

## **SIMULAÇÃO DA CONECTIVIDADE COM OS RIOS E VERTENTES DOS SEDIMENTOS PROVENIENTES DE ESTRADAS NÃO PAVIMENTADAS**

Schultz, G.B. (MESTRANDO DO PPG EM GEOGRAFIA DA UFPR) ; Marangon, F.H.S. (MESTRANDO DO PPG EM GEOGRAFIA DA UFPR) ; Iensen, I.R.R. (GRADUANDA EM GEOGRAFIA DA UFPR) ; Santos, I. (PROF DO DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA DA UFPR)

### **RESUMO**

As estradas não pavimentadas têm sido apontadas como uma importante fonte de sedimentos. Este trabalho teve como objetivo estimar a produção anual de sedimentos em estradas e avaliar a conexão com os rios e vertentes da bacia hidrográfica Santa Alice. A produção total de sedimentos provenientes das estradas foi de 689,3 t/ano, 19% da produção tem conexão direta com os rios, 61% é drenada para vertentes por escoamento concentrado e 20% por escoamento difuso.

### **PALAVRAS CHAVES**

*estradas não pavimentadas; produção de sedimentos; conectividade hidrológica*

### **ABSTRACT**

Unpaved roads have been reported as a important sediment source. The objective of this paper is to estimate the annual sediment production of roads and assess its connectivity with rivers and hillslope in the Santa Alice watershed. The total sediment production of unpaved roads was 689,3 t/yr, 19 % of this sediments is directly connected with rivers, 61% is drained to hillslope by concentrated flow and 20% by dispersive flow.

### **KEYWORDS**

*unpaved roads; sediment production; hydrologic connectivity*

### **INTRODUÇÃO**

Os processos que controlam a produção de sedimentos em bacias hidrográficas dependem dos fatores que determinam a disponibilização dos sedimentos nas áreas fonte e a capacidade de transporte até os rios. Desta forma, áreas com diferentes declividades, cobertura e tipo de solo, têm sua influência nos processos hidrossedimentológicos determinada pelo potencial de gerar escoamento superficial e produzir sedimentos, assim como pelo grau de conectividade com o sistema fluvial. A conectividade hidrológica se refere à intermediação da água na transferência de energia e matéria (PRINGLE, 2003). Diversos estudos têm demonstrado que apesar da pequena área ocupada pelas estradas não pavimentadas estas são fontes representativas de sedimentos, quando comparada a outras coberturas do solo (REID e DUNNE, 1984; MOTHÁ et al., 2004; THOMAZ et al., 2011). Isso ocorre pelo alto potencial de geração de escoamento superficial das estradas que pode ser direcionado diretamente para os rios, ou para encostas que podem apresentar conexão indireta com rios. O comprimento de vertente seguindo a linha de fluxo, entre a estrutura de drenagem da estrada e o rio, tem papel determinante na conectividade, uma vez que a capacidade de infiltração das encostas diminui o volume do escoamento superficial, e, portanto, longos percursos diminuem a probabilidade de conexão (HAIRSINE et al., 2002). O escoamento direcionado para a encosta pode ocorrer na forma de escoamento concentrado ou difuso. A diferenciação é relevante tendo em vista que, no escoamento concentrado, o decaimento da velocidade do escoamento e da concentração de sedimentos é menor comparado ao escoamento difuso (CROKE, J. et al., 2005). Este trabalho tem como objetivo estimar a produção anual de sedimentos provenientes das estradas e avaliar a possibilidade de conexão com os rios e vertentes na bacia hidrográfica Santa Alice.

### **MATERIAL E MÉTODOS**

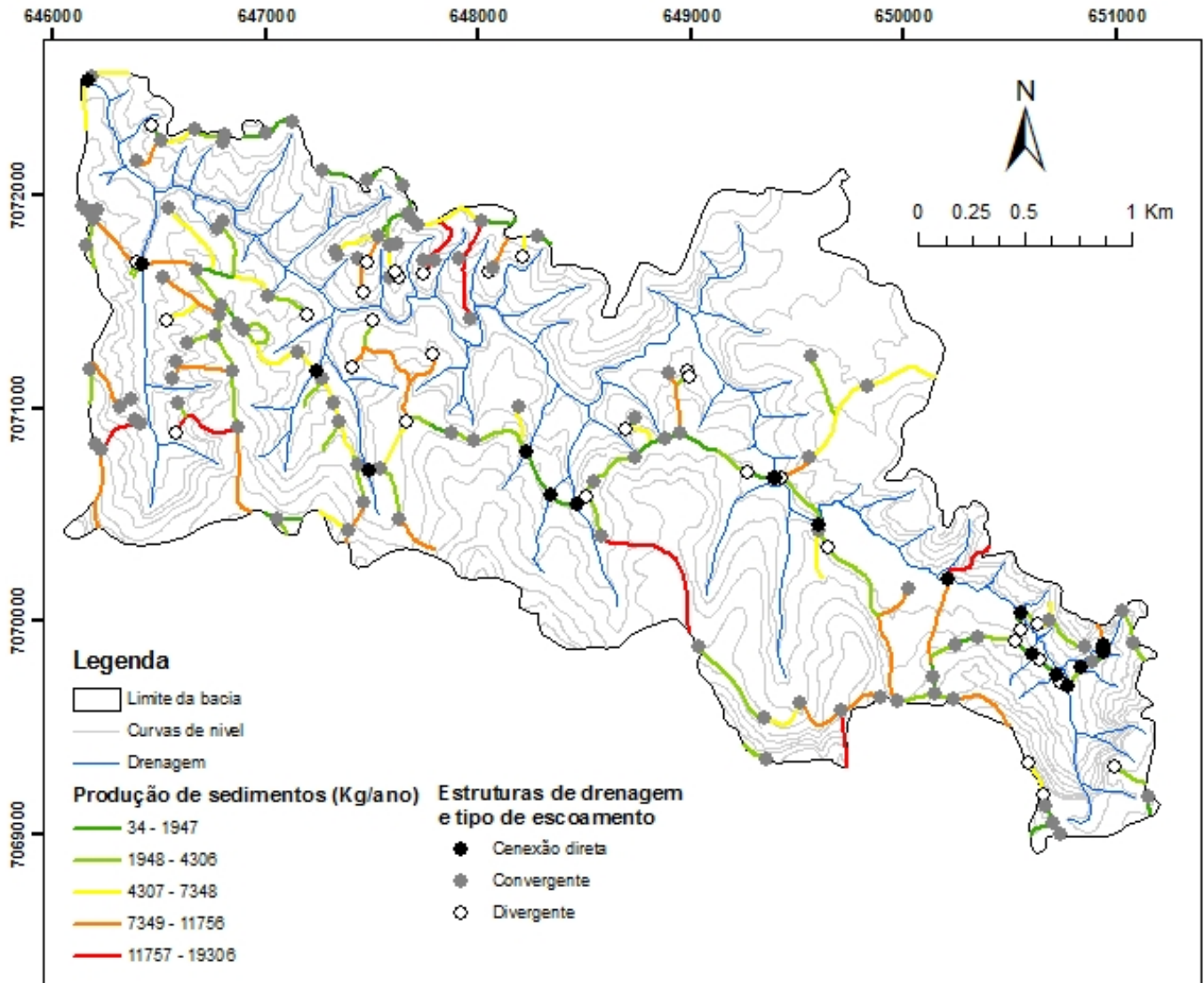
A bacia experimental Santa Alice tem área de drenagem de 8,72 km<sup>2</sup> e localiza-se entre as coordenadas 26º27' a 26º29' S e 49º28' a 41º32', no município de Rio Negrinho, ao norte do estado

de Santa Catarina. A extensão total das estradas é de 27,75 km, ocupando uma área de 0,14 km<sup>2</sup> (GOERL et al., 2011). O modelo GRAIP (Geomorphologic Road Analysis and Inventory Package) é um conjunto de ferramentas para a análise do impacto das estradas em bacias hidrográficas (PRASAD et al., 2005). Este software foi utilizado para estimar a produção de sedimentos anual acumulada nas estruturas de drenagem. Os dados de estrada são a rede de estradas, as estruturas de drenagem e o Modelo Digital do Terreno (MDT). As informações cartográficas utilizadas são provenientes de ortofotocartas em escala 1:10.000 cedidas pela Prefeitura Municipal de Rio Negrinho. Na ausência de um inventário detalhado sobre as estruturas de drenagem das estradas, as mesmas foram inferidas pela interpretação do MDT sendo inseridos pontos em vales, final das estradas e interseção com rios, associando a cada um destes pontos um trecho de estrada. Os resultados do modelo foram relacionados com as características das vertentes para inferir sobre a conectividade da produção de sedimentos das estradas com os rios. A determinação do comprimento de vertente disponível seguindo a linha de fluxo entre as estruturas de drenagem das estradas e o rio e o plano de curvatura da vertente foram definidos utilizando a extensão Spatial Analyst do ArcGIS 9.2. O plano de curvatura descreve a forma da vertente e permite inferir sobre o tipo de escoamento predominante (MOORE et al., 1991). O escoamento drenado para as linhas de fluxo localizadas em vertentes predominantemente convergentes foi classificado como escoamento concentrado. O localizado em vertentes planas ou divergentes foi classificado como difuso. As estruturas de drenagem que direcionam diretamente para os rios foram definidas como de conexão direta.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

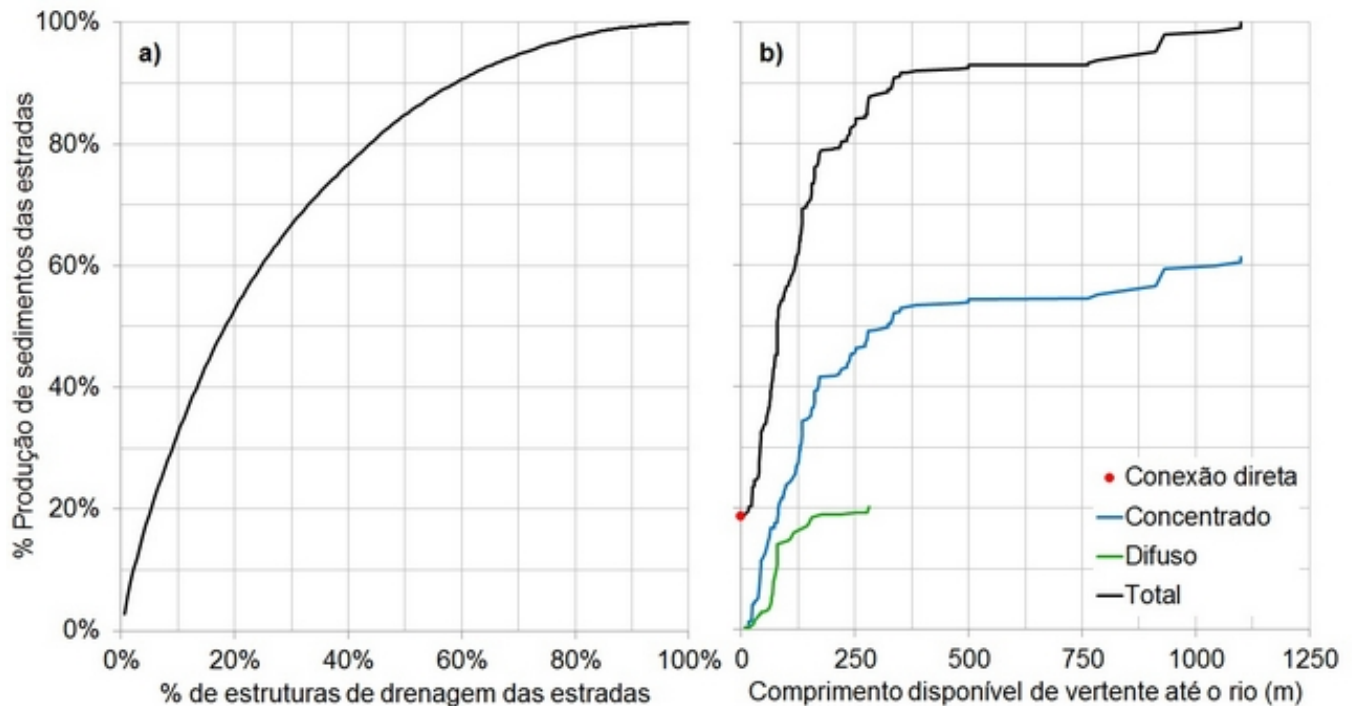
Com a aplicação do GRAIP foi calculada a produção anual de sedimentos dos 182 trechos associados às estruturas de drenagem (Figura 1). A produção específica de sedimentos provenientes das estradas foi de 4,97 kg/m<sup>2</sup>/ano, totalizando 689,3 t/ano. Este resultado é semelhante aos trabalhos de Ramos-Scharrón e Macdonald (2007) e Thomaz et al. (2011) que realizaram medições em estradas não pavimentadas e encontraram valores de produção de sedimentos de 5,7 e 3,2 kg/m<sup>2</sup>/ano, respectivamente. As estruturas de drenagem das estradas foram classificadas de acordo com o tipo de encosta predominante no caminho percorrido entre a estrutura e o rio mais próximo ou pela conexão direta, caracterizada pela interseção das estradas com os rios. Das 182 estruturas, 31 direcionam o escoamento diretamente para os rios, 117 drenam para vertentes predominantemente convergentes, e 34 para divergentes. A contribuição de sedimentos transferidos por conexões diretas com os rios foi de 19% da produção total das estradas. Esta forma de conexão é indicada na literatura como a mais efetiva na transferência de sedimentos das estradas (LANE e SHERIDAN, 2002). Proporção semelhante da produção de sedimentos foi encontrada nas estruturas que direcionam o escoamento para vertentes divergentes, as quais recebem 20% da produção de sedimentos. O escoamento difuso pode ser considerado o de menor grau de conexão, devido a deposição dos sedimentos na vertente (HAIRSINE et al, 2002). Devido ao maior número de estruturas que drena para áreas com escoamento concentrado, esta tipologia de vertente recebe a maior parte do sedimento produzido nas estradas, totalizando 61%. Por se tratar de um caminho que pode possibilitar alta conectividade dos sedimentos das estradas com os rios, esta associação com escoamento concentrado é um indicativo de prováveis impactos das estradas na dinâmica hidrossedimentológica. Foi observada ainda a concentração da produção de sedimentos em poucas estruturas, sendo que 53% dos sedimentos ocorrem em apenas 20% das estruturas (Figura 2a). Isso é reflexo principalmente das características de declividade e comprimento de cada trecho de estrada (Figura 1), gerando uma grande heterogeneidade espacial na produção de sedimentos. No entanto, não houve relação entre a magnitude da produção de sedimentos e o tipo de estrutura. Outro fator importante na conectividade entre estradas e rios é o comprimento de vertente entre a estrutura de drenagem da estrada e os rios, pois a influência ocorre em um grau inversamente proporcional a distância percorrida pelo escoamento. Nota-se que mais de 80% dos sedimentos são transferidos para vertentes com comprimento disponível até o rio inferior à 150 m (Figura 2b). As estruturas que drenam para áreas de escoamento concentrado, apesar de maior proporção de sedimentos, possuem comprimentos de vertente disponível consideravelmente maiores comparados aos presentes nas estruturas com escoamento difuso.

Figura 1



*Produção de sedimentos das estradas e tipo de escoamento nas vertentes a partir das estruturas de drenagem das estradas*

Figura 2



a) Relação entre produção de sedimentos e estruturas de drenagem; b) Comprimento disponível de vertente para o transporte de sedimentos das estradas

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O GRAIP apresentou resultados satisfatórios de produção de sedimento das estradas. A espacialização dos resultados torna possível a avaliação de relações entre a disponibilização de sedimentos das estradas e características de drenagem das estradas e encostas. A determinação das estruturas de drenagem e sua classificação, utilizando características do relevo, possibilitaram uma aproximação sobre o grau de conectividade dos sedimentos produzidos nas estradas, e a proporção de sedimentos nas estruturas. Devido ao caráter inicial dos resultados encontrados recomenda-se a realização de estudos mais detalhados visando determinar a proporção de sedimentos produzidos nas estradas que efetivamente são transferidos para os rios, possibilitando uma avaliação mais precisa da contribuição da rede de estradas nos processos sedimentológicos da área de estudo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA

CROKE, J.; MOCKLER, S. Gully initiation and road-to-stream linkage in a forested catchment, southeastern Australia. *Earth Surface Processes and Landforms*, v. 26, n. 2, p. 205-217, 2001.

CROKE, J.; MOCKLER, S.; FOGARTY, P.; TAKKEN, I. Sediment concentration changes in runoff pathways from a forest road network and the resultant spatial pattern of catchment connectivity. *Geomorphology*, v. 68, n. 3-4, p. 257-268, 2005.

GOERL, R. F.; SIEFERT, C. A. C.; SCHULTZ, G. B.; SANTOS, C. S.; SANTOS, I. Elaboração e Aplicação de Índices de Fragmentação e Conectividade da Paisagem para Análise de Bacias Hidrográficas. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 05, p. 1000-1012, 2011.

HAIRSINE, P. B.; CROKE, J. C.; MATHEWS, H.; FOGARTY, P.; MOCKLER, S. P. Modelling plumes of overland flow from logging tracks. *Hydrological Processes*, v. 16, n. 12, p. 2311-2327, 2002.

LANE, P. N. J.; SHERIDAN, G. J. Impact of an unsealed forest road stream crossing: water quality and

sediment sources. *Hydrological Processes*, v. 16, n. 13, p. 2599-2612, 2002.

MOORE, I. D.; GRAYSON, R B; LADSON, A. R. Digital terrain modelling: A review of hydrological, geomorphological, and biological applications. *Hydrological Processes*, v. 5, n., p. 3-30, 1991.

MOTHA, J. A.; WALLBRINK, P. J.; HAIRSINE, P. B.; GRAYSON, R.B. Unsealed roads as suspended sediment sources in an agricultural catchment in south-eastern Australia. *Journal of Hydrology*, v. 286, n. 1-4, p. 1-18, 2004.

PRASAD, A.; TARBOTON, D. G.; LUCE, C. H.; BLACK, T. A. A GIS Tool to Analyze Forest Road Sediment Production and Stream Impacts. *ESRI Users Conference*, 2005

PRINGLE, C. What is hydrologic connectivity and why is it ecologically important? *Hydrological Processes*, v. 17, n. 13, p. 2685-2689, 2003.

RAMOS-SCHARRÓN, C. E.; MACDONALD, L. H. Measurement and prediction of natural and anthropogenic sediment sources, St. John, U.S. Virgin Islands. *Catena*, v. 71, n. 2, p. 250-266, 2007.

REID, L. M.; DUNNE, T. Sediment production from forest roads surfaces. *Water Resources Research*, v. 20, n. 11, p. 1753-1761, 1984.

THOMAZ, E. L.; ANTONELI, V.; DIAS, W. A. Estimativa de Proveniência de Sedimento em Cabeceira de Drenagem com Alta Densidade de Estradas Rurais não Pavimentadas. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 16, n. 2, p. 25-37, 2011.