

ESTIMATIVA DA PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS EM ESTRADAS NÃO PAVIMENTADAS DENTRO DA BACIA DO RESERVATÓRIO DO PIRAQUARA I (PARANÁ)

Leonardo Brustolon ¹
Irani dos Santos ²

INTRODUÇÃO

Os processos hidrológicos, compreendidos pela desagregação, transporte e deposição, atuam diretamente nas dinâmicas dos sedimentos dentro do recorte de uma bacia hidrográfica, formando um dos agentes mais expressivos na modelagem da paisagem (Zanandrea, Kobiyama e Michel, 2017). Portanto, a compreensão destes fenômenos é importantíssima para a elaboração de diagnósticos ambientais que possam, inclusive, subsidiar o planejamento do manejo destas porções territoriais.

Nesta problemática, algumas formas de ocupação, mesmo que essenciais para as relações humanas, criam cenários que alteram substancialmente as dinâmicas ambientais pré-existentes (Silva, 1995). As estradas não pavimentadas causam a modificação morfológica das encostas, a compactação do solo, a retirada da cobertura vegetal, entre outras interferências que acentuam os processos naturais de erosão (Schultz, 2013).

Assim, o presente trabalho tem como principal objetivo realizar a aplicação do modelo GRAIP na estimativa da produção de sedimentos em estradas não pavimentadas, localizadas dentro da área de drenagem para o reservatório do Piraquara I. As estradas selecionadas permeiam uma área expressiva da bacia e transitam entre legislações distintas de proteção ambiental. Portanto, o trabalho também tem como objetivo a realização de uma discussão crítica sobre o manejo das estradas e a sua presença em áreas sensíveis do ponto de vista da preservação.

¹ Graduando do Curso de Geografia da Universidade Federal do Paraná - UFPR, leobrustolon@hotmail.com;

² Professor adjunto no departamento de Geografia da Universidade Federal do Paraná- UFPR, irani@ufpr.br.

REFERENCIAL TEÓRICO

A temática do impacto das estradas não pavimentadas em diferentes contextos ambientais vem sendo estudada há décadas, principalmente em regiões destinadas à exploração da madeira nos Estados Unidos (Reid e Dunne, 1984). Essas vias alteram a dinâmica hidrossedimentológica natural da bacia de drenagem, aumentam as taxas de escoamento superficial e de descarga de sedimentos, além de facilitar a conectividade entre os canais e as vertentes (Thomaz, Antoneli e Dias, 2011; Schultz, 2013). Considerando a deposição nos fundos de vale, os sedimentos finos (<2 mm) provenientes das estradas podem provocar o assoreamento dos reservatórios, diminuição da capacidade de armazenamento, aumento com custos de tratamento dos recursos hídricos, além de ser extremamente prejudicial para toda a dinâmica da ictiofauna do local (Wood e Armitage, 1997; Carvalho 1994; Campbell e Doeg, 1989).

Minella *et al* (2007) em um estudo de caso na bacia do Agudo no estado do Rio Grande do Sul, constaram após amplo trabalho de monitoramento que, mesmo ocupando 25 vezes menos área do que as lavouras, as estradas contribuem com pelo menos um terço de toda a produção de sedimentos da bacia. Este fenômeno pode ser observado amplamente pela bibliografia já existente (Reid e Dunne, 1984; Luce, 2002; Lane e Shediran, 2002; Sidle *et al*, 2004; Al-Chokhachy *et al*, 2016; entre outros). Contudo, no Brasil, estudos do tipo ainda não são amplamente conhecidos, mesmo que as estradas não pavimentadas sejam maioria na malha viária brasileira (DNIT, 2009; CNT, 2017).

Isso se deve principalmente ao fato de que tais pesquisas trazem consigo obstáculos de diversas ordens de complexidade: desde elevados custos com tecnologias de monitoramento e recursos humanos, até a falta de metodologias (Carvalho, 1994). Para tal, a aplicação de ferramentas de modelagem pode facilitar o processo ao tentar justamente limitar a complexidade, a fim de possibilitar a melhor demarcação dos parâmetros a serem utilizados, mediante a impossibilidade da mensuração direta de todas as variáveis envolvidas nos processos (Santos, 2009; Schultz, 2017). Entre as ferramentas, destaca-se o modelo GRAIP (Geomorphic Road Analysis and Inventory Package), desenvolvido na universidade de Utah especialmente para aplicação no âmbito da produção de sedimentos por estradas não pavimentadas (Prasad *et al*, 2006).

MATERIAIS E MÉTODOS

A área de estudo - a bacia do Reservatório Piraquara I - situa-se na Região Metropolitana de Curitiba (RMC), no município de Piraquara, PR. A bacia, com área de drenagem igual a 26,96 km², está localizada no leste da bacia do Altíssimo Iguaçu e compreende uma região muito importante para o abastecimento de toda a Região Metropolitana de Curitiba (Andreoli, 2003). O clima da região, segundo a classificação de Köppen, se enquadra no tipo Cfb (subtropical úmido), sendo que a precipitação média anual supera os 1.900 mm (IAPAR, 1994). A geologia predominante diz respeito ao complexo gnáissico migmatítico, suíte, Álcali-Granitos e sedimentos recentes, em uma porção que revela a transição entre o planalto de Curitiba e a Serra do Mar (MINEROPAR, 2006).

Dentro da área enfoque é possível encontrar diferentes legislações de proteção ambiental: A Área de Proteção Ambiental (APA) do Piraquara, instituída pelo Decreto 1.754/1996, se estende por toda a área de estudo; A Área de Especial Interesse Turístico (AEIT) do Marumbi, instituída pela lei Lei 7.919/1984, que ocupa 81% da área (22,1 km²); O Parque Estadual Pico do Marumbi, instituído pelo decreto 7.300/1990, presente em 39,02% da área (10,52 km²); O Parque Estadual da Serra do Baitaca, criado em 2002 pelo decreto 5.765, ocupando apenas 4,5% da bacia (1,22 km²). Com o objetivo de estimar o impacto dos sedimentos provenientes de cada unidade de preservação específica, cada uma delas foi destacada perante a legislação que a sobrepõe (Figura 2). Desse modo, será possível também avaliar se as condições das estradas, ou sua própria existência ali, condizem com as restrições de uso que os diferentes decretos impõem.

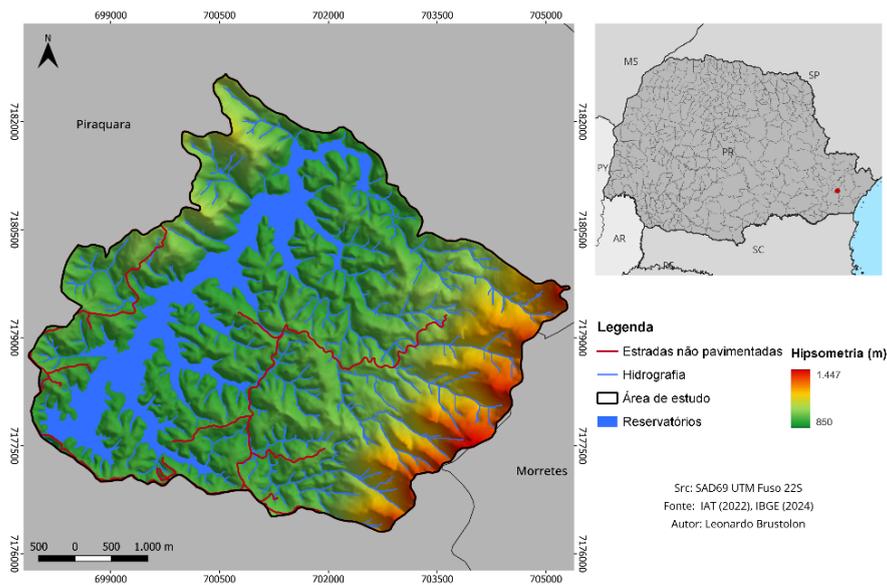


Figura 1 - Hipsometria e localização da área de estudo. Fonte: elaborado pelo autor, 2024.

A versão do modelo GRAIP utilizada está inserida dentro do conjunto de ferramentas ArcHydroTools, disponibilizado para a versão 10.5 do software ArcGIS. O modelo utiliza para as simulações um MDT (Modelo Digital do Terreno) e o vetor das estradas (Black, 2016). O vetor foi criado com base nas imagens mais recentes do Google, por meio do software QGIS. Já o MDT foi gerado com base nas curvas de nível (equidistância de 10 metros) da região (SUDERHSA, 2000).

O funcionamento básico do modelo se dá pela equação $E=B.R.S.V$, onde E é a produção de sedimentos (kg/ano), B é o índice erosivo (calculado a partir de uma série de dados relacionados às características físicas da área), S é o fator de superfície (adimensional, calculado a partir da relação entre o material de que é construída a estrada e a intensidade do tráfego), V é o índice de cobertura vegetal (adimensional). Para o índice de erosividade foi utilizada a metodologia de Black (2020) que manipula dados de condições geológicas, climáticas e pedológicas da área delimitada através do modelo digital WEPP Road.

O cálculo da variável B se dá pela equação: $Mt/(L.S.R.V)$, onde R representa um fator determinado pelas características do manejo da estrada, Mt é o montante de sedimentos produzidos (kg/km²/ano) - estimado pelo modelo WEPP -, LS é o fator topográfico e V um índice baseado na presença de vegetação sobre o leito da estrada. O valor médio de R foi estabelecido em 5, de acordo com a recomendação do manual do modelo para estradas que possuem cascalho e possuem baixos índices de tráfego, e V

foi definido como 1, uma vez que a vegetação é praticamente inexistente sobre essas estradas (GRAIP, 2019).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para o estudo, foram mapeados 20,37 quilômetros de estradas não pavimentadas, situadas principalmente na porção central e sul da área de estudo. As estradas foram divididas em 500 segmentos, resultando em uma média de 40,6 metros de comprimento e 6,11% de declividade por segmento. No total, o valor da produção anual de sedimentos por todas as estradas da área foi de 238,34 toneladas. Considerando este valor, cada quilômetro da estrada produz anualmente 11,69 kg de sedimentos. Já na saída do modelo que diz respeito ao transporte específico de sedimentos aos canais, o valor foi em média de 2,56 ton/km²/ano. O valor preponderante do transporte específico varia entre 0 e 30,4 ton/km²/ano, sendo que apenas 1,5% dos canais apresentam valores superiores a este, alcançando o máximo de 132,6 ton/km²/ano.

Tabela 1 - Resultados da aplicação do modelo GRAIP.

Unidade de Conservação	Comprimento Total (km)	Comprimento médio (m)	Declividade Média (%)	Produção Total (ton/ano)	Produção Média (kg/ano/km)	Transporte Específico (ton/km ² /ano)
Total	20,37	40,66	6,11	238,34	11,69	2,56
APA do Piraquara	5,13	40,46	7,41	72,41	14,09	5,84
AEIT do Marumbi	12,85	38,49	5,99	146,36	11,38	3,5
Parque Estadual Pico do Marumbi	2,37	61,01	4,32	19,56	8,22	0,7

Fonte - Elaborado pelo autor, 2024.

Como visto na Tabela 1, a unidade de conservação que mais produziu sedimentos em suas estradas foi a área coberta apenas pela AEIT do Marumbi. Porém, aquela com a maior conectividade hidrossedimentológica foi a área correspondente à APA do Piraquara, apresentando também a maior declividade média por segmento de estrada. A área representativa do Parque Estadual da Serra do Baitaca não possui nenhuma estrada não pavimentada, por isso não exerceu influência no resultado final (Figura 2).

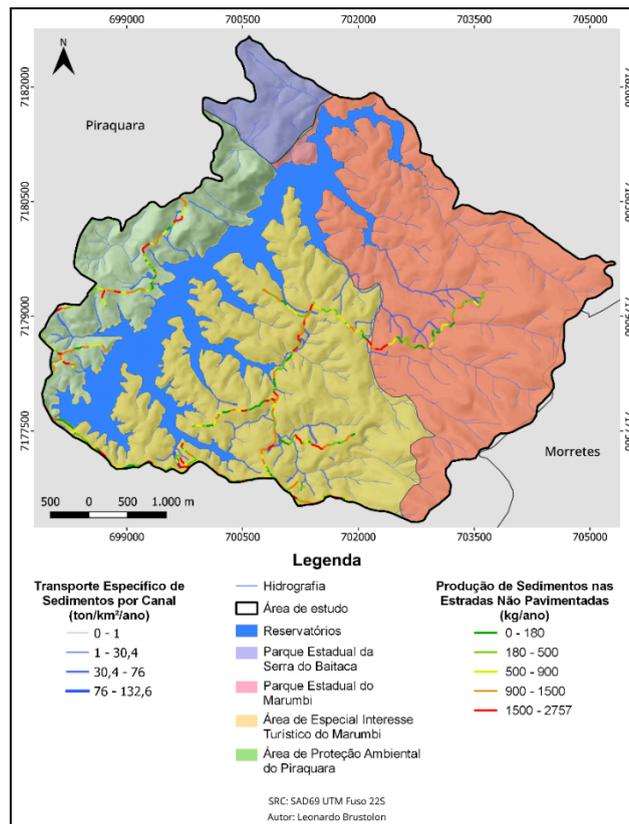


Figura 2 - Resultado da aplicação do modelo GRAIP. Fonte: elaborado pelo autor, 2024.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O modelo GRAIP possibilitou a quantificação do impacto das estradas não pavimentadas dentro de uma área sensível em termos de legislação ambiental, bem como a visualização da espacialidade do fenômeno no contexto da sua conectividade com a hidrografia da região. Tais informações podem auxiliar no planejamento do manejo correto das unidades, visando a diminuição do impacto ambiental que as próprias atividades de conservação podem causar. A modelagem provou-se uma ferramenta importantíssima, porém, o estudo foi realizado com a estimativa de alguns valores e pode ter sua precisão aprimorada no futuro, após a realização de medições e trabalhos de campo.

Palavras-chave: Estradas não pavimentadas; Produção de sedimentos, Modelagem hidrossedimentológica, Unidades de conservação.

REFERÊNCIAS

AL-CHOKHACHY, R.; BLACK, T. A.; THOMAS, C.; LUCE, C. H.; RIEMAN, R.; CISSEL, R.; CARLSON, A. HENDRICKSON, S. ARCHER, E. K.; KERSHNER, J. L. Linkages between unpaved forest roads and streambed sediment: why context matters in directing road restoration. **Restoration Ecology**, v. 24, n. 5, p. 589-598, 2016.

ANDREOLI, C. **Os mananciais de abastecimento: planejamento e gestão**. Curitiba: Sanepar Finep, 2003.

BLACK, T. Calculating the GRAIP Base Rate. USDA, 2020. Disponível em: <https://www.fs.usda.gov/GRAIP/downloads/CalculatingTheGRAIPBaseRate2020.pdf>. Acesso em: 10 mar. 2024.

CAMPBELL I. C.; DOEG, T. J. Impact of timber harvesting and production on streams: a review. **Australian Journal of Marine and Freshwater Research**, v. 40, n. 5, p. 519-539, 1989.

CARVALHO, N.O. **Hidrossedimentologia Prática**, CPRM, ELETROBRÁS, 1994.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE. Relatório Técnico. **Transporte Rodoviário**: Por que as os pavimentos das rodovias do Brasil não duram?, Brasília - DF, 2017. Disponível em: <https://cnt.org.br/por-que-pavimentos-rodovias-nao-duram>. Acesso em: 1 set. 2023.

DNIT. **Relatório de Extensões do Sistema Rodoviário Nacional**. Brasília - DF, 2009.

GRAIP. (6 de agosto de 2019). Graip Lite Quick Start, Manual User. Disponível em: <https://www.fs.usda.gov/research/rmrs/projects/graiplite#training-and-manuals>. Acesso em: 10 mar. 2024.

IAPAR. Cartas climáticas do estado do Paraná. Documento 18, Instituto Agrônômico do Paraná, Londrina, 1994.

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.

LUCE, C. H. Hydrological processes and pathways affected by forest roads: what do we still need to learn? **Hydrological Processes**, v. 16, n. 14, p. 2901-2904, 2002.

MINELLA, J. P. G. MERTEN, G. H.; REICHERT, J. M.; SANTOS, D. R. Identificação e implicações para a conservação do solo das fontes de sedimentos em bacias hidrográficas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 31, p. 1637-1646, 2007.

MINEROPAR. Mapeamento Geomorfológico do Estado do Paraná. 2006.

NELSON, N.; LUCE, C.; BLACK, T. GRAIP_Lite: A system for road impact assessment. US Dept. of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, Boise, ID, 2019.

PARANÁ. Decreto m. 5765 de 05 de julho de 2002. Cria o Parque Estadual da Serra da Baitaca, localizado nos municípios de Quatro Barras e Piraquara.

PARANÁ. Decreto n. 1754 de 06 de maio de 1996. Instituída a Área de Proteção Ambiental na área de manancial da bacia hidrográfica do rio Piraquara, denominada APA Estadual do Piraquara, localizada no Município de Piraquara.

PARANÁ. Decreto n. 7300, de 24 de setembro de 1990. Criação do Parque Estadual Pico do Marumbi na comarca de Morretes como mencionado nesse decreto.

PARANÁ. Lei n. 7919 de 22 de outubro de 1984. Considera Área de Especial Interesse Turístico a área que especifica, situada nos Municípios de Campina Grande do Sul, Antonina, Morretes, São José dos Pinhais, Piraquara e Quatro Barras.

REID, L.M.; DUNE, T. Sediment production from forest road surfaces. **Water Resources Research**. 1984, p. 1753-1761.

SANTOS, I. **Monitoramento e modelagem de processos hidrogeomorfológicos: mecanismos de geração de escoamento e conectividade hidrológica**. 2009. Tese (Doutorado em geografia) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

SCHULTZ, G. B. **Avaliação do processo de produção de sedimentos em um trecho de estrada não pavimentada**. 2013. Dissertação (Mestrado em Geografia) Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

SCHULTZ, G. B. **Conectividade hidrossedimentológica em bacias experimentais embutidas**. 2017. Tese (Doutorado em geografia) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2017.

SIDLE, R. C.; SASAKI, S.; OTSUKI, M.; NOGUCHI, S.; RAHIM NIK, A. Sediment pathways in a tropical forest: effects of logging roads and skid trails. **Hydrological Processes**, v. 18, n. 4, p. 703-720, 2004.

SILVA, M. S. L. Estudos da erosão. EMBRAPA-CPATSA, 1995.

SUDERHSA. Sistema de Informações Geográficas para Gestão de Recursos Hídricos no Alto Iguaçu. Paraná, 2000. Disponível em: <https://www.iat.pr.gov.br/Pagina/Mapas-e-Dados-Espaciais>.

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.

WOOD, P. J.; ARMITAGE, P. D. Biological effects of fine sediment in the lotic environment. **Environmental Management**, v. 21, n. 2, p. 203–217, 1997.

ZANANDREA, F.; KOBIYAMA, M.; MICHEL, G. P. Conectividade Hidrossedimentológica: uma abordagem conceitual. **Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos** (22.: Florianópolis, 2017). Anais... 2017.