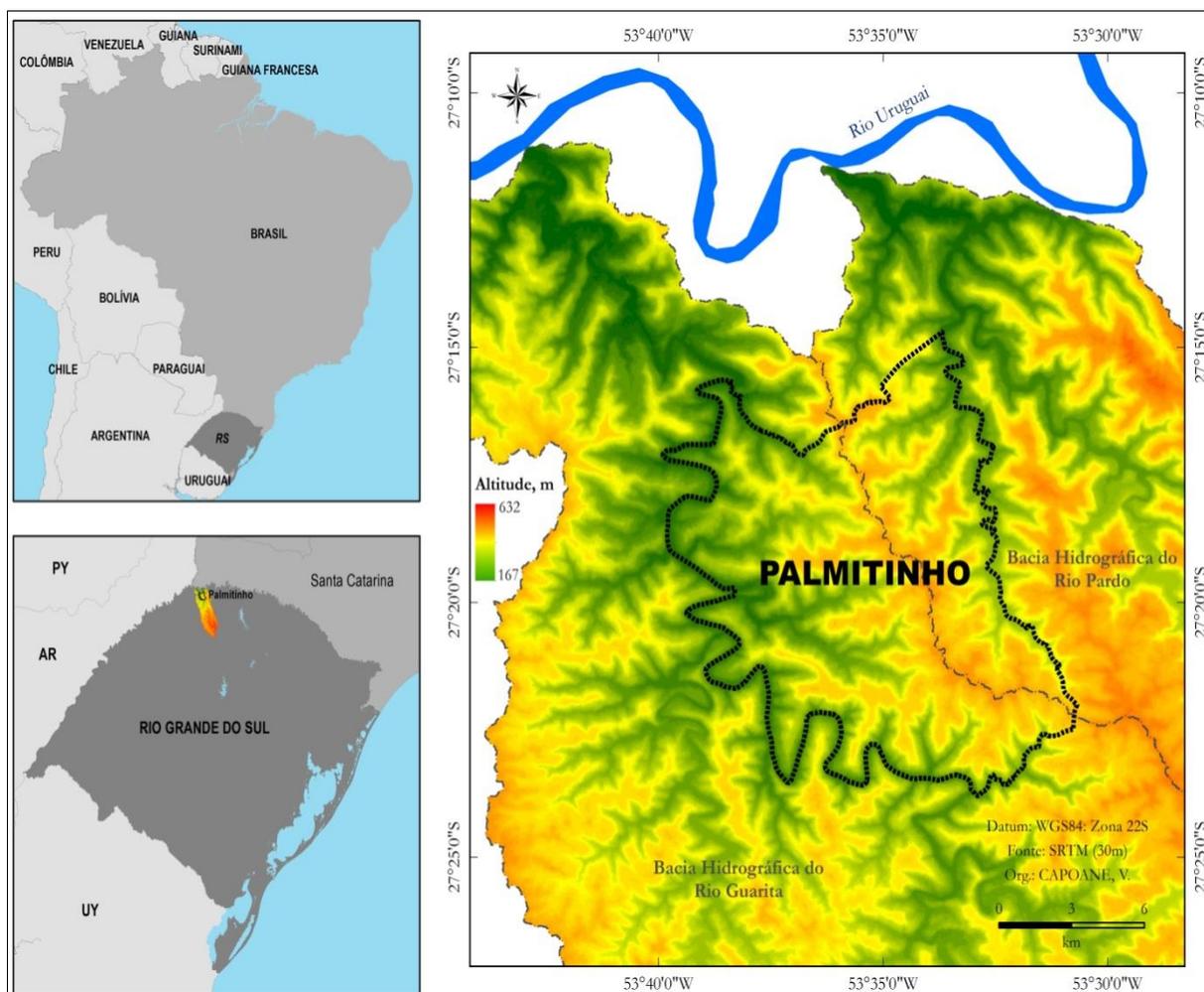


Figura 1 – Mapa com a localização do município de Palmitinho, Rio Grande do Sul.

GERAÇÃO DOS MODELOS DIGITAIS DE ELEVAÇÃO E ÍNDICE DE POTÊNCIA DE ESCOAMENTO

O primeiro passo para a determinação do índice de potência de escoamento foi a construção de uma base de dados espacial em ambiente do SIG. A construção consistiu na seleção dos dados que iriam alimentar o SIG, sendo eles: carta topográfica na escala 1:50.000 e dados de sensoriamento remoto orbital. O SIG utilizado para este trabalho foi o ArcGis 10 (ESRI, 2011).

O MDE carta topográfica foi obtido a partir da interpolação das curvas de nível e pontos cotados e, para a definição do tamanho de pixel optou-se por utilizar à equidistância vertical de 20 m. A interpolação dos dados foi feita utilizando o método *topogrid*, desenvolvido para estudos hidrológicos (HUTCHINSON, 1989). O procedimento é chamado *Topo to Raster* (ArcGis10 → ArcToolbox → Spatial Analyst Tools → Interpolation → Topo to Raster).

No ArcGis 10, utilizando o módulo *Project*, os dados originais SRTM foram projetados no sistema de coordenadas geográficas para o sistema de projeção Universal Transversa de Mercator (UTM), utilizando o sistema de referência WGS84, zona 22S. Deste modo, os dados altimétricos gerados a partir da grade SRTM foram convertidos para o sistema de projeção UTM sem a necessidade de interpolação dos valores da grade e a consequente alteração da distribuição dos valores de altitude originais.

Uma vez obtidos os MDEs, os mesmos foram convertidos para o formato txt utilizando a ferramenta *Raster to ASCII* do ArcGis 10 e no *software* SAGAGIS 2.0.5. (SAGA, 1999) foi determinado o índice de potência de escoamento (MOORE et al., 1988) para o município de Palmitinho. A migração de *software* deu-se, pois o ArcGis considera o fluxo unidimensional, utilizando um único algoritmo de fluxo, já o SAGA GIS é muito mais evoluído neste aspecto, pois considera o fluxo bidimensional.

Uma visão geral e uma discussão mais aprofundada sobre o IPE pode ser encontrada em Moore et al. (1991) e Wilson & Galant (2000).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na base de dados carta topográfica o valor do IPE variou de 0 a 1.980.530 e o desvio padrão foi de 19.6 (Figura 2A; Tabela 1). Na base de dados SRTM o IPE variou de 0 a 4.078.876 e o desvio padrão foi de 45.7 (Figura 2B; Tabela 1). Os valores altos do IPE geralmente correspondem às áreas íngremes, lineares e escarpadas, indicando locais na paisagem com maior risco de aparecimento de canais de erosão e ravinas. Os baixos valores ocorrem em áreas planas e várzeas, indicando locais de menor risco de ocorrência de processos erosivos por fluxos concentrados.

Determinação do índice de potência...

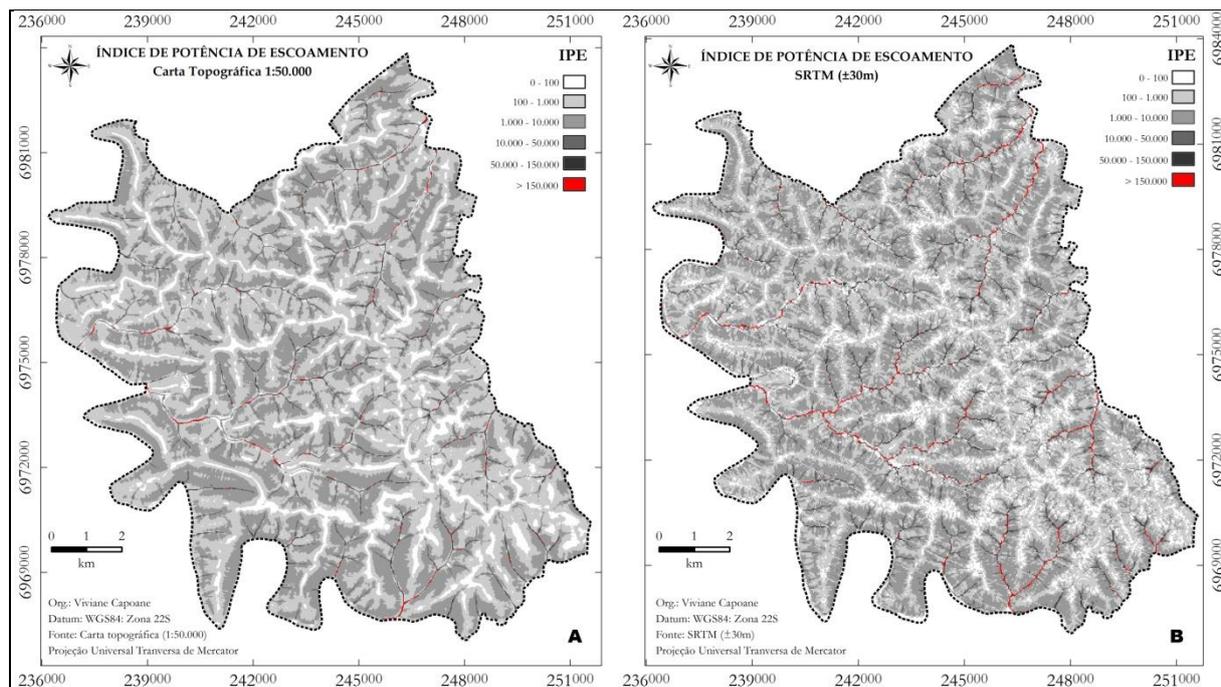


Figura 2 – Mapas do índice de potência de escoamento gerados utilizando as diferentes bases de dados
A carta topográfica (1:50.000), **B** SRTM (±30m).

Tabela 1 – Estatística descritiva do índice de potência de escoamento utilizando as diferentes bases de dados

Variável	Índice de Potência de Escoamento	
	Carta topográfica	SRTM
Mínimo	0	0
Máximo	1.980.530,6	4.078.876,9
Média	1.693,9	3.766,7
Desvio Padrão	19.628,8	45.745,8

A declividade exerce um forte controle sobre o poder de fluxo, por isso foi feita uma aproximação em um recorte do município a fim de que se pudesse visualizar como o aumento do declive influencia na potência de escoamento. Na Figura 3 são apresentados os mapas do IPE e de declividade extraídos do MDE carta topográfica. Na Figura 4 são apresentados os mapas do IPE e de declividade extraídos do MDE SRTM.

Determinação do índice de potência...

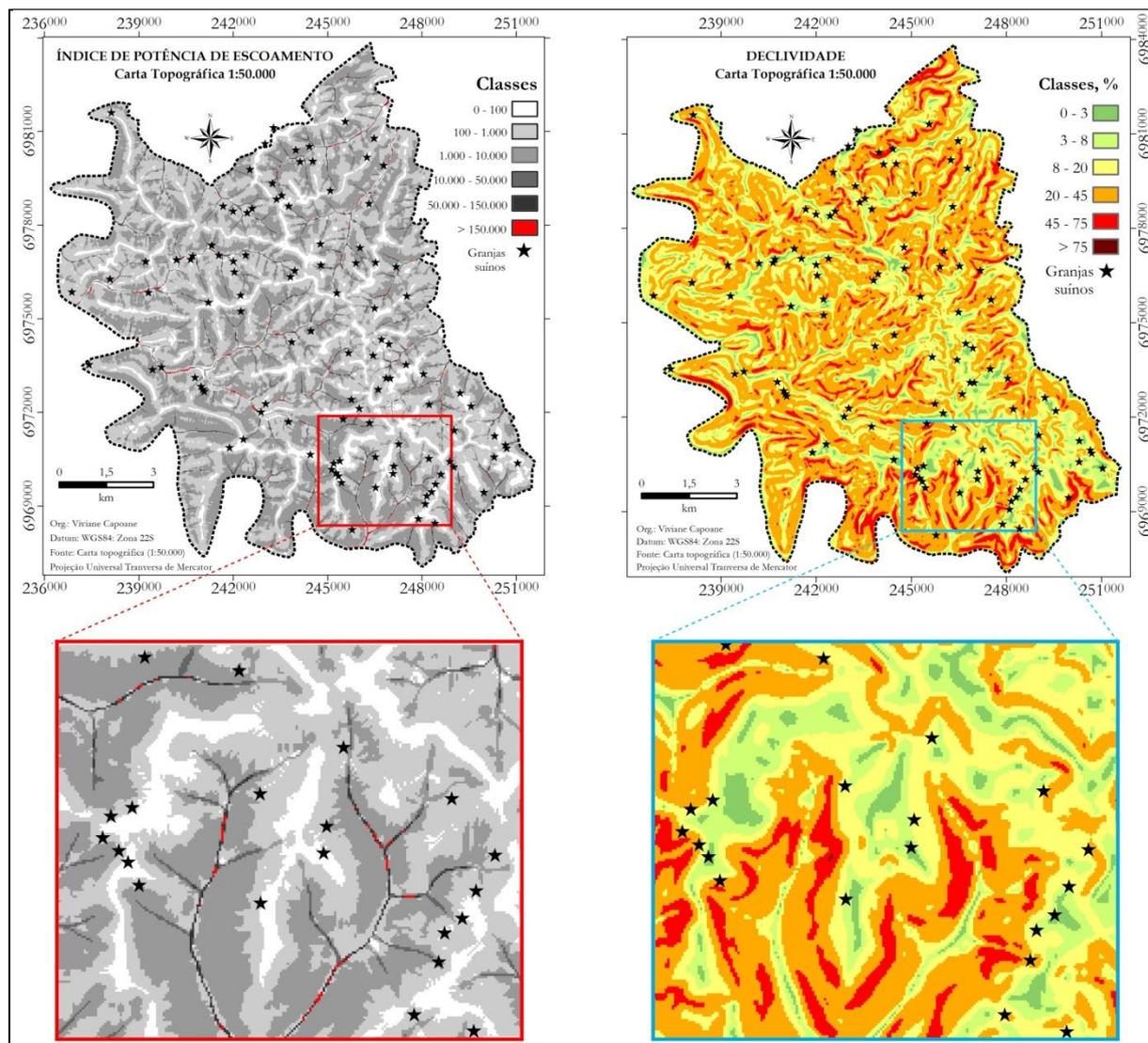


Figura 3 – Mapas do índice de potência de escoamento e declividade gerados utilizando o modelo digital de elevação carta topográfica.

Observando as imagens (Figuras 3 e 4), percebe-se que na base SRTM houve uma tendência em subestimar o potencial de escoamento nas áreas planas e superestimar nas áreas íngremes, principalmente em trechos dos canais de drenagem. Conforme Wolock & McCabe (2000), isso pode ser decorrente da baixa resolução do MDE SRTM que provoca a diminuição no declive médio e aumento na área de contribuição.

Determinação do índice de potência...

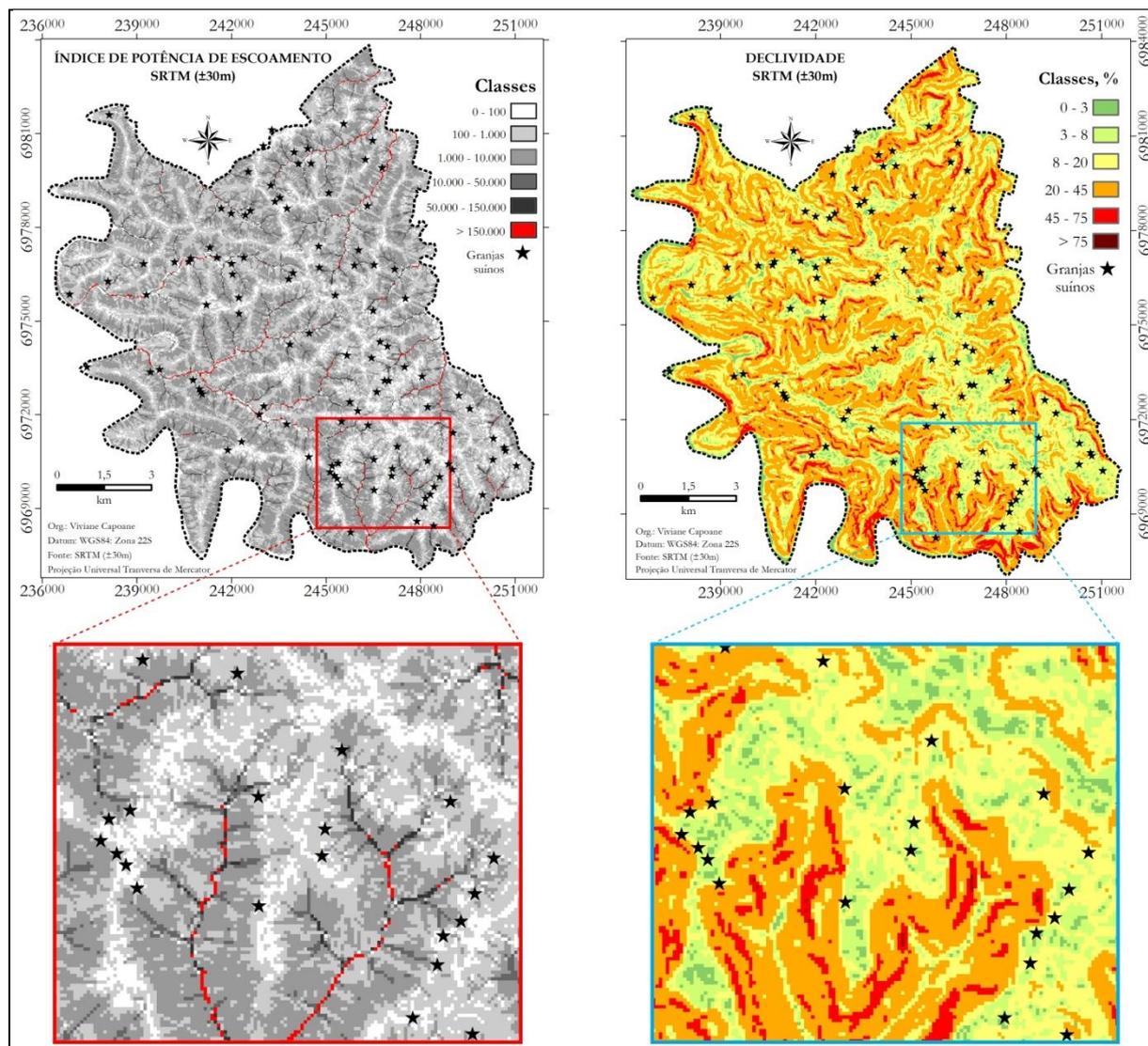


Figura 4 – Mapas do índice de potência de escoamento e declividade gerados utilizando o MDE SRTM.

A tendência a sub e superestimação também pôde ser observada quando quantificadas as áreas das classes do IPE e declividade, que são apresentadas na Tabela 2. Na classe de relevo plano houve um aumento na área da base SRTM, isso refletiu no IPE que também teve um aumento na proporção de área com menores valores, logo que apresentam menor potencial de fluxos de escoamento resultando em menor potencial erosivo. Houve um aumento na proporção na classe de declive médio (suave ondulado). Nas três últimas classes do IPE que representam os locais com muito alto potencial de ocorrência de fluxos erosivos, houve um aumento significativo na proporção de área na base SRTM, esses locais encontram-se predominantemente nos canais de drenagem como pode ser visualizado no recorte espacial da Figura 4. Nesses locais, o aumento do declive, faz com que aumente os valores de potência de escoamento, por consequência, a capacidade do canal para entalhar seu leito. Conforme Sklar & Dietrich (2001); Finnegan et al. (2007), maiores cargas de sedimentos impedem a incisão, até certo ponto, mas a quantidade e o diâmetro da camada aluvial irá conduzir mudanças no perfil e forma do rio.

Tabela 2 – Distribuição da área (%) das classes do índice de potência de escoamento e declividade para o município de Palmitinho/RS

Classes	Índice de Potência de Escoamento		Classes %	Relevo (Embrapa, 2006)	Declividade		
	CT	SRTM			CT	SRTM	
		Área, %				Área, %	
0 - 100	9,9	10,7	0-3	Plano	3,61	4,92	
100 - 1000	51,9	45,2	3-8	Suave Ondulado	11,66	11,86	
1000 - 10000	35,1	38,9	8--20	Ondulado	28,45	32,91	
10.000 - 50.000	2,3	3,6	20-45	Forte Ondulado	48,30	44,33	
50.000 - 150.000	0,6	1,0	45-75	Montanhoso	7,88	5,90	
> 150.000	0,2	0,6	>75	Escarpado	0,10	0,07	

De acordo com os mapas gerados do índice de potência de escoamento a cor vermelha representa as áreas com muito alto potencial de fluxo, conseqüentemente potencial erosivo. Situam-se principalmente ao longo dos canais de drenagem, onde a energia do escoamento atua com maior intensidade. Nesses locais o processo erosivo ocorre de maneira mais intensa, o que indica a necessidade de práticas destinadas a aumentar a estabilidade das margens através do manejo da zona ripária, como já relatado em trabalho desenvolvido por Minella & Merten (2012) em uma bacia hidrográfica do rebordo do planalto do Rio Grande do Sul.

As cores cinza escuro representam potencial alto de escoamento e, encontram-se principalmente em canais próximos às cabeceiras. As cores intermediárias de cinza localizam-se na meia encosta com declive acentuado em áreas de perfil convexo que possibilitam a aceleração do fluxo. Conforme Minella & Merten (2012), quando os valores intermediários do IPE estiverem localizados em área de cultivo, por exemplo, com culturas anuais, é necessário a implementação de práticas mecânicas de conservação de solo como: terraços, cordões vegetados, canais vegetados, dentre outras.

As cores cinza clara e branca indicam locais com baixo potencial de escoamento, conseqüentemente de erosão hídrica por fluxo de escoamento concentrado. Estão presentes em áreas planas no fundo de vales e interflúvios mais extensos com relevo suave e baixas declividades, que resultam em baixa energia erosiva em função da redução da velocidade dos fluxos superficiais.

No município de Palmitinho, a suinocultura é responsável por 70,3% da arrecadação do imposto sobre mercadorias e serviços (EMATER/RS, 2014), envolvendo mais de 100 famílias na atividade (Figuras 3 e 4). Conforme dados da Prefeitura Municipal de Palmitinho (2015), o município possui um plantel de 88.222 suínos e 6.920 habitantes (IBGE, 2010), sendo a densidade demográfica do município de 0,5 habitantes/ha e a densidade de suínos de 6,1 animais/ha. Embora esta atividade tenha grande importância para a economia local gerando empregos, renda e impostos, a expansão da pecuária intensiva tem causado preocupações ambientais relacionadas à degradação do solo e da qualidade das águas superficiais

e subterrâneas. Além disso, as aplicações excessivas de dejetos como fertilizante orgânico nas lavouras podem causar acúmulo de nutrientes no solo, podendo atingir níveis tóxicos para as plantas.

A problemática da atividade é agravada, pois o sistema de manejo do solo que predomina no município é o convencional (Figura 5), que favorece a ocorrência de processos erosivos durante eventos pluviométricos. Diante dessa problemática, o índice de potência de escoamento pode ser utilizado para estabelecer as áreas prioritárias para a gestão ambiental de terras agrícolas. Assim, áreas onde o poder erosivo do escoamento superficial é mais elevado e que coincidem com lavouras onde efluentes líquidos suínos são utilizados como fertilizante, devem ser prioritárias para a implantação de técnicas mecânicas de conservação do solo, como terraços e cordões em nível vegetados.



Figura 5 – Imagem ilustrando o manejo convencional do solo no município de Palmitinho

CONCLUSÕES

O índice de potência de escoamento gerado a partir do MDE carta topográfica discretizou melhor as áreas com potencial de ocorrência de processos erosivos em função da energia erosiva superficial para o município de Palmitinho, em comparação ao IPE gerado com o MDE SRTM que, tendeu a subestimar o potencial de escoamento em áreas planas e superestimar em trechos dos canais de drenagem.

O mapa gerado pode dar suporte à gestão ambiental do município, uma vez que discretizou as áreas em risco de fluxo erosivo intenso, especialmente em relação a eventos de precipitação de alta magnitude. Assim, as áreas prioritárias para a implantação de técnicas mecânicas de conservação do solo são os locais

com alto potencial de geração de escoamento que coincidem com lavouras onde o efluente suíno é aplicado como fertilizante orgânico.

REFERÊNCIAS

ELWELL, H. A. An assessment of soil erosion in Zimbabwe. **Zimbabwe Science News**, v. 19, n. 3-4, pp. 27-31, 1985.

EL-SWAIFY, S. A.; MOLDENHAUER, W. C.; LO, A. **Soil erosion and conservation**. Soil Conservation Society of America, Ankeny, IA. 1985. 793 p.

EMATER (2014). Disponível em: <http://www.emater.tche.br/site/noticias/detalhe-noticia.php?id=20468#.VenmuvIViko>.

FINNEGAN, N. J.; SKLAR, L. S.; FULLER, T. K. Interplay of sediment supply, river incision, and channel morphology revealed by the transient evolution of an experimental bedrock channel. **Journal of Geophysical Research**, v. 112, F03S11, 2007.

GOLDEN, A. R.; SPRINGER, G. S. Hydraulic geometry, median grain size, and stream power in small mountain streams. **Geomorphology**, v. 78, pp. 64-76, 2006.

GRUBER, S.; PECKHAM, S. Land-surface parameters and objects in hydrology. In: HENGL, T.; REUTER, H. I. (eds.) **Geomorphometry: concepts, software, applications**. Amsterdam: Elsevier, 2008, pp.171-194.

HELMING, K.; AUZET, A.-V.; FAVIS-MORTLOCK, D. Soil erosion patterns: Evolution, spatio-temporal dynamics, and connectivity. **Earth Surf. Processes Landforms**, v. 30, pp.131-132, 2005.

HUDSON, N. W. **Soil Conservation**. 2nd ed. Cornell University Press, Ithaca, NY. 1981.

IBGE. **Censo Demográfico**, 2010.

LAL, R. Productivity assessment of tropical soils and the effects of erosion. Pages 70-94 in RIJSBERMAN, F R.; WOLMAN, M. G. eds. **Quantification of the Effect of Erosion on Soil Productivity in an International Context**. Delft Hydraulics Laboratory, Delft, Netherlands. 1984a.

LAL, R. Soil erosion from tropical arable lands and its control. **Advances in Agronomy**, v. 37, pp. 183-248, 1984b.

MINELLA, J. P. G.; MERTEN, G. H. Índices topográficos aplicados à modelagem agrícola e ambiental. **Ciência Rural**, v. 42, n. 9, pp. 1575-1582, 2012.

MOORE, I. D.; GRAYSON, R. B.; LADSON, A. R. Digital Terrain Modeling: A Review of Hydrological, Geomorphological and Biological Application. **Hydrological Processes**, v. 5, n. 1, p. 3, 1991.

MOORE, I. D.; BURCH, G.; MACKENZIE, D. Topographic effects on the distribution of surface soil water and the location of ephemeral gullies. **Transactions of the ASAE**, v. 31, pp.1098-1107, 1988.

PÉREZ-PEÑA, J. V.; AZAÑÓN, J. M.; AZOR, A.; DELGADO, J.; GONZÁLEZ-LODEIRO, F. Spatial analysis of stream power using GIS: SLk anomaly maps. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 34, 16-25, 2009.

POSNER, J. L. **Cropping systems and soil conservation in tropical America**. Report to Rockefeller Foundation, New York. 1981.

RUHOFF, A. L.; CASTRO, N. M. R.; RISSO, A. Numerical modelling of the topographic wetness index: an analysis at different scales. **International Journal of Geosciences**, v. 2, n. 4, pp. 476-483, 2011.

SKLAR, L. S.; DIETRICH, W. E. Sediment and rock strength controls on river incision into bedrock. **Geology**, v. 29, pp. 1087-1090, 2001.

TROEH, F. R.; HOBBS, J. A.; DONAHUE, R. L. Predicting Soil Loss. In **Soil and Water Conservation**, 2ed. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, USA. 1991.

UNEP - United Nations Environment Programme 1982. **Development and Environment in the Wider Caribbean Region: A Synthesis**. UNEP Regional Reports and Studies n. 14. Nairobi, Kenya.

WILSON, J. P.; GALLANT, J. C. Digital Terrain Analysis. In: WILSON, J. P.; GALLANT, J. C. Eds., **Terrain Analysis: Principles and Applications**, John Wiley and Sons, Inc, New York, 2000, pp. 1-27.

WOLOCK, D. M.; MCCABE, G. J. Differences in topographic characteristics computed from 100 and 1000 m resolution digital elevation models. **Hydrological Processes**, v. 14, pp. 987-1002, 2000.

Artigo submetido em: 09/11/2015

Aceito para publicação em: 07/02/2016

Publicado em: 27/02/2016