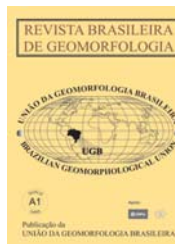




www.ugb.org.br
ISSN 2236-5664

Revista Brasileira de Geomorfologia

v. 14, n° 1 (2013)



ESTRADA RURAL NÃO PAVIMENTADA COMO FONTE DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL E SEDIMENTO

UNPAVED RURAL ROAD AS SOURCE OF RUNOFF AND SEDIMENT

Edivaldo Lopes Thomaz

*Programa de Pós-graduação em Geografia - Universidade Estadual do Centro-Oeste - UNICENTRO -
Rua Simeão Camargo Varela de Sá, 03 - Cx. Postal, 3010 - CEP 85.040-430 - Guarapuava - PR.
E-mail: edivaldo.thomaz@pq.cnpq.br*

Adalberto Alves Pereira

*Programa de Pós-graduação em Geografia - Universidade Estadual do Centro-Oeste - UNICENTRO -
Rua Simeão Camargo Varela de Sá, 03 - Cx. Postal, 3010 - CEP 85.040-430 - Guarapuava - PR.
E-mail: adalbertoalvespereira@yahoo.com.br*

Informações sobre o Artigo

Data de Recebimento:
13/11/2012

Data de Aprovação:
12/04/2013

Palavras-chave:

Processo de vertente; chuva simulada; erosão do solo.

Keywords:

Hillslope processes; simulated rainfall; soil erosion.

Resumo

As estradas não pavimentadas são responsáveis pelo aumento do escoamento superficial e produção de sedimento em vertentes e bacias de drenagem. Os objetivos deste estudo foram: a) mensurar o escoamento superficial e a produção de sedimento em estradas rurais não pavimentadas; b) avaliar o tamanho de partículas transportadas pelo escoamento superficial. Foi utilizado um microaspersor e uma chuva constante (115,5 mm/h) foi aplicada por trinta minutos em diferentes leitos de estradas. Conclui-se que a produção de sedimento foi alta nas estradas avaliadas 205,3 g/m², assim como o escoamento superficial estável 72,2%. As características físicas dos trechos de estradas como: declividade, pavimento, idade da estrada e tráfego influência na disponibilidade de sedimento e no tamanho das partículas transportadas. A produção de sedimento no leito da estrada tendeu a exaustão durante a chuva.

Abstract

Unpaved roads are responsible for enhancing runoff and sediment on hillslopes and catchment. The objectives of this study were: a) to measure runoff and sediment production on unpaved roads, b) to assess the particles size carried out by the runoff. We used a microsprinkle. And a constant rain (115.5 mm/h) lasting for thirty minutes in different roadbeds was applied. It was concluded that the roads produces a high quantity of sediment 205.3 g/m², as well as a high stable runoff coefficient of 72.2%. The physical characteristics of the roadbed as: slope, ground surface, period of the road construction and road traffic has influence on the quantity and the sediment particles size transported by the runoff. The production of sediment in the roadbed tended to exhaustion during rainfall simulation.

Obs.: Parte do projeto, avaliação do aporte de sedimento proveniente de estradas rurais e de seus impactos na descarga sólida fluvial em suspensão, na bacia do Rio Guabiroba, Guarapuava-PR, financiado pelo CNPq - Edital Universal 15/2007 (Processo 475161/2007-6).

Introdução

O processo erosivo envolve três etapas interdependentes: destacamento de partículas, transporte e deposição. A erosão do solo pode ser compreendida a partir dos efeitos locais da erosão (*on-site*), especialmente, em relação à degradação e do empobrecimento do solo com vistas a sua conservação para a produção agrícola. Outro enfoque, é a avaliação dos efeitos para além do local afetado pela erosão (*off-site*), relacionado à transferência de sedimento na paisagem. No Brasil os estudos sobre erosão têm focado quase que exclusivamente os efeitos locais causados por este processo e em áreas inseridas ao processo produtivo (BARRETO et al., 2008).

A ciência da erosão precisa ter um enfoque mais amplo para abranger outros desafios apresentados pela sociedade contemporânea (BOARDMAN, 2006). Estudos sobre erosão em estradas em áreas rurais e florestadas têm aumentado nas últimas décadas (ROBICHAUD et al., 1993, LUCE & WEMPLE, 2001, RAMOS-SHARRÓN & MACDONALD, 2007, FU et al., 2010). Estes estudos ainda são incipientes no Brasil, porém, são diversificados: modelagem (MACHADO et al., 2003, CORRÊA & DEDECEK, 2009), estabelecimento de tensão crítica de cisalhamento do solo em laterais de estrada (GRIEBELER et al., 2005), aplicação de geomantas no controle de erosão em talude de estradas (FERNANDES et al., 2009), alteração de densidade de drenagem, transferência de sedimento para canal fluvial (conectividade) e erosão em barranco de estrada (THOMAZ, 2005, THOMAZ & MELQUIADES, 2009, THOMAZ et al., 2011).

As estradas alteram os processos geomorfológicos e hidrológicos, por extensão, afetam o movimento de água e sedimento através da paisagem (LUCE & WEMPLE, 2001). As estradas podem influenciar a resposta hidrológica dos canais fluviais (MARCHE & LETTENMAIER, 2001), bem como aumentar a entrada de sedimento nos corpos hídricos, alterando a qualidade da água (FOLTZ et al., 2008). Também, interceptam o fluxo superficial e subsuperficial (ZIEGLER et al., 2001, LUCE, 2002), exportam sedimento e nutrientes para riachos (SHERIDAN & NOSKE, 2007, SHERIDAN et al., 2008).

As estradas rurais não pavimentadas apresentam grande importância em nosso país, pois fazem a ligação entre áreas rurais, povoados e vilarejos e as áreas urbanas, servem também como base para o escoamento da produção agrícola. Entretanto, como visto, as estradas rurais são

importantes na produção de sedimento, facilitam a transferência de sedimento e contaminantes das vertentes para o canal fluvial (conectividade). Contudo, esta temática vem recebendo pouca atenção em estudos de erosão e conservação de solo e água no território brasileiro. Portanto, é necessário o entendimento de processos hidrológicos e geomorfológicos em estradas rurais não pavimentadas. Os objetivos deste estudo foram: a) mensurar o escoamento superficial e a produção de sedimento em estradas rurais não pavimentadas; b) avaliar o tamanho de partículas transportadas pelo escoamento superficial sob chuva simulada.

Material e Método

Área de estudo

A bacia hidrográfica do Guabiroba (Figura 1A) integrante da bacia do Rio das Pedras é uma área representativa da bacia hidrográfica das Pedras, manancial de abastecimento da cidade de Guarapuava/PR. A área de estudo localiza-se na região Centro Sul do estado do Paraná. Esta área do estado é abrangida por clima subtropical úmido com mais de 1900 mm de chuva anual (IAPAR, 1994). A bacia do Rio Guabiroba faz divisa ao Norte com a bacia do Rio das Pedras e ao Sul com a bacia dos Rios Iratim-Bananas. A disposição predominante da bacia é de Leste para Oeste. A bacia possui área aproximada de 23,7 km² (2370 ha) e a hierarquia fluvial segundo a classificação de Sthraler é de 4º ordem.

No geral a bacia possui terrenos dissecados e predomina principalmente agricultura de subsistência com aplicação de baixa tecnologia. Nas propriedades rurais existem extensões significativas de caminhos e carreadores de circulação interna, conectados as estradas rurais principais. Por serem construídas em terrenos dissecados as estradas sofrem fortes processos erosivos, além disso, cruzam vários riachos o que contribui para a entrada de sedimentos nos corpos hídricos.

Vertente convexa é a forma de relevo predominante nos trechos de estradas monitorados, sendo a declividade variando entre 6 a 12%. Os solos nessa forma de relevo são compostos por associação de Cambissolos Álicos e Neossolos Litólicos Álicos, com textura argilosa (>35% de argila), sob domínio das florestas de Araucárias (MENDES & CASTRO, 1984, EMBRAPA, 2006). Ocasionalmente ocorre afloramento de rocha em setores onde o leito das estradas foi aprofundado.

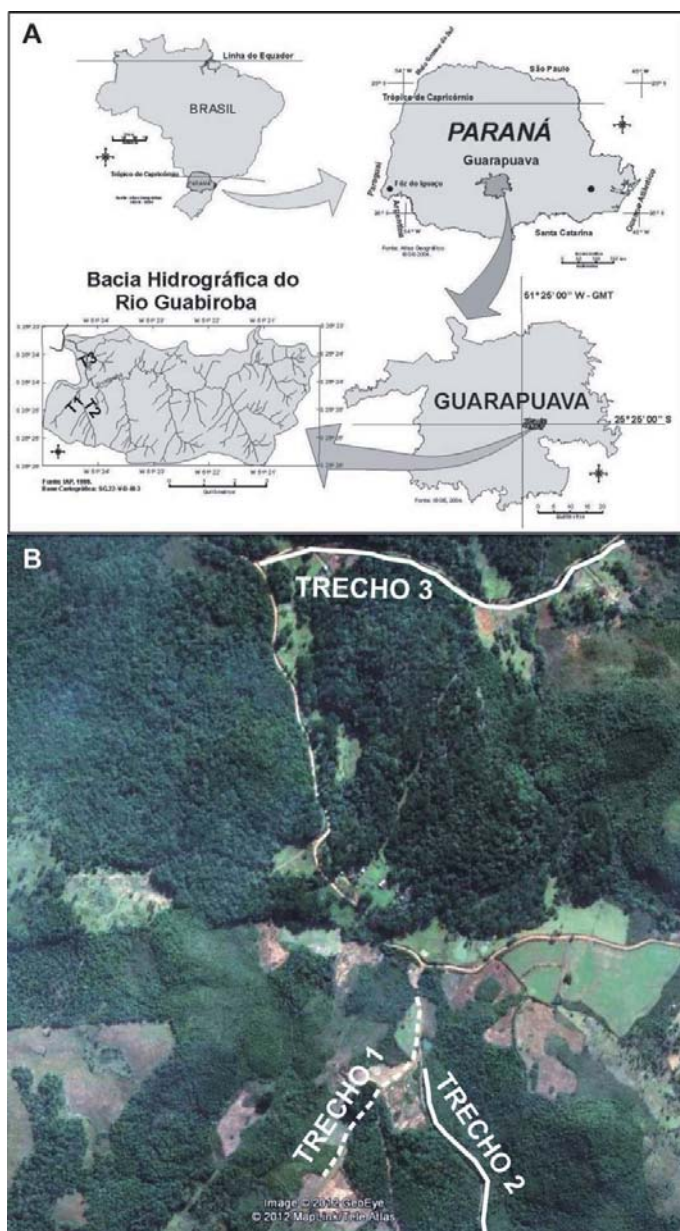


Figura 1 - A) Localização da área de estudo, T1, T2 e T3 localização dos trechos monitorados no âmbito da bacia; B) Uso da terra e detalhe dos trechos monitorados (sem escala).
Fonte: Google Earth (2012).

Mensuração do escoamento e produção de sedimento

Os locais de simulação foram escolhidos ao acaso em média após cinco dias de estiagem. Foram realizadas ao todo 24 simulações de chuva (8 em cada trecho) em três diferentes trechos de estradas (Figura 1B, Tabela 1, Figura 2). Os locais de simulação foram escolhidos ao acaso. A única condição para a simulação de chuva sobre o leito da estrada foi à existência de microravina previamente formada. O equipamento foi posicionado sobre a microravina e uma chuva constante foi aplicada por trinta minutos. As características do equipamento e das condições físicas da chuva simulada estão descritos na Tabela 2 e Figura 3A.



Figura 2 - Características dos trechos monitorados: A) Trecho 1; B) Trecho 2; C) Trecho 3, característica aproximada.

Tabela 1 - Características das estradas onde foram realizadas as simulações

Comprimento do trecho (m)	Largura da estrada (m)	Declividade (%)	Característica do leito da estrada
T1 (430 m)	3,5±0,26 (n 5)	6,4	Leito de terra sem cascalho e com muito baixo tráfego
T2 (592 m)	4,5±0,43 (n 11)	12%	Leito de terra sem cascalho e com baixo tráfego
T3 (691 m)	4,45±0,48 (n 9)	2 a 9%	Leito de terra e cascalho e com média intensidade de tráfego

Tabela 2 - Características físicas do microaspersor e da aspersão produzida pelo equipamento

Parâmetros	Características físicas
*Bico utilizado	S.S.co. 1/8 GG <i>full jet</i>
*Capacidade do reservatório de água	100 (L)
**Altura de simulação	1,20 (m)
**Área de molhamento	0,45±0,08 (m ²)
**Pressão de operação	0,5 (bar)
**Intensidade da chuva aspergida	115,5±3,6 (mm/h)
*Tamanho da gota produzida	0,73±0,10 (mm) amplitude 0,3 a 1,2 (mm)
*Energia cinética	1618,7 (J/m ²) equivale a 77,2% da energia cinética gerada por uma chuva natural de mesma intensidade.
**Temperatura da água	21,8±2,8 (°C)
**Condutividade elétrica	44,8±1,7 (µS)

Nota: *THOMAZ & PEREIRA (2011), **Dados deste estudo

O uso de microravina facilitou a delimitação da área de contribuição de escoamento e de produção de sedimento (Figura 3B e C). Durante a simulação vergalhões de ferro eram inseridos no solo bordejando a área de simulação. Depois com um barbante o perímetro da área de simulação era marcado e a área de contribuição calculada.

Na saída da microravina foi instalada uma calha para a coleta de água e sedimento produzidos durante a simulação. Após o início do escoamento a água e sedimento eram coletados em recipiente plástico de 1 L em intervalos regulares de 3 minutos. Esse procedimento resultou em 7 a 8 coletas por simulação. Após a simulação o sedimento suspenso e o material retido na calha foi coletado e levado para laboratório para secagem (105 °C em estufa) e determinação do tamanho de partículas. A separação do material retido na calha foi realizada por meio de agitador de peneira eletromecânico por um minuto. O material foi fracionado de acordo com as seguintes classes granulométricas: 4,0 mm; 2,0 mm; 1,0 mm; 0,5 mm; 0,25 mm; 0,125 mm e < 0,125 mm. Em seguida, pesou-se a fração retida em cada peneira (Equação 1).

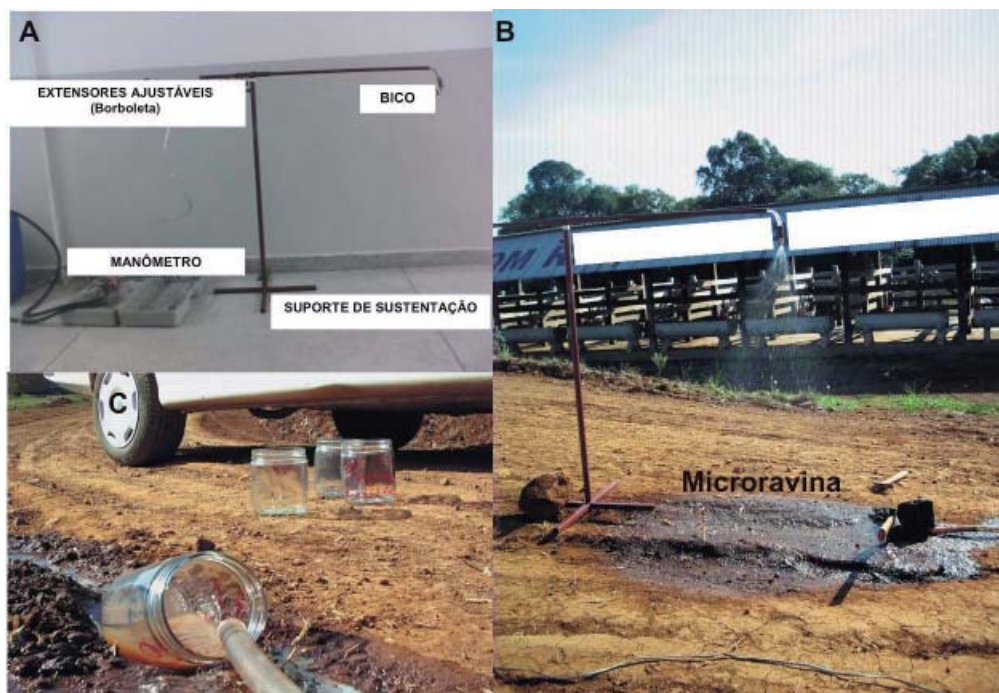


Figura 3 - A) Características do microaspersor; B) Microaspersor em operação durante calibração com destaque para a microravina (área de simulação); C) Coleta de água e sedimento durante a calibração.

Equação 1

$$A\% = \frac{PAR}{PAT} \times 100$$

A% = Agregado retido na peneira em porcentagem

PAR = Peso de agregado retido na peneira (g)

PAT = Peso total da amostra total (g)

Os parâmetros obtidos durante a simulação de chuva nos trechos de estrada foram: coeficiente de escoamento (%), concentração de sedimento (g/L); produção de sedimento (g/m²), tempo de início e fim do escoamento. Os dados foram tabulados e tratados por meio do software BioEstat 5.0. A análise dos dados foi realizada por meio de estatística descritiva (média, desvio padrão e coeficiente de variação).

Resultados

Resposta hidrológica e produção de sedimento

O tempo de concentração para o escoamento superficial (ES) foi de 58±27 s, considerando a intensidade de chuva aplicada o ES ocorreu após 2mm de chuva

simulada. A amplitude para este parâmetro foi de 28 s (0,9 mm) a 109 s (3,5 mm). Após o término da simulação o escoamento cessou em 51±25 s. A pequena área de simulação não proporcionou um tempo maior para a recessão. Este tempo se assemelha ao tempo transcorrido para a geração do ES.

No início da mensuração (0 a 3 minutos) com aproximadamente 5,8mm de chuva o coeficiente de escoamento (CE) apresentou média de 27,5±11,8%. Ao final da simulação (28 a 30 minutos) o CE chegou a 64,1±12,2%. Considerando o total registrado durante a mensuração o CE médio foi de 59,4±12,2%. Entretanto, ao se comparar o ES e a produção de sedimento (PS) dos três trechos avaliados ocorre certa variabilidade entre eles para os parâmetros mensurados (Tabela 3).

Tabela 3 - Resumo dos parâmetros mensurados em três trechos de estradas não pavimentadas

Trecho	Simulação (micro-ravina)	Concent. de sedimento (g/L)	Sedimento retido na Calha (g)	Total de sedimento (Suspensão e Calha) (g)	Produção de Sedimento (g/m ²)	Coefficiente de Escoamento (%)
T1	1	31,50	28,37	59,87	213,82	55,20
	2	0,69	51,10	51,79	172,63	60,60
	3	189,10	2,04	191,14	444,51	48,20
	4	10,45	0,90	11,35	29,87	71,40
	5	8,17	14,61	22,78	48,47	46,70
	6	301,64	39,94	341,58	683,16	52,20
	7	190,26	5,46	195,72	355,85	52,10
T1	Média	91,62	18,00	109,62	244,16	51,85
	Desvio Padrão	117,69	19,54	120,90	236,89	12,31
	Coef. de Var.	128,45	108,56	110,29	97,02	23,73
T2	8	1,17	1,54	2,71	4,93	28,40
	9	13,92	1,15	15,07	32,76	54,80
	10	4,09	1,19	5,28	10,78	46,40
	11	5,01	3,63	8,64	17,28	65,10
	12	119,83	30,53	150,36	385,54	77,60
	13	4,65	5,85	10,50	28,38	68,60
	14	113,36	2,58	115,94	216,71	66,80
T2	Média	47,62	6,42	54,05	124,22	65,83
	Desvio Padrão	50,19	9,85	56,33	133,38	10,69
	Coef. de Var.	105,39	153,40	104,23	107,38	16,24
T3	16	83,47	3,06	86,53	198,01	77,60
	17	69,62	3,35	72,97	138,99	55,60
	18	159,82	18,93	178,75	315,26	49,20
	19	122,47	1,84	124,31	306,94	76,70
	20	120,09	1,70	121,79	217,09	51,00
	21	71,82	60,82	132,64	289,61	62,90
	22	108,86	2,89	111,75	219,12	71,30
T3	Média	105,29	16,81	122,10	247,44	60,80
	Desvio Padrão	32,49	21,98	31,46	62,46	10,24
	Coef. de Var.	30,86	130,70	25,77	25,24	16,84

Nota: As características de cada trecho encontram-se na tabela 1. No trecho 1 uma simulação foi descartada devido ao mal funcionamento do equipamento.

O ES médio foi maior no T2 e T3 com 65,83% e 60,80%, respectivamente. No T1 o escoamento superficial foi de 51,85% sendo 27% e 17% inferior comparado aos trechos 2 e 3. O T2 foi o que apresentou maior variação no ES em relação aos dois outros trechos de estrada (Figura 4A). Entretanto, a taxa de escoamento estável após 30 min. de simulação foram muito próximas nos três trechos de estrada T1 68,1%, T2 73,8% e T3 74,7%.

A concentração de sedimento (CS) foi maior no T3 (105,29 g/L) e T1 (91,62 g/L). A CS foi muito inferior no T2, aliás, a variação da CS foi muito maior neste trecho. No geral a CS no T2 foi 1,2 vezes menor do que no T3 e 92,3% menor do que o registrado no T1. Nestes dois trechos (1 e 3) a variabilidade neste parâmetro foi menor, sendo que a CS foi 15% superior no T3 em comparação ao T1 (Figura 4B).

Igualmente a CS, a produção de sedimento foi maior nos trechos 3 e 1 chegando a 247,44 e 244,16 g/m² respectivamente. A diferença na PS entre os dois trechos foi pequena, ao contrário, a PS no T2 foi em torno de 1 vez menor em comparação aos trechos anteriores. Contudo, o T3 apresentou pouca variabilidade, quando comparado aos dois outros trechos (Figura 4C).

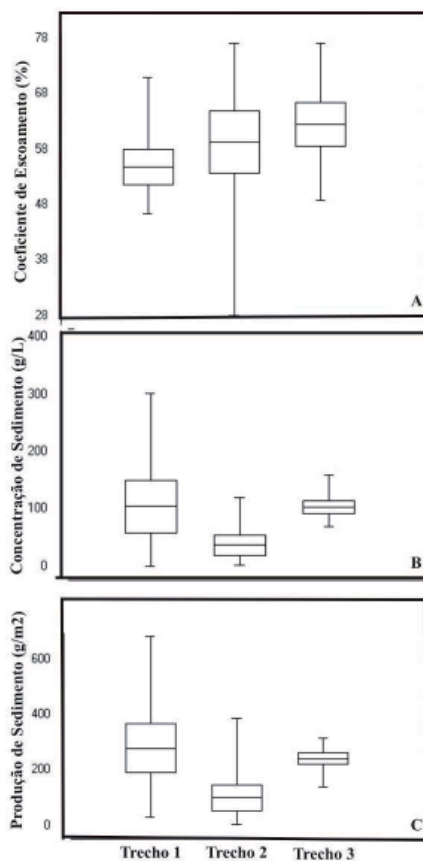


Figura 4 - Comparação do coeficiente de escoamento (A); concentração de sedimento (B); produção de sedimento mensurado em diferentes trechos de estradas (C).

Somado à variabilidade avaliada nos parâmetros anteriores (ES, CS e PS), verificou-se que a relação entre o ES e a PS nos setores de estradas mensurados foi diferente, especialmente no T2 (Figura 5). No T1 a CS de sedimento foi aumentando gradativamente à medida do aumento do ES. No início (3 min.) a CS foi de 6,47 g/L e chegou a 21 g/L aos 15 min. de simulação, posteriormente ocorreu tendência de decréscimo, enquanto, o ES manteve-se ligeiramente superior. A taxa inicial de escoamento foi de 26,1% (3 min.) e ao final da simulação chegou a 55,2% (Figura 5A).

No T2 (Figura 5B) a relação entre o ES e a CS foi diferente ao verificado nos trechos 1 e 2. No início da simulação (3 min.) a CS foi de 14,26 g/L, em seguida, diminuiu bruscamente para uma média de 4,0 g/L, sendo que esta taxa se manteve durante toda a mensuração. Assim, CS não acompanhou o aumento do ES que no início da simulação foi de 30,46% e atingiu ao final uma taxa de 73,87.

Por fim, o T3 apresentou relação entre ES e CS semelhante ao T1. No T3 a CS foi ligeiramente superior ao ES no início da simulação até aos 15 min. Inicialmente a taxa de CS foi de 12,93 g/L depois decaiu para 11,37 g/L. O ES aumentou gradativamente do início (27,62%) para o fim da simulação (74,75%) (Figura 5C).

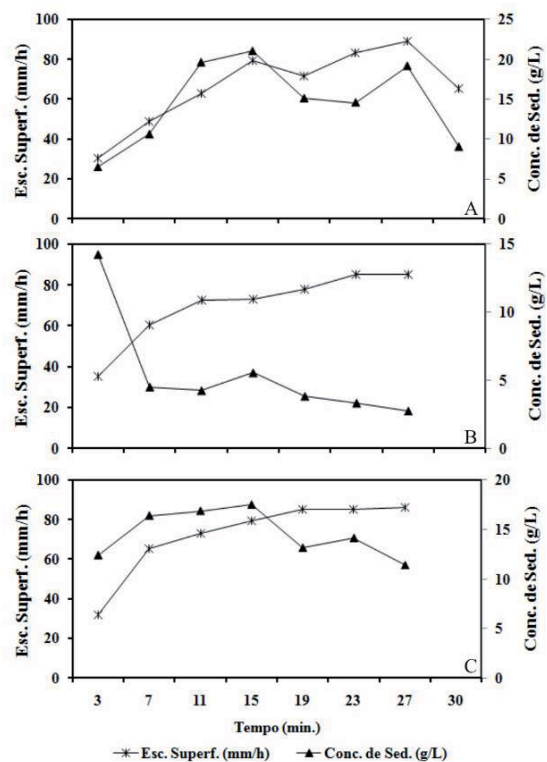


Figura 5 - Variação no escoamento superficial e produção de sedimento em diferentes trechos de estradas: A) trecho 1; B) trecho 2; C) trecho 3.

Transporte de agregados

No T1 o material erodido apresentou 42,6% de agregados maiores que 0,5 mm (Figura 6). Houve pouca quantidade de agregados maiores que 2,0mm (2,7%). O T2 registrou 62,1% de agregados maiores que 0,5mm. Ao contrário dos outros dois trechos, os agregados maiores que 2,0mm foram mais abundantes (24,3%). O T3 teve 49,8% de agregados maiores que 0,5mm, sendo que os agregados da fração de 0,5mm registraram quantidade menor do que nos outros dois trechos (12,5%). Em relação às frações $\leq 0,25$ mm o T1 teve mais abundância de agregados de 0,25mm (22,6%). Os agregados de tamanho 0,125mm foram equivalentes nos três trechos. Enquanto, que os menores que 0,125mm foi mais freqüente no T3 (23,8%).

Ocorreu diferença mais nítida entre os trechos nas frações de 2,0mm e 0,5mm. Nas demais houve equivalência das frações em pelo menos dois trechos, como o caso dos agregados de 1,0mm e 0,25mm (trechos 2 e 3).

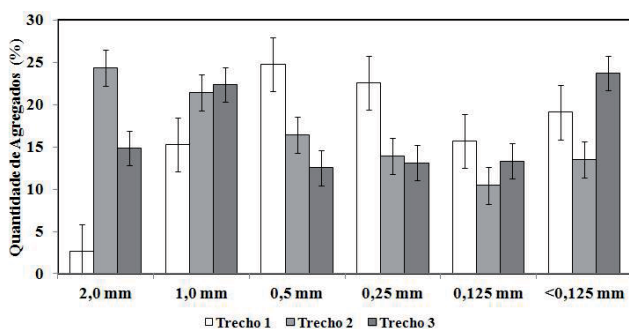


Figura 6 - Comparação de tamanho de agregados em diferentes trechos de estradas

A simulação foi realizada em escala fina (0,46 m²) onde o ES tem uma distância pequena para alcançar capacidade de transporte de sedimento. Entretanto, o que se observou foi a grande quantidade de partículas >0,5 mm transportada até a saída da micro-ravina (55,8%) (Figura 6). A simulação no leito da estrada confirmou a existência de partículas de diferentes dimensões disponíveis para o transporte, bem como a capacidade do ES em transportar partículas de modo não seletivo. As partículas >1,0 mm foram mais abundantes quanto menor a quantidade total de sedimento erodido. Enquanto as partículas <0,5 mm tiveram comportamento inverso, isto é, foram mais abundantes à medida do aumento da quantidade total de sedimento erodido.

Discussão

As estradas não pavimentadas são responsáveis pelo aumento do escoamento superficial das vertentes e bacias de drenagem (LUCE & WEMPLE, 2001, LUCE,

2002, RIJSDIJK et al., 2007). Revisão realizada por MARTÍNEZ-ZAVALA et al. (2008) baseado em 26 estudos indicaram que em 15% dos casos o ES gerado nas estradas foi inferior a 20%, em 46% dos estudos o ES variou entre 20% a 50%, já o restante dos estudos apresentaram ES entre 50% a 90%. MACDONALD et al. (2001) constataram que as estradas (Virgin Islands, Porto Rico) sem pavimentação geraram escoamento em precipitação acima de 6mm. Os resultados obtidos nesta pesquisa enquadram-se nas maiores taxas de escoamento. Igualmente, quando se compara os resultados com outros estudos realizados com simulação de chuva artificial a taxa de escoamento é condizente com a faixa superior (>50%) (Tabela 4). O tempo para iniciar o escoamento também se aproxima do verificado na literatura, apesar de poucos estudos apresentarem este parâmetro.

O tipo de leito da estrada e a intensidade do tráfego são fundamentais para a geração de escoamento superficial e a produção de sedimento (ZIEGLER et al., 2001, LUCE, 2002, FU et al., 2010). JORDÁN et al. (2009) destacam que fragmentos de rochas sobre a superfície (cascalho) pode facilitar a infiltração e reduzir o escoamento. Por outro lado, fragmentos enterrados na parte superficial do leito da estrada aumentam o escoamento superficial. O trecho 1 teve o menor escoamento por ser uma estrada sem cascalho e com baixo tráfego, isso deve ter deixado o leito da estrada menos compactado e facilitou a infiltração. No T2 o tráfego era ligeiramente mais intenso que o trecho anterior e o escoamento foi maior. Neste trecho o leito estava mais compactado, era declivoso e a estrada era mais velha. Isso resultou em maiores taxas de escoamento semelhante ao trecho 3. Por fim, o trecho 3 foi o mais homogêneo em termos de geração de escoamento. Este trecho de estrada apresentava maior tráfego que os demais, além de ter o leito mais compactado e com distribuição irregular de cascalho. Em 50% das simulações o ES neste trecho foi superior ao registrado no trecho 2.

Os efeitos das estradas sobre a geração de sedimento esta ligada a geração de escoamento e ao processo de redistribuição (LUCE, 2002). A produção de sedimento (CS e PS) nas estradas rurais de Guarapuava foi alta sendo mesmo superior às perdas de solo registradas na Austrália. Pois, no T2 em algumas simulações a PS foi superior a 400 g/m² (Tabela 3). Nos trechos 1 e 3 durante a simulação a CS foi aumentando indicando haver disponibilidade de sedimento para ser erodido. No T2 houve aumento rápido na CS e decréscimo brusco. Este comportamento pode estar associado às características do leito da estrada que era mais erodido, além da compactação e declividade.

Tabela 4 - Resumo de estudos de escoamento e perda de solo em estradas rurais por meio de chuva simulada

Local e características do leito da estrada	Área da parcela (m ²)	Intensidade da chuva (mm/h)	Perda de solo (g/m ²)	Coefficiente de Escoamento* (%)	Tempo para o início do escoamento (s)	Fonte
Espanha (Não cascalhado)	0,138	75	14,2	46,4	-	ARNAEZ et al (2004)
Espanha (Não cascalhado)	0,0625	72	21,15	50,7	25-89	JORDÁN e MARTÍNEZ-ZAVALA (2008)
Austrália (Cascalhado)	3,0	100	55 - 138	88 - 95	-	SHERIDAN et al. (2008)
Austrália (Não cascalhado)	3,0	100	50 - 400	86 - 91	-	SHERIDAN et al (2008)
Espanha (Não cascalhada)	0,64	90	154,4	58,6	41	JORDÁN et al. (2009)
Trecho 1	0,43		244,16	68,1	-	
Trecho 2	0,45	115,5	124,22	73,8	61	Este estudo
Trecho 3	0,50		247,44	74,7	54	

Nota: *O coeficiente de escoamento foi baseado na taxa de escoamento estável registrado ao final do experimento.

JORDÁN & MARTÍNEZ-ZAVALA (2008), JORDÁN et al. (2009) verificaram que as simulações em leito de estrada a carga de sedimento foi menor do que outras partes da estrada (barranco e lateral). Segundos os autores isso ocorreu devido à compactação e a formação de crosta superficial que aumentou o escoamento, mas não resultou em destacamento de partículas. Os resultados obtidos nesta pesquisa são divergentes, pois mesmo nas condições supracitadas ocorreu significativa produção de sedimento nos trechos de estradas monitoradas, inclusive no trecho 2.

SHERIDAN & NOSKE (2007) destacam que estradas bem cascalhadas com leve tráfego de veículos produzem menores níveis de sedimento (Ex. T3). SHERIDAN et al. (2008) constatou que as estradas não cascalhadas produziram maiores CS do que as cascalhadas (Ex. T1). A taxa de perda de solo é também influenciada pela declividade das estradas e pela manutenção periódica. Ocorrem menores perdas de solos nas estradas abandonadas que já foram erodidas, pois as maiores perdas de solo se dão logo a pós o nivelamento das estradas (RAMOS-SCHARRÓN & MACDONALD, 2007). Essa dinâmica explica melhor os resultados obtidos no T2.

FU et al. (2010) argumentam ser difícil separar a erosão do barranco de estrada da erosão do leito de estrada. Ou seja, materiais provenientes dos barrancos laterais podem ser depositados sobre o leito da estrada por processo de redistribuição realizado pelo escoamento superficial. THOMAZ et al. (2011) apontaram este processo como importante fonte de sedimento na área em estudo. Os autores verificaram que as taxas de perda de solo em barranco de estrada variaram de 17,4 a 25,8 kg/m²/ano (média de 20 kg/m²/ano).

Por fim, a passagem de veículos pode aumentar a disponibilidade de sedimento, além de influenciar no tamanho de partículas por meio de quebra e abrasão, ou ainda, pode haver formação de *armouring* e aumento de textura grosseira devido ao transporte seletivo (MACDONALD et al., 2001, SHERIDAN & NOSKE, 2007, SHERIDAN et al., 2008, FU et al., 2010, THOMAZ et al., 2011). A influência do tráfego

não foi nitidamente observada sobre o tamanho das partículas dos trechos de estradas estudados, especialmente, em relação ao T1 (baixo tráfego). Neste trecho (T1) as partículas apresentaram tamanho médio entre 0,5 a 0,25mm. Partículas maiores foram mais bem preservadas no T2 (2,0 e 1,0mm). Já o T3 foi mais rico em partículas $\leq 0,5$ mm e, sobretudo, partículas inferiores a 0,125mm. Este trecho parece ter sido mais afetado pelo tráfego de veículo, por consequência, resultou na redução do tamanho das partículas (quebra e abrasão).

Por fim, o manejo de estradas rurais em relevos dissecados é complexo, pois não é possível fazer terraceamento e manter as estradas em nível. Neste caso, outras medidas poderiam ser realizadas para mitigar a transferência de sedimento para o canal fluvial. Entretanto, cada setor de estrada deve ser analisado em sua particularidade geomorfopedológica, por exemplo: a) setor de fundo de vale onde ocorre interceptação do fluxo subsuperficial deve ter o leito da estrada levantado para evitar a formação de lamaçal; b) setores mais declivosos com pendentes longas deve ter a instalação de dissipadores de energia para controlar o volume e a velocidade do escoamento superficial, aliado ao cascalhamento mais espesso; c) instalação de caixas (trincheiras) receptoras de água e sedimento, exceto em fundo de vale com fluxo subsuperficial aflorante; d) suavização de declividade de barrancos das estradas (ângulo de repouso de materiais) e manutenção de barrancos com vegetação; e) controle do escoamento no âmbito das propriedades para evitar que o fluxo atinja às estradas.

Conclusões

1. As estradas rurais não pavimentadas são importantes fontes de escoamento superficial e sedimento. Verificou-se que a produção de sedimento foi alta nas estradas avaliadas 205,3 g/m², assim como o escoamento superficial estável 72,2%.

2. As características físicas dos trechos de estradas como: declividade, pavimento, idade da estrada e tráfego

influência na disponibilidade de sedimento e no tamanho das partículas transportadas.

3. A produção de sedimento no leito da estrada tendeu a exaustão durante a chuva. Ou seja, o escoamento aumentou ou estabilizou, enquanto, a concentração de sedimento diminuiu.

4. A produção de sedimento apresentou alta variabilidade em todos os trechos. O coeficiente de escoamento foi mais estável com variabilidade média.

Referências Bibliográficas

ARNÁEZ, J.; LARREA, V.; ORTIGOSA, L. Surface runoff and soil erosion on unpaved forest roads from rainfall simulation tests in northeastern Spain. *Catena*, v. 57, p.1-14, 2004.

BARRETTO, A.G.O.P.; BARROS, M.G.E.; SPAROVEK, G. Bibliometria, história e geografia da pesquisa brasileira em erosão acelerada do solo. *R. Bras. Ci. Solo*, 32:2443- 2460, 2008.

BOARDMAN, J. Soil erosion science: Reflections on the limitations of current approaches. *Catena*, v. 68, p. 73-86, 2006.

EMATER/ACARPA. **Manejo integrado de solo e água e o programa de manejo integrado dos solos do Paraná**. Emater-PR, 1985. 12p.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos-CNPS. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa-SPI; Rio de Janeiro: Embrapa-CNPS, 2006. 306 p.

FU, B.; NEWHAM, L. T.H.; RAMOS-SCHARRÓN, C.E. A review of surface erosion and sediment delivery models for unsealed roads. *Environmental Modelling & Software*, v. 25, p. 1-14, 2010.

GRIEBELER, N. P.; PRUSKI, F. F.; MEHL, H. U.; SILVA, D. D.; OLIVEIRA, L. F. C. Equipamento para determinação da erodibilidade e tensão crítica de cisalhamento do solo em canais de estradas. *Rev. bras. eng. agríc. ambient.*, Campina Grande, v.9, p.166-170, 2005.

IAPAR. **Cartas climáticas do Paraná**. v. 18. Londrina: IAPAR, 1994.

JORDÁN, A.; MARTÍNEZ-ZAVALA, L.; BELLINFANTE, N. Impact of different parts of unpaved forest roads on runoff and sediment yield in a Mediterranean area. *Science of The Total Environment*, v. 407, p. 937-944, 2009.

LUCE, C. H.; WEPLE, B.C. Introduction to special issue on hydrologic and geomorphic of forest roads. *Earth Surface Processes and Landforms*, v. 26, p.111-113, 2001.

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

MACDONALD, L.H.; SAMPSON, R.W.; ANDERSON, D.M. Runoff and road erosion at the plot and road segment scales, St John, US Virgin Islands. *Earth Surface Processes and Landforms*, v. 26, p. 251-272, 2001.

MARTÍNEZ-ZAVALA, L.; LÓPEZ, A. J.; BELLINFANTE, N. Seasonal variability of runoff and soil loss on forest road backslopes under simulated rainfall. *Catena*, v. 74, p.73-79, 2008.

MENDES, W.; CASTRO, A. F. **Limitações do uso dos solos do Estado do Paraná por suscetibilidade à erosão**. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SNLCS, 1984.

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, p. 250-266, 2007.

RIJSDIJK, A.; BRUIJNZEEL, L.; A. S.; SUTOTO, C. K. Runoff and sediment yield from rural roads, trails and settlements in the upper Konto catchment, East Java, Indonesia. *Geomorphology*, v. 87, p. 28-37, 2007.

SHERIDAN, G.J.; NOSKE, P. J. A quantitative study of sediment delivery and stream pollution from different forest road types. *Hydrological Processes*, v. 21, p. 387-398, 2007.

SHERIDAN, G.J.; NOSKE, P.J.; LANE, P.N.J.; SHERWIN, C.B. Using rainfall simulation and site measurements to predict annual interrill erodibility and phosphorus generation rates from unsealed forest roads: validation against in-situ erosion measurements. *Catena*, v. 73, p. 49-62, 2008.

SHERIDAN, G.J.; NOSKE, P.J.; WHIPP, R.K.; WIJESINGHE, N. 2006. The effect of truck traffic and road water content on sediment delivery from unpaved forest roads. *Hydrological Processes*, 20 (8), 1683-1699.

THOMAZ, E. L.; ANTONELI, V.; DIAS, W. Estimativa de proveniência de sedimento em cabeceira de drenagem com alta densidade de estradas rurais não pavimentadas. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 16, p. 25-37, 2011.

THOMAZ, E. L.; MELQUIADES, F. L. Discriminação de marcadores de proveniência de sedimento em bacia rural por meio de EDXRF. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 10, p. 95-102, 2009.

THOMAZ, E. L.; PEREIRA, A. A. Avaliação de desempenho de um microaspersor desenvolvido para mensurar processos hidrológicos superficiais em estrada rural não pavimentada. **Performance Assessment of a Microsprinkler**. *Acta Scientiarum. Technology* (no prelo), 2014.

ZIEGLER, A.D.; SUTHERLAND, R.A.; GIAMBELLUCA, T.W. Interstorm surface preparation and sediment detachment by vehicle traffic on unpaved mountain roads. *Earth Surface Processes and Landforms*, v. 26, p. 235-250, 2001.