



APLICABILIDADE DA EQUAÇÃO UNIVERSAL DE PERDAS DO SOLO A ESTRADAS NÃO PAVIMENTADAS DO SEMIÁRIDO CEARENSE

Teresa Raquel Lima Farias¹ & José Carlos de Araújo²

RESUMO --- No Brasil, cerca de 80% da malha rodoviária não possui pavimentação. Estudos anteriores indicam estradas não pavimentadas como significantes fontes de escoamento superficial e produção de sedimentos em bacias hidrográficas. Dessa forma, neste estudo objetivou-se estimar a produção de sedimentos proveniente de estradas rurais não pavimentadas no semiárido cearense por meio de medições em campo. Tais medidas são usadas na validação da Equação Universal de Perdas do Solo (associada à equação de *Maner*) na predição da produção de sedimentos em estradas. Foram estabelecidas parcelas experimentais na área de estudo, localizada no município de Aiuaba-Ce, sendo um segmento (250 m²) em uma estrada abandonada, sem trânsito de veículos; e um segmento (500 m²) em estrada secundária, que apresenta baixo volume de tráfego. Foram registrados, no ano de 2013, quinze eventos de precipitação natural que geraram escoamento na superfície desses segmentos. Verificou-se que a menor precipitação capaz de gerar escoamento na superfície das estradas registrada em 2013 foi de 8 mm. A modelagem da produção de sedimentos apresentou erro de 8% e 19%, respectivamente, para as estradas sem e com trânsito, em comparação com o valor estimado em campo a partir da medição de variáveis hidrossedimentológicas.

ABSTRACT --- In Brazil, 80% of the roads are unpaved. Recent studies indicate that these roads can be a major source of sediments, as well as sources of runoff. Therefore, the aim of this investigation is to assess the sediment yield of unpaved roads in the semiarid region of Ceará, Brazil, based on field monitoring. Besides, the measured values are used to validate USLE (associated with Maner SDR equation) to estimate sediment yield in roads. Experimental parcels have been established in the municipality of Aiuaba. One of the experimental plots (250 m²) is located on an abandoned road, without traffic. The other (500 m²) is located on a secondary road with little traffic. In the dry year of 2013, 15 events with runoff have been registered. The minimum precipitation that caused runoff was 8 mm. The modelling approach had an error of 8% and 19% for the annual sediment yield in the roads with and without traffic, respectively, which indicated high potential of USLE & SDR by Maner to assess erosion in unpaved roads in the region.

Palavras-chave: produção de sedimentos, modelo hidrossedimentológico, sedimentometria.

¹ Professora do Departamento de Construção Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará – IFCE, Doutoranda em Engenharia Agrícola, UFC. Fortaleza-CE. Email: teresafarias@ifce.edu.br

² Professor associado do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará-UFC / Fortaleza-CE. Email: jcaraujo@ufc.edu.br

INTRODUÇÃO

A construção de estradas remove a vegetação e perturba a estrutura do solo, no caso de estradas não pavimentadas a superfície do solo fica exposta, implicando na formação de processos erosivos que impactam as fontes hídricas. Segundo dados do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, relativos ao ano de 2010 (DNIT, 2010), a malha rodoviária brasileira (federal, estadual e municipal) é composta de 1.700.000 km de rodovias, sendo que cerca de 80% destas não possuem pavimentação. Ainda, no Estado do Ceará, a realidade não é muito diferente do restante do país, com 81% de estradas não pavimentadas.

A construção e operação de estradas ocasionam alterações sobre o ambiente hidrológico e causam impacto nos ecossistemas em dois aspectos: quantidade e qualidade das águas. Navarro Hevia et al. (2006) em estudo na região de Astúrias (Espanha) observaram os efeitos da construção de estradas em rios. Seus resultados mostram erosão de 120-500 t. ha⁻¹.ano⁻¹; concentração de sedimentos 24 vezes maior do que os sólidos em suspensão naturais em rios, os efeitos sobre o habitat e as espécies que dependem dele. Outro estudo sobre identificação de fontes de sedimentos em bacias agrícolas no sul do Brasil utilizando a técnica de *fingerprinting*, realizado por Minella et al. (2008) sugere que a contribuição relativa de estradas com cargas de sedimentos em suspensão para as fontes hídricas corresponde a 36 %.

As superfícies de estradas não pavimentadas são constituídas de materiais de origem local e podem conter elevada proporção de partículas finas que são facilmente erodíveis (Fu et al., 2010). Além disso, têm taxa de infiltração extremamente baixa comparando-se com outras superfícies em bacias hidrográficas (Ziegler e Giambelluca, 1997), elevados coeficientes de escoamento superficial (Rijsdijk et al., 2007), e conseqüentemente, geram altas cargas de sedimento.

As estradas têm um significativo papel na alteração da resposta hidrológica superficial e subsequentemente na erosão acelerada do solo. Medeiros (2009) estudou em diferentes escalas, a produção de sedimentos em bacias do Ceará e verificou que no semiárido a produção de sedimentos é limitada pelas condições de transporte e não pela disponibilidade de material erodido, demonstrando que elevado fluxo superficial de água, implica em alta capacidade de transporte, gerando altas taxas de erosão. Além disso, a modificação da hidrologia superficial pela construção de estradas afeta a superfície de erosão em bacias hidrográficas (Sidle et al., 2006). Segundo Rijsdijk et al. (2007), a importância potencial das estradas para a geração de escoamento superficial e produção de sedimentos em áreas tropicais é cada vez mais reconhecida, mas raramente é medida. Em áreas semiáridas, especificamente, observa-se ausência de estudos que avaliem o impacto de

estradas não pavimentadas em bacias hidrográficas e que quantifiquem a contribuição induzida de estradas, enquanto fontes de sedimentos para as fontes hídricas.

Dentro desse contexto se insere este trabalho, que visa avaliar a produção de sedimentos proveniente de estradas rurais não pavimentadas em bacia hidrográfica no semiárido cearense, no ano de 2013, tendo por base eventos pluviométricos reais que geraram escoamento na superfície de estradas e verificar a aplicabilidade da Equação Universal de Perdas do Solo associada à equação de *Maner* de estimativa de taxa de transporte difuso, na predição da produção de sedimentos de estradas.

MÉTODOS E MATERIAIS

Área de estudo

A área de estudo está localizada no município de Aiuaba-CE, que tem uma população estimada em 20.937 habitantes e dista aproximadamente 430 km de Fortaleza. Para a implantação do estudo, foram selecionados segmentos de estradas que dão acesso à Bacia Experimental de Aiuaba (BEA). A área dista 40 km da sede do município, com acesso através de via vicinal. Os segmentos selecionados para a instalação de parcelas experimentais foram considerados representativos das vias existentes na área. A BEA (12 Km²) está inserida na bacia Hidrográfica do Reservatório Benguê (933 km²) que se situa na região denominada “Sertão dos Inhamuns”, dentro de polígono das secas e está inserida na bacia hidrográfica do Alto Jaguaribe.

A BEA situa-se integralmente na Estação Ecológica (ESEC) de Aiuaba, a maior Unidade de Conservação Federal do bioma Caatinga, está integralmente preservada desde 1978. Vem sendo monitorada pelo Grupo de Pesquisa Hidrossedimentológica do Semiárido (HIDROSED: www.hidroсед.ufc.br) desde 2003. A área é composta por serras baixas, apresentando um relevo acidentado em certos trechos e suavemente acidentado ou aplainado em outros. As altitudes variam de 530 m a 670 m, compondo um relevo de 140 m, com declividade média de 19,4%. É uma bacia de drenagem de 5ª ordem, alta densidade de drenagem (4,4 km.km⁻²), com tempo de concentração de 1,1 h. Aproximadamente, 90% da precipitação anual ocorrem nos meses de janeiro a maio. De acordo com Araújo e Piedra (2009) a precipitação média da BEA é de 560 mm por ano, com coeficiente de variação de 30% e mediana de 559 mm. Sua evaporação potencial é 2550 mm.ano⁻¹ e seu coeficiente de aridez é 0,26, caracterizada como uma zona semiárida.

Na Bacia Hidrográfica do Reservatório Benguê as estradas não pavimentadas possuem extensão de 1300 km, o que corresponde à densidade de 1,4 km.km⁻² e ocupam 0,7 % da área total da bacia. Essas estradas não possuem dispositivos de drenagem e, durante eventos pluviométricos, se transformam em canais escoadouros, facilitando o transporte de água e sedimentos. Além disso, ao fim da quadra chuvosa, as estradas apresentam uma série de defeitos o que dificulta a trafegabilidade de veículos, de forma que alguns segmentos passam por um processo de regularização, geralmente com uma frequência anual, no fim do período de chuvas. Na Figura 1 apresenta-se mapa da Bacia Experimental de Aiuaba com destaque para os segmentos de estrada monitorados no estudo.

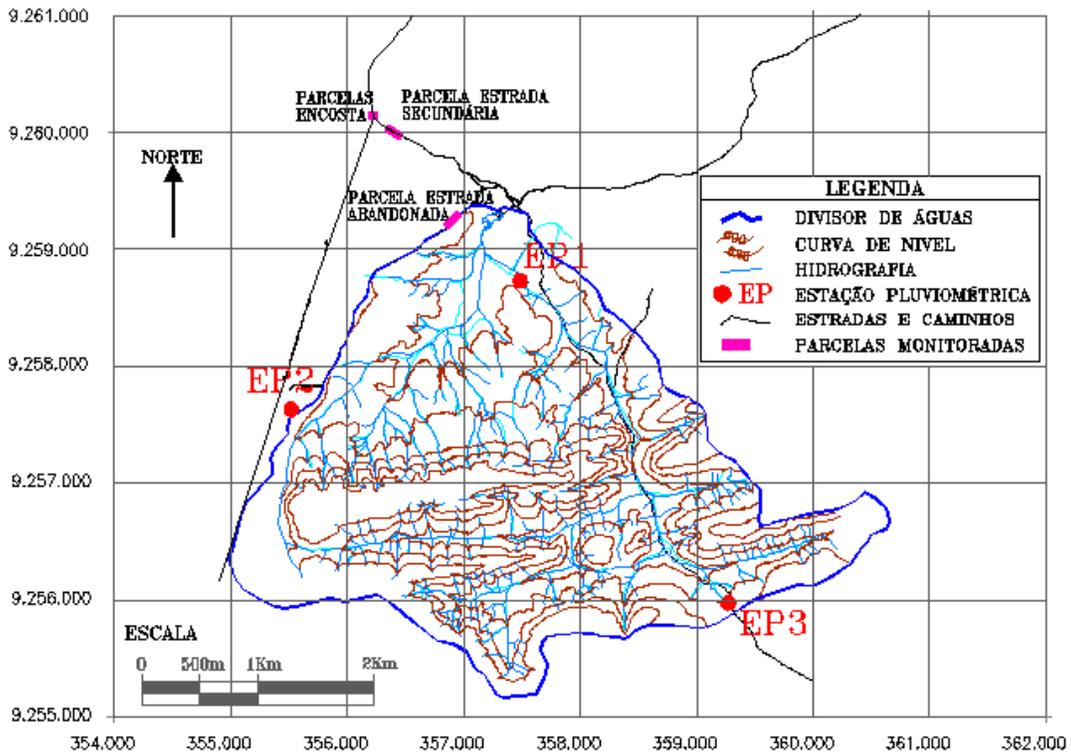


Figura 1 – Área de estudo e segmentos de estradas monitorados.

Medições e Monitoramento

Foram instalados em setembro de 2012 parcelas experimentais para estimativa da produção de sedimentos de estradas vicinais da área de estudo, sendo: um segmento em uma estrada abandonada, sem trânsito de veículos, sua localização corresponde ao divisor de águas da BEA na parte baixa da bacia, entre as cotas 550 e 555 m; sendo um segmento em estrada secundária em que

há trânsito de veículos, interliga as comunidades rurais Gameleira e Aroeira (via que apresenta baixo volume de tráfego < 300 veículos.dia⁻¹), e dá acesso a BEA, porém está fora de seus limites, cerca de 1 km do exutório.

As parcelas não foram delimitados por cercas, de forma a evitar influencia de bordas nos processos de escoamento superficial e de transporte de sedimentos. Procedimento semelhante foi utilizado, por exemplo, nos estudos de Navarro (2000), Ramos-Scharron e MacDonald, (2005), Rijdsdijk et al., (2007), Neghish et al., (2008) e Ramos- Scharrón (2010). A área de contribuição de cada parcela foi estimada por meio de levantamentos topográficos destes segmentos realizados com estação total e GPS geodésico.

Os segmentos de estradas abandonada (250 m² de área de contribuição) e estrada com trânsito (500 m²), comprimento de rampa de 100m ambas, apresentam baixa declividade de 4% e 2,4 % e larguras médias de 2,5 e 5,0 m, respectivamente.

Na porção mais baixa de cada parcela, seguindo a linha de drenagem do segmento da estrada, foi instalada uma calha confeccionada em concreto interligada a um reservatório de polietileno com capacidade de acumulação de 500 litros, este reservatório com oito partidores de escoamento foi interligado a um segundo reservatório, com mesma capacidade. Ambos foram utilizados para acumulação dos volumes escoados e retenção de sedimentos transportados.

A produção de sedimentos dos segmentos de estrada foi avaliada em cada evento pluviométrico real, através da quantificação de volumes escoados, acumulados em reservatórios instalados em pontos de descargas para onde o fluxo da superfície da via era direcionado através das calhas instaladas no leito da estrada. A estimativa da perda de solo de cada segmento de estrada foi realizada pela associação de volumes escoados a medidas de concentração de sedimentos, somados ao material sólido retido nos reservatórios, de forma a quantificar a descarga de material sólido em cada evento pluviométrico.

Na Figura 2 apresenta-se o segmento de estrada abandonada, sem trânsito de veículos e respectivos reservatórios de acumulação de escoamento e sedimentos. Na superfície da estrada sem trânsito, apesar de abandonada observa-se pouca recomposição de vegetação demonstrando a susceptibilidade dos solos do semiárido à desertificação.



(a)



(b)

Figura 2 – Segmento monitorado da estrada abandonada (a) vista de jusante para montante (b) reservatórios para acumulação do volume escoado durante eventos de precipitação natural.

Depois de cada evento de chuva, o volume de água que era coletado nos reservatórios instalados em cada lote era estimado através de réguas instaladas nos reservatórios e determinava-se a concentração de sedimentos pelo método da filtragem, realizado em laboratório em amostras de 100 mL coletadas de uma suspensão bem misturada, foram utilizados microfiltros de fibra de vidro com diâmetro de 47 mm (modelo GF-1/marca Macharey-Nagel). O sedimento depositado no fundo dos reservatórios e/ ou das armadilhas de sedimentos foi coletado, seco em estufa a 100°C e pesado diretamente. Foram caracterizados também parâmetros físicos dos sedimentos, a granulometria e a densidade das partículas.

O registro pluviométrico dos eventos naturais se deu através de pluviômetro automático (EP1), com resolução de 5 minutos (marca/modelo) e em um pluviômetro de registro manual instalado nas proximidades dos segmentos monitorados. A estação pluviométrica automática (EP1) está inserida na Bacia Experimental de Aiuaba, na cota 530 m, e dista cerca de 750 m do segmento monitorado na estrada abandonada, em relação estrada com trânsito dista 1600 m. Os dois segmentos de estrada distam entre si 900 m.

Além do monitoramento de escoamento superficial e sedimentos, como forma de caracterizar o material que compõem os segmentos de estradas, uma vez que o solo é um dos fatores

intervenientes no processo físico de erosão, algumas propriedades físicas do solo da superfície de estradas foram quantificadas como massa específica aparente, condutividade hidráulica e erodibilidade, parâmetros esses úteis na aplicação de modelagem de escoamento e erosão de estradas.

Aplicação da modelagem

Para a predição da produção de sedimentos nos segmentos de estrada monitorados neste estudo, aplicou-se a Equação Universal de Perdas do Solo (USLE), que estima erosão bruta do solo. A USLE foi associada à equação empírica de *Maner*, que se baseia na fisiografia da área para estimar a taxa de transporte difuso (SDR).

- Equação Universal de Perdas do Solo (USLE)

A Equação Universal de Perdas do Solo (*Universal Soil Loss Equation* - USLE) foi desenvolvida por Wischmeier e Smith (1978) e estabelecida com base em dados estudados em mais de 10.000 parcelas com distintas características de clima, solo, relevo e cultivo, de dimensões reduzidas, e, portanto, submetidos exclusivamente, a processos de erosão hídrica superficial tipo laminar. Portanto, este é um modelo para estimativa de erosão bruta de solo.

Entre os modelos de estimativa de erosão de origem hídrica este é o mais conhecido. É um modelo empírico, seu equacionamento é bastante didático para compreensão dos fatores envolvidos no processo erosivo de encostas. A Equação Universal de Perdas do Solo (1) é expressa por:

$$\varepsilon = R.K.L.S.C.P \quad (1)$$

Em que: ε = taxa de erosão bruta (ton.ha^{-1}); R é o fator de erosividade da chuva em ($\text{MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}$); K o fator de erodibilidade do solo em ($\text{ton.h.MJ}^{-1}.\text{mm}^{-1}$); os demais fatores são adimensionais. Há dois fatores topográficos: L, que representa o comprimento de rampa e S que representa a declividade. O fator C representa a vegetação e usos do solo e o fator P representa as práticas conservacionistas. A obtenção dos parâmetros dessa equação é descrita com maiores detalhes em Haan et al. (1994).

- Equação de Maner

A equação de Maner considera o efeito da declividade do terreno para o cálculo do transporte difuso, de acordo com a equação (2), em que, L_M representa o maior comprimento na bacia paralelo a drenagem principal (m) e F_R o desnível entre a cota média do divisor e a cota do exutório.

$$\log(SDR) = 2,943 - 0,824 \cdot \log(L_M / F_R) \quad (2)$$

RESULTADOS E DISCUSÃO

Precipitação e Erosividade

Durante o ano de 2013 foram registrados 15 eventos de precipitação em que ocorreu escoamento superficial nos segmentos de estrada monitorados. Na Tabela 1 são apresentados valores de precipitação, duração, intensidade, intensidade máxima e erosividade dos eventos com escoamento superficial nos segmentos de estradas.

Tabela 1 – Valores de precipitação, duração, intensidade, intensidade máxima e erosividade dos eventos com escoamento superficial nos segmentos de estradas.

Data	Duração (min)	P (mm)	I (mm.h ⁻¹)	I _{5max} (mm.h ⁻¹)	I _{10max} (mm.h ⁻¹)	I _{30max} (mm.h ⁻¹)	R (MJ.mm.ha ⁻¹ h ⁻¹)
03/01/2013	150	12	5	21	15	9	20
04/01/2013	155	29	11	82	79	45	276
07/02/2013	55	8	8	27	21	12	18
16/02/2013	415	53	8	34	29	25	265
26/03/2013	105	41	23	73	66	37	359
30/03/2013	345	9	2	12	12	6	7
04/04/2013	235	11	3	27	26	14	25
19/04/2013	290	51	11	58	50	27	286
26/04/2013	130	17	8	34	34	16	51
01/05/2013	55	19	21	52	38	20	89
05/06/2013	90	11	7	58	41	14	28
22/06/2013	90	13	4	21	15	11	23
09/09/2013	130	29	13	43	26	14	162
20/12/2013	410	64	9	76	38	24	492
23/12/2013	370	50	8	67	49	20	484
Mínimo	55	8	2	12	12	6	7
Máximo	415	64	23	82	79	49	492
Mediana	150	19	8	43	26	20	89
Média	202	28	9	46	32	23	172
Desv. padrão	131	19	6	23	20	14	175
CV (%)	65	69	64	49	61	59	101

Os eventos no semiárido são caracterizados por curta-duração e alta intensidade, a duração dos eventos que geraram escoamento na plataforma das estradas variou de 55 a 415 minutos e a intensidade de precipitação variou de 2 mm.h⁻¹ a 23 mm.h⁻¹. A mediana dos valores de precipitação e duração de eventos foi, respectivamente, 19 mm e 150 min. Já a erosividade da chuva, que reflete o potencial da precipitação em gerar erosão apresentou variação de 7 a 492 MJ mm ha⁻¹h⁻¹.

A precipitação que gerou escoamento na plataforma da estrada foi de 417 mm no total de 15 eventos. O escoamento na área ocorre quando a precipitação excede 8 mm e intensidade de 2 mm.h⁻¹ nas plataformas de estradas, nos segmentos monitorados. Similar comportamento foi observado no estudo de MacDonald et al (2001) nas Ilhas Virgens Americanas, em parcelas de superfícies de estradas monitoradas, onde o escoamento superficial nesses segmentos se estabelecia quando a precipitação excedia 6 mm.

De acordo com o critério estabelecido por Wischmeier e Smith (1978) para o cálculo de erosividade apenas se consideram erosivas as chuvas com intensidade de precipitação superior a 12,7 mm.h⁻¹ e se considera como eventos de precipitação distintos aqueles que se distanciam em um mínimo de seis horas com uma precipitação durante esse tempo de 12,7 mm. O critério estabelecido por Wischmeier e Smith (1978) para considerar uma chuva erosiva, não se aplica as estradas não pavimentadas da área de estudo, uma vez que mesmo eventos com intensidade de 2 mm.h⁻¹ ocorridos no ano de 2013 apresentaram escoamento e mobilização de sedimentos na superfície dos segmentos de estradas monitoradas.

Erodibilidade

Na Figura 3 são apresentados valores de erodibilidade, Fator K da USLE, que representam a susceptibilidade dos solos a sofrerem erosão, obtidos a partir de amostras de solo coletadas da superfície das estradas com e sem trânsito, monitorados neste estudo. Os valores de erodibilidade foram calculados a partir da equação desenvolvida por Wischmeier (1978) e têm como fatores de cálculo as frações de argila, silte, areia fina e matéria orgânica, além de parâmetros que descrevem a estrutura do solo e a permeabilidade do material.

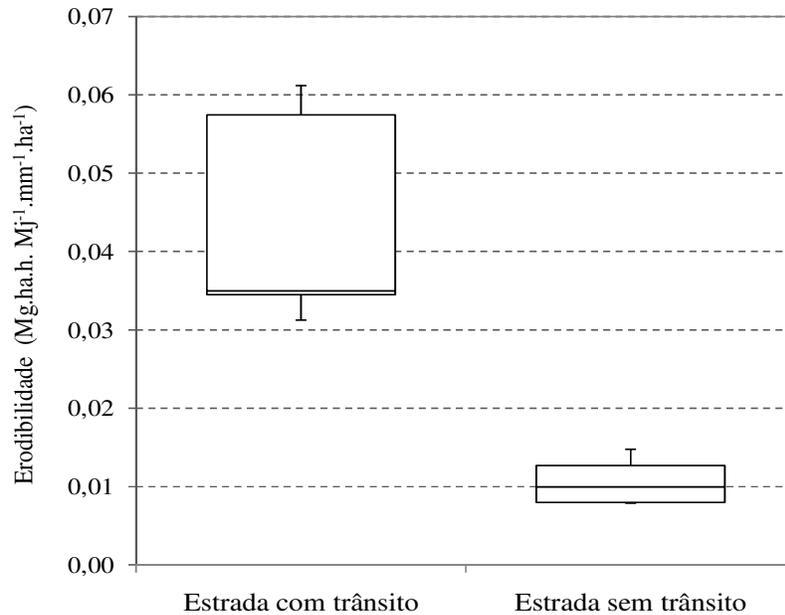


Figura 3 – Valores de erodibilidade (Fator K da USLE) para o solo das estradas com e sem trânsito. O valor central da coluna indica a mediana dos valores, e as extremidades indicam a variação de valores, máximos, mínimos e quartis.

A estrada com trânsito apresentou valores de erodibilidade do solo mais elevados que a estrada sem trânsito devido a elevada proporção de silte e areia fina presentes na textura desse solo. Essas frações representam quase 50% do solo da estrada com trânsito, enquanto que para o solo da estrada sem trânsito, esses valores correspondem a cerca de 20% da fração granulométrica. Além disso, o solo da estrada sem trânsito apresenta elevada proporção de partículas com diâmetro superior a 2 mm, cerca de 40%.

Geralmente solos pobres em partículas cimentantes são mais susceptíveis erosão devido baixa coesão e plasticidade, podendo ser facilmente transportados. A susceptibilidade a erosão de solos com elevada proporção de silte é maior, devido a essa ser uma partícula de pequeno diâmetro, leve e sem coesão, que se desagrega e é facilmente transportada, em comparação com a fração argila que é fina, mas que possui forças de coesão.

Comparação entre produção de sedimentos das estradas medida e modelada

Na Tabela 2 são apresentados os valores obtidos em campo de concentração de sedimentos, coeficientes de escoamento superficial (CR%) e produção de sedimentos dos eventos monitorados

em 2013, além dos valores de produção de sedimentos estimados a partir de modelagem utilizando a Equação Universal de Perdas do Solo, associada a equação de taxa de transporte difuso de Maner.

Tabela 2 – Características dos eventos: coeficiente de escoamento superficial, concentração de sedimentos e produção de sedimentos medida e modelada, das estradas com e sem trânsito.

Data do Evento	Estrada sem trânsito				Estrada com trânsito			
	CR (%)	Concentração de sedimentos (mg L ⁻¹)	Produção de sedimentos medida (Mg.ha ⁻¹)	Produção de sedimentos modelada (Mg.ha ⁻¹)	CR (%)	Concentração de sedimentos (mg L ⁻¹)	Produção de sedimentos medida (Mg.ha ⁻¹)	Produção de sedimentos modelada (Mg.ha ⁻¹)
03/01/2013	13	810	0,014	0,004	9	2172	0,072	0,006
04/01/2013	52	257	0,078	0,050	23	1648	0,135	0,078
07/02/2013	22	716	0,016	0,003	10	1566	0,030	0,005
16/02/2013	30	628	0,114	0,048	15	1410	0,177	0,075
26/03/2013	32	207	0,028	0,065	18	416	0,089	0,102
30/03/2013	18	221	0,004	0,001	8	948	0,026	0,002
04/04/2013	15	137	0,007	0,004	7	189	0,032	0,007
19/04/2013	38	344	0,083	0,052	28	237	0,068	0,081
26/04/2013	10	172	0,005	0,009	5	317	0,010	0,014
02/05/2013	9	135	0,008	0,016	4	286	0,024	0,025
05/06/2013	16	530	0,027	0,005	3	5336	0,030	0,008
23/06/2013	13	179	0,010	0,004	6	3940	0,052	0,007
09/09/2013	7	263	0,021	0,029	4	179	0,027	0,046
20/12/2013	26	129	0,055	0,0892	14	345	0,068	0,139
23/12/2013	4	113	0,039	0,0877	18	210	0,060	0,137
Total			0,50	0,47			0,90	0,73

As taxas de erosão anual para a estrada sem trânsito e com trânsito, foram respectivamente, 0,50 Mg.ha⁻¹.ano⁻¹ e 0,90 Mg.ha⁻¹.ano⁻¹. Ao se analisar a produção de sedimentos total normalizada pela declividade, na estrada com trânsito o valor foi quase três vezes mais elevado que na estrada sem trânsito. Os valores foram normalizados pela declividade devido a diferença entre as duas parcelas monitoradas na estrada com trânsito (2,4%) e sem trânsito (4,0%).

Na Bacia Experimental de Aiuaba, área quase que completamente preservada com 12 km² e declividade média de 19,4%, Figueiredo (2011) com base em oito anos de dados (2003 a 2010) de monitoramento de chuva e vazão, verificou que o coeficiente de runoff (CR) médio da BEA é baixo, da ordem de 0,77%, com mediana de 0,5% e valor máximo de 2,61% e Araújo e Piedra (2009) verificaram que a produção de sedimentos é de 2,4 ton. km⁻².ano⁻¹ (0,024 Mg.ha⁻¹.ano⁻¹).

O maior erro encontrado para a estrada com trânsito pode ter relação com processos que ocorrem na superfície da estrada devido a influências externas, como exemplo o tráfego de veículos que influencia na disponibilidade de material solto e conseqüentemente no processo de geração de sedimentos, fenômeno não considerado nos parâmetros da modelagem utilizada.

Ziegler et al. (2001) comentam que em estradas o fornecimento de material solto está em fluxo constante, de forma que esta se comporta como uma superfície com erodibilidade variável. Durante a estação chuvosa, a disponibilidade de material solto gerado antes de cada evento é reduzida porque o período entre eventos é menor. A abundância de material solto na superfície da estrada, em determinado momento, é uma função do tráfego e de outros processos que ocorrem desde o último evento do escoamento superficial. Além disso, a passagem de um veículo redistribui material solto existente em caminhos de fluxo.

CONCLUSÕES

Os esforços de medidas e de modelagem realizados no âmbito dessa pesquisa permitem extrair as seguintes conclusões. A taxa de erosão na estrada vicinal sem trânsito foi, em 2013, de 500 kg.ha⁻¹; enquanto que na estrada vicinal com trânsito esse valor foi quase o dobro, ou seja, 900 kg.ha⁻¹; indicando claro impacto do trânsito sobre a erodibilidade do solo e, portanto, sobre a erosão. A USLE, associada à equação de SDR por Maner, foi capaz de calcular, com grande precisão (erros abaixo de 20%) a erosão nas estradas vicinais. Observe-se que o modelo só funcionou adequadamente porque foi calculado com a adequação do conceito de SDR, que foi inferior a 2% nos casos estudados. Adicionalmente verificou-se que as abstrações iniciais nas estradas foi de 8 mm, aproximadamente a metade do que se avaliou para a Bacia Experimental de Aiuaba (12 km²), que foi de 15 mm.

BIBLIOGRAFIA

ARAÚJO, J.C. e PIEDRA, J.I.G. 2009. *Comparative hydrology: analysis of a semiarid and a humid tropical watershed*. Hydrol. Process. 23, 1169–1178.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE – DNIT 2010. *Plano Nacional de Viação*. Brasília, DF.

FIGUEIREDO, J. V. 2011. *Início da Geração do Escoamento Superficial em uma Bacia Semiárida em Caatinga Preservada*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola - manejo e Conservação de bacias Hidrográficas no semiárido) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, 84f.

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

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

MEDEIROS, P. H. A. 2009. *Processos Hidrossedimentológicos e Conectividade em Bacia semiárida: modelagem distribuída e validação em diferentes escalas*. Tese de Doutorado em Engenharia Civil - Universidade Federal do Ceará, 165f.

MINELLA, J. P. G.; MERTEN, G. H. ; CLARKE, R. T. 2009. *Método fingerprinting para identificação de fontes de sedimentos em bacia rural*. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 13, p. 633/638, 2009.

NAVARRO, J. H. 2002. *Control de la Erosión en Desmontes originados por obras de infraestructura viária: aplicação al entorno de Palencia Capital*. Tesis Doctoral - Departamento de Ingeniería Forestal - Universidad Politécnica de Madrid. 811f.

NAVARRO, J., VÉLEZ, M., ROJO, A. e CRUZ, P. 2006. *Estudio de la revegetación, producción y emisión de sedimentos durante las obras de la autovía Oviedo-Salas (Asturias)*. I Congreso Nacional de Medio Ambiente en Carreteras. Santander, 25-28 de abril, 2006.

NEGISHI, J. N. , SIDLE, R. C. , ZIEGLER, A. D.; NOGUCHI; S. e RAHIM, N. A. 2008. *Contribution of intercepted subsurface flow to road runoff and sediment transport in a logging-disturbed tropical catchment*. Earth Surf. Process. Landforms 33, 1174–1191.

RAMOS-SCHARRON C. E., MACDONALD L. H. 2005. *Measurement and prediction of sediment production from unpaved roads, St John, US Virgin Islands*. Earth Surface Processes and Landforms, 30: 1283–1304.

RAMOS-SCHARRÓN, C.E. 2010. *Sediment production from unpaved roads in a sub-tropical dry setting –Southwestern Puerto Rico*. Catena 82, 146-158.

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

SIDLE, R. C.; ZIEGLER, A. D.; NEGISHI, J.N.; NIK, A. R.; SIEWC, R.; TURKELBOOM, F. 2006. *Erosion processes in steep terrain—Truths, myths, and uncertainties related to forest management in Southeast Asia*. Forest Ecology and Management, 224: 199–225.

WISCHMEIER WH, JOHNSON CB, CROSS BV. 1971. *A soil erodibility nomograph for farmland and construction sites*. Journal of Soil and Water Conservation 26: 189–193.

WISCHMEIER WH, SMITH DD. 1978. *Predicting rainfall erosion losses – a guide to conservation planning*. Agricultural Handbook No.537. US Department of Agriculture: Washington, D.C.

ZIEGLER A.D., GIAMBELLUCA T.W. 1997. *Importance of rural roads as source areas for runoff in mountainous areas of northern Thailand*. Journal of Hydrology 196: 204–229.

ZIEGLER, A.D., SUTHERLAND, R.A., GIAMBELLUCA, T.W., 2001. *Interstorm surface preparation and sediment detachment by vehicle traffic on unpaved mountain roads*. Earth Surf. Processes Landforms 26: 235–250.