



DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n2p160-165>

Erodibilidade e tensão crítica de cisalhamento no canal de drenagem de estrada rural não pavimentada¹

Adriana G. Enriquez², Danilo P. da Silva³, Fernando F. Pruski⁴, Nori P. Griebeler⁵ & Paulo R. Cecon⁶

Palavras-chave:

erosão hídrica
conservação de solo e água
modelagem
processo erosivo

RESUMO

A erosão em estradas não pavimentadas associada ao escoamento superficial gera grande impacto ambiental, sendo a principal causa de inundação, contaminação da água e alteração da fauna aquática, entre outros, tornando-se necessário desenvolver estratégias de prevenção e controle. Para isto, a obtenção de valores confiáveis dos índices de resistência do solo ao processo erosivo é premente; sentido em que este trabalho teve, como objetivo, determinar os índices de erodibilidade e a tensão crítica de cisalhamento em canal de drenagem construído em uma estrada não pavimentada implantada em um Latossolo Vermelho-Amarelo. O estudo foi realizado em uma estrada não pavimentada do município de Viçosa, MG, que apresentava problemas de erosão utilizando-se um simulador de escoamento para determinação direta no campo. Os dados de erodibilidade e tensão crítica de cisalhamento foram obtidos com base na técnica de identidade de modelos. O valor de erodibilidade determinado foi de $0,0044 \text{ g cm}^{-2} \text{ min}^{-1} \text{ Pa}^{-1}$, ao qual foi associado um intervalo de confiança com 95% de probabilidade de $0,0035$ a $0,0053 \text{ g cm}^{-2} \text{ min}^{-1} \text{ Pa}^{-1}$. A tensão crítica de cisalhamento obtida foi de $7,61 \text{ Pa}$.

Key words:

water erosion
soil and water conservation
modeling
erosion processes

Erodibility and critical shear stress in the drainage channel of a rural unpaved road

ABSTRACT

The erosion in unpaved roads associated with the runoff generates a great environmental impact, being the main cause of flooding, water contamination and alteration of aquatic fauna, among others. It is necessary to develop strategies for prevention and control. For this, obtaining reliable indices of soil resistance to erosion is required. In this context, the aim of this study was to determine the indices of erodibility and critical shear stress in the channel of an unpaved road implanted in a Red-Yellow Latosol. Study was conducted on an unpaved road in Viçosa-MG, Brazil, which presented problems of erosion, using a flow simulator for direct determination of field. Erodibility and critical shear stress data were obtained by applying model identity test. The erodibility value determined was $0.0044 \text{ g cm}^{-2} \text{ min}^{-1} \text{ Pa}^{-1}$, and its associated confidence interval with 95% probability was 0.0035 to $0.0053 \text{ g cm}^{-2} \text{ min}^{-1} \text{ Pa}^{-1}$. The critical shear stress determined was 7.61 Pa .

Protocolo 403.13 – 16/12/2013 • Aprovado em 05/09/2014 • Publicado em 01/02/2015

¹ Parte da Dissertação de Mestrado da primeira autora junto ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da UFV

² DEF/UFV. Viçosa, MG. E-mail: adrygom@yahoo.com

³ DCEN/UESB. Itapetinga, BA. E-mail: dpaulucio@uesb.edu.br (Autor correspondente)

⁴ DEA/UFV. Viçosa, MG. E-mail: fpruski@ufv.br

⁵ EA/UFV. Goiânia, GO. E-mail: griebeler@yahoo.com.br

⁶ DET/UFV. Viçosa, MG. E-mail: cecon@ufv.br

INTRODUÇÃO

As estradas não pavimentadas têm sido mencionadas como uma das principais fontes de produção de sedimentos, visto que influenciam nos processos hidrológicos de determinada área de diversas formas, como: interceptação direta das gotas de chuva no leito da estrada; baixa taxa de infiltração da água no solo e, em contrapartida, maior volume de escoamento superficial além de concentração do volume escoado em áreas adjacentes ao canal de drenagem da estrada (Forsyth et al., 2006).

De acordo com Pruski (2009) o agente causador principal da erosão em estradas não pavimentadas é o escoamento superficial. O processo erosivo se inicia quando o escoamento superficial se concentra ao longo do canal de drenagem da estrada e atinge determinada tensão cisalhante com magnitude superior à tensão crítica de cisalhamento do solo. A partir deste momento o escoamento superficial passa a desprender partículas do solo, geralmente transportadas até os cursos d'água. Os impactos originados pelo estabelecimento deste processo incluem assoreamento, poluição e interferência na qualidade de vida aquática dos cursos d'água (Ziegler et al., 2000; 2001; Foltz et al., 2008; Zhang et al., 2009; Cao et al., 2009; Corrêa & Cruz, 2010).

Diversas pesquisas têm sido realizadas com o intuito de estimar a produção de sedimentos em estradas não pavimentadas. Grayson et al. (1993) destacaram, em estudo realizado na Austrália, que estradas florestais não pavimentadas podem gerar sedimentos entre 50 a 90 Mg ha⁻¹ ano⁻¹. Nos Estados Unidos da América Ramos-Scharrón & MacDonald (2005) avaliaram a produção de sedimentos em 21 segmentos de estradas e obtiveram produção média de 74 Mg ha⁻¹ ano⁻¹. No Brasil Oliveira et al. (2010) avaliaram as perdas de solo ocorridas durante dois períodos (novembro/2004 e maio de 2005) em estradas florestais localizadas no Vale do Rio Doce (Minas Gerais) e obtiveram médias de 68,3 kg m⁻² e de 142,4 kg m⁻², em faixas de declive de 0 a 4%, e maiores de 12%, respectivamente.

Nessas estradas os processos erosivos estão associados a fatores como intensidade e duração das chuvas, características do material da estrada, declividade, características construtivas e intensidade de tráfego, entre outras (Ramos-Scharrón & MacDonald, 2007; Fu et al., 2010; Oliveira et al., 2010; Corrêa & Cruz, 2010).

Dos diversos fatores que influenciam na erosão em estradas merecem destaque as propriedades que refletem maior ou menor resistência dos solos aos agentes erosivos. De acordo com Knapen et al. (2007) os principais índices que caracterizam a resistência do solo à erosão são a erodibilidade e a tensão crítica de cisalhamento. A estimativa desses índices é fundamental para a determinação da capacidade resistiva do solo e, assim, para a definição de estratégias visando ao controle da erosão (Lafren et al., 1991; Griebeler et al., 2005a; Silva, 2009; Shultz, 2011).

A erodibilidade pode ser definida como a propriedade do solo que expressa a maior ou menor facilidade com que suas

partículas são desprendidas por um agente erosivo (Bastos, 1999) e a tensão crítica de cisalhamento é definida como a força hidráulica requerida para iniciar o desprendimento das partículas de solo. A taxa de erosão é considerada zero quando as tensões de cisalhamento aplicadas estão abaixo da tensão crítica de cisalhamento do solo (Klaveren & McCool, 1998).

A erodibilidade e a tensão crítica de cisalhamento têm sido determinadas através de métodos indiretos baseados nas características físico-químicas dos solos e por métodos diretos a partir da relação entre as perdas de solo e a tensão cisalhante; mesmo assim não existem, em condições de estradas não pavimentadas, métodos indiretos específicos com vista à determinação da erodibilidade do solo. Assim, métodos de determinação direta têm sido propostos para a estimativa desses índices destacando-se principalmente aqueles do tipo canal hidráulico, como o ensaio de Inderbitzen (Inderbitzen, 1961) e o simulador de escoamento (Griebeler et al., 2005b).

Griebeler et al. (2005b) e Koetz et al. (2009) determinaram, na avaliação desses métodos, a erodibilidade e a tensão crítica de cisalhamento em estradas não pavimentadas implantadas em Latossolo Vermelho Amarelo porém os resultados obtidos apresentavam grande variabilidade entre repetições influenciando no valor médio obtido para esses índices.

Tendo em vista a importância do conhecimento desses índices e a variabilidade dos dados encontrados na literatura, o desenvolvimento de estudos que permitam obter dados confiáveis de erodibilidade e tensão crítica de cisalhamento, constitui uma contribuição efetiva para estudos voltados ao controle do processo erosivo em estradas não pavimentadas. Neste sentido é de grande importância a realização de maior número de testes de maneira a permitir a aplicação de métodos estatísticos que proporcionem maior confiabilidade aos dados, razão por que o objetivo deste trabalho foi determinar a erodibilidade e a tensão crítica de cisalhamento, diretamente no canal de drenagem de uma estrada não pavimentada, aplicando o teste de identidade de modelos.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado no ano de 2012 em estrada não pavimentada localizada no campus da Universidade Federal de Viçosa, situado no município de Viçosa, MG. O trecho de estrada se encontra compreendido entre os paralelos 7701069 e 7701284 m S e meridianos 722063 e 7220630 m E na zona UTM 23S. A região apresenta uma altitude média de 690 m, precipitação média anual de 1.222 mm e temperatura média anual de 19,4 °C (EMBRAPA, 2003).

O solo do local caracteriza-se como um Latossolo Vermelho-Amarelo sendo a estrada implantada no horizonte B deste solo. Na Tabela 1 são apresentados os resultados da análise granulométrica, a massa específica do solo, a fração textural retida em peneira de malha 0,074 mm (#200) e a classe textural.

Visando à realização dos testes, fez-se a adequação do canal de drenagem da estrada procedimento este realizado

Tabela 1. Características físicas do solo do local do experimento

Granulometria - g kg ⁻¹					Massa específica (kg dm ⁻³)	Classe textural
Areia	Silte	Argila ¹	Pedregulho	Retido na peneira #200		
250	90	650	10	170	1,24	Argiloso

¹ Método do densímetro (ABNT, 1984)

com o auxílio de uma motoniveladora com o objetivo de simular a condição imediatamente após um procedimento de manutenção da estrada.

A erodibilidade e a tensão crítica de cisalhamento foram determinadas a partir da análise das perdas de solo acumuladas e associadas a diferentes tensões de cisalhamento. A determinação dessas variáveis foi feita com um simulador de escoamento desenvolvido por Griebeler et al. (2005b) e modificado por Gomez (2012).

O equipamento “simulador de escoamento” permite simular o escoamento diretamente nos canais de estrada em condição natural e obter os sedimentos advindos da vazão aplicada. Na Figura 1 são apresentados o esquema geral do equipamento e a instalação em campo.

O equipamento consiste de um sistema para armazenamento e derivação de água e uma calha construída com chapas metálicas que permitem a delimitação do trecho de canal em que os ensaios são realizados e de um conjunto para coleta e filtragem da água que passa pelo equipamento (Griebeler et al., 2005b; Gomez, 2012).

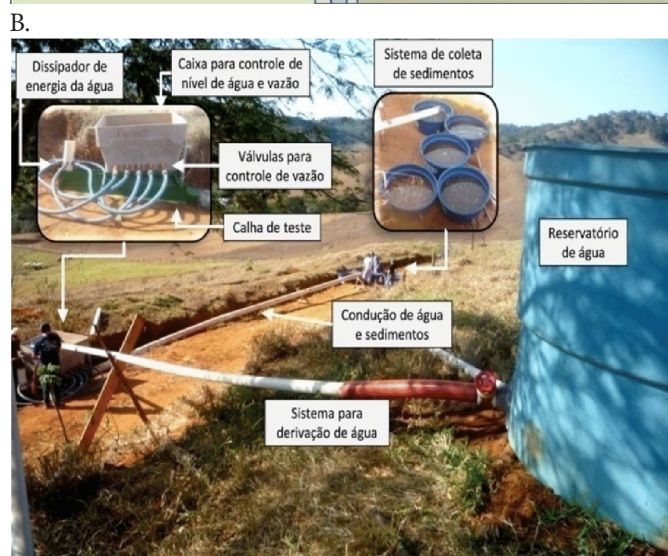
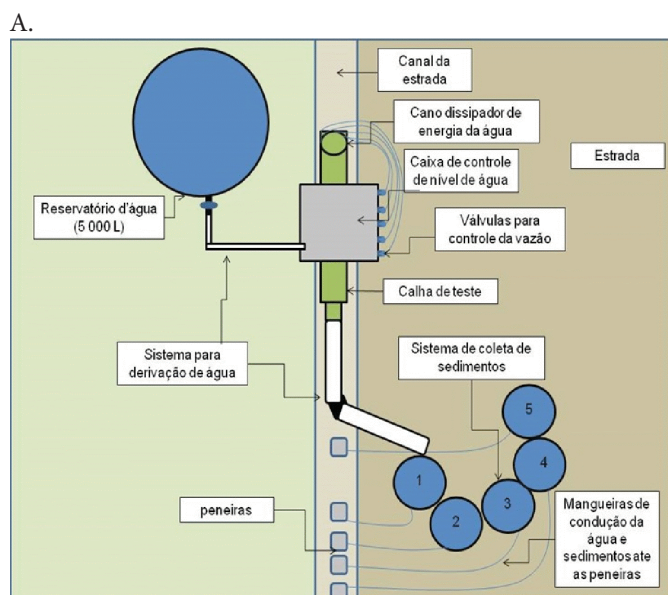


Figura 1. Simulador de escoamento (A) Representação esquemática dos componentes (B) Distribuição do equipamento em campo

O sistema para armazenamento e derivação da água consta de uma caixa em fibra de vidro, de 5.000 L, que alimenta a caixa de controle durante os testes para manter seu nível constante. Esta caixa dispõe de um registro de gaveta (100 mm) para controle da vazão, conectado a uma tubulação de PVC que direciona a água à caixa de controle.

A caixa para controle de nível da água e da vazão é colocada sob um suporte metálico, instalado acima da calha metálica. Esta caixa é de cimento amianto de 500 L e contém cinco registros de esfera (50 mm) situados na parte inferior para controlar a vazão. O nível da água nesta caixa é mantido constante a fim de sustentar a vazão.

O sistema também consta de uma calha construída com chapas metálicas para onde as diferentes vazões provenientes da caixa de controle são direcionadas. A função da calha é permitir, através de uma abertura localizada na sua parte inferior, o contato do escoamento com o solo do canal. Na saída da calha metálica é conectada uma tubulação de PVC (200 mm) que direciona a água com os sedimentos à área de coleta, composta por cinco caixas de polietileno de 500 L; em cada caixa é armazenada a água com os sedimentos provenientes de cada vazão.

Para a determinação das perdas de solo todo o volume de escoamento armazenado em cada uma das cinco caixas coletoras foi passado em peneira de malha 0,074 mm (#200), de maneira a se obter o material erodido relativo a cada vazão aplicada. O material retido nas peneiras provenientes de cada uma das caixas de coleta, foi levado ao laboratório e secado ao ar, com vista à determinação da porcentagem de areia. Esta porcentagem foi obtida por peneiramento realizado após a dispersão mecânica e química do solo.

O total de solo erodido foi determinado fazendo-se uma relação direta entre a quantidade de areia retida nas peneiras (malha 0,074 mm/#200) e o percentual que este representa no total obtido pela curva granulométrica.

A tensão de cisalhamento foi obtida aplicando-se a Eq. 1:

$$\tau = \frac{\gamma y S}{0,102} \quad (1)$$

em que:

- τ - tensão de cisalhamento associada ao escoamento, Pa
- γ - peso específico da água, $N\ m^{-3}$
- y - profundidade de escoamento, m
- S - declividade da superfície livre da água, $m\ m^{-1}$

A declividade da superfície livre de água foi determinada em campo pela diferença de nível na área delimitada pelo equipamento, sendo assumida a declividade do terreno igual à declividade da superfície livre de água pelo fato de apresentar condição de fluxo uniforme permanente e declividade constante. A profundidade de escoamento foi estimada utilizando-se a equação de Manning, expressa pela equação:

$$\frac{y^{5/3}}{(L + 2y)^{2/3}} = \frac{Qn}{S^{1/2}L^{5/3}} \quad (2)$$

em que:

- Q - vazão, $m^3\ s^{-1}$

- n - coeficiente de rugosidade de Manning, $s\ m^{-1/3}$
L - largura da calha, m

O coeficiente de rugosidade adotado foi de $0,018\ s\ m^{-1/3}$ (Chow, 1986) característico de canais de terra retilíneos, uniformes e recentemente construídos. A largura da calha foi determinada por medição direta no equipamento (15 cm). Desta forma, para cada uma das cinco vazões aplicadas obteve-se a tensão cisalhante correspondente.

Os valores obtidos em cada teste de perda de solo associados a cada tensão de cisalhamento aplicada, foram plotados em um gráfico ajustando-se uma equação linear simples. A erodibilidade corresponde ao coeficiente angular da equação ajustada e a tensão crítica de cisalhamento equivale ao valor máximo de tensão aplicada para o qual a perda de solo ainda é nula.

Foram realizados 10 testes (repetições) obtendo-se, desta maneira, 10 equações ajustadas a partir dos dados de perda de solo em função da tensão cisalhante aplicada. Cada teste foi feito em locais diferentes dentro do trecho estudado deslocando-se o simulador de escoamento a fim de estabelecer condições iguais em cada teste. Na sequência, o teste de identidade de modelos (Regazzi, 1999) foi aplicado para testar a hipótese de que as 10 equações são idênticas e podem ser representadas por um modelo comum. A sequência para a aplicação do teste a estudos de resistência do solo à erosão foi descrita de forma detalhada, por Gomez (2012).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 2 são apresentadas as perdas de solo acumuladas associadas às tensões aplicadas nos 10 testes realizados, na qual é evidenciada uma grande variação das perdas de solo acumuladas para tensões cisalhantes equivalentes nos diversos testes realizados. Na Tabela 2 se encontram as equações ajustadas para a perda de solo em função da tensão cisalhante, os coeficientes de determinação relativos a cada equação e os valores de erodibilidade e de tensão crítica de cisalhamento correspondentes a cada teste.

Conforme se evidencia na Tabela 2, existe grande variação dos valores de erodibilidade (K) que oscilam de $0,0016$ a $0,0357\ g\ cm^{-2}\ min^{-1}\ Pa^{-1}$, cujo maior valor de erodibilidade é, portanto, 22,3 vezes superior ao menor valor. Esta variabilidade foi evidenciada também para a tensão crítica cisalhante, sendo obtido até um valor negativo para esta variável (teste 7) o que não apresenta explicação física. O maior valor obtido para a tensão crítica de cisalhamento foi igual a $13,19\ Pa$.

Tabela 2. Equações ajustadas e índices de erodibilidade (K) e tensão crítica de cisalhamento (τ_c) obtidos a partir dos testes realizados

Teste	Equação ajustada	R ²	K ($g\ cm^{-2}\ min^{-1}\ Pa^{-1}$)	τ_c (Pa)
Teste 1	$Ps_1 = -0,250 + 0,0190\ \tau$	0,941	0,0190	13,19
Teste 2	$Ps_2 = -0,276 + 0,0357\ \tau$	0,989	0,0357	7,73
Teste 3	$Ps_3 = -0,135 + 0,0156\ \tau$	0,725	0,0156	8,64
Teste 4	$Ps_4 = -0,186 + 0,0324\ \tau$	0,990	0,0324	5,75
Teste 5	$Ps_5 = -0,024 + 0,0051\ \tau$	0,924	0,0051	4,72
Teste 6	$Ps_6 = -0,017 + 0,0028\ \tau$	0,960	0,0028	6,23
Teste 7	$Ps_7 = 0,006 + 0,0016\ \tau$	0,978	0,0016	-3,75
Teste 8	$Ps_8 = -0,063 + 0,0055\ \tau$	0,773	0,0055	11,38
Teste 9	$Ps_9 = -0,042 + 0,0052\ \tau$	0,965	0,0052	8,08
Teste 10	$Ps_{10} = -0,037 + 0,0042\ \tau$	0,971	0,0041	8,81

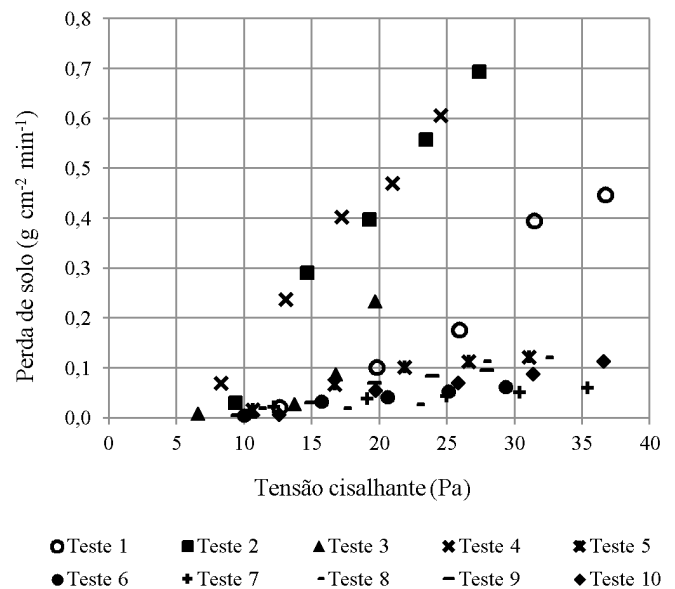


Figura 2. Perdas de solo acumuladas e associadas às tensões cisalhantes aplicadas nos 10 testes realizados

Uma análise geral das equações ajustadas permite evidenciar que a dispersão dos dados em relação aos modelos ajustados é pequena, o que é indicado pelos coeficientes de determinação obtidos que, em geral, foram superiores a 92%. Em apenas dois testes os coeficientes obtidos foram inferiores a este valor, ou seja, de 72,5% para o teste 3 e de 77,3% para o teste 8.

O teste de identidade de modelos foi aplicado para as 10 equações obtidas. A aplicação desse teste permitiu identificar o agrupamento das equações em quatro grupos distintos, apresentados na Tabela 3, tal como suas respectivas equações comuns.

Determinado grupo de equações pode ser representado por uma única equação (modelo comum) quando é identificado usando-se o teste de identidade de modelos em que essas equações não diferem significativamente entre si; neste trabalho foi utilizado um nível de significância de 1%.

Os testes 2 e 4 foram os que apresentaram os maiores valores de erodibilidade, aos quais foi ajustada a linha de tendência representada que caracteriza uma erodibilidade de $0,0338\ g\ cm^{-2}\ min^{-1}\ Pa^{-1}$ e tensão crítica de cisalhamento de $6,66\ Pa$. Evidencia-se, para este agrupamento, que embora a tensão de cisalhamento tenha sido superada pelos valores obtidos nos agrupamentos 2 e 4, o valor da erodibilidade do solo foi muito superior ao dos demais agrupamentos. Assim sendo, a erodibilidade para o primeiro agrupamento de 2,1 vezes o

Tabela 3. Agrupamento das equações identificadas pelo teste de identidade de modelos e seus respectivos índices de erodibilidade (K) e tensão crítica de cisalhamento (τ_c)

Agrupamento	Testes	Equações ajustadas	R ²	K (g cm ⁻² min ⁻¹ Pa ⁻¹)	τ_c (Pa)
1	2 e 4	Pscomum = - 0,225 + 0,0338 τ	0,981	0,0338	6,66
2	1 e 3	Pscomum = - 0,157 + 0,0160 τ	0,890	0,0160	10,07
3	7	Pscomum = 0,006 + 0,0016 τ	0,977	0,0016	- 3,75
4	5, 6, 8, 9 e 10	Pscomum = - 0,034 + 0,0044 τ	0,743	0,0044	7,61

valor correspondente ao segundo agrupamento, 21,13 vezes o valor relativo ao terceiro agrupamento e 7,68 vezes o valor da erodibilidade do quarto agrupamento. Esta variabilidade pode ser atribuída às características do solo de vez que este apresenta grande variabilidade espaço-temporal, mesmo em pequenas áreas e cada teste foi realizado em diferentes locais do trecho estudado.

O segundo agrupamento caracterizou valores de erodibilidade de 0,016 g cm⁻² min⁻¹ Pa⁻¹ e de tensão crítica de cisalhamento de 10,07 Pa. Este agrupamento foi o que apresentou o maior valor de tensão crítica de cisalhamento dentre todos os agrupamentos obtidos, sendo este valor 1,51 vezes maior que o valor obtido para o primeiro agrupamento e 1,32 vezes maior que o valor obtido para o quarto agrupamento. Quanto ao valor de erodibilidade e embora este tenha sido cerca da metade do relativo ao agrupamento dos testes 2 e 4, foi bastante superior ao valor correspondente aos outros dois agrupamentos considerados.

O terceiro agrupamento considerou apenas uma equação (teste 7) a qual, inclusive, apresenta um valor de tensão de cisalhamento crítica inconsistente do ponto de vista físico de vez que seu valor é negativo. Com relação à erodibilidade, este agrupamento foi o que apresentou o valor mais próximo do obtido por Griebeler et al. (2005b) que obtiveram valor de erodibilidade igual a 0,001 g cm⁻² min⁻¹ Pa⁻¹ para um solo similar ao que foi estudado neste trabalho.

O modelo ajustado para o quarto agrupamento resultou em valores de erodibilidade de 0,0044 g cm⁻² min⁻¹ Pa⁻¹ e de tensão crítica de cisalhamento de 7,61 Pa. Este agrupamento foi o que permitiu o ajuste de um número maior de equações e embora tenha apresentado o menor coeficiente de determinação entre todos os agrupamentos (igual a 0,74) ainda caracterizou bom ajuste dos dados, como apresentado na Figura 3.

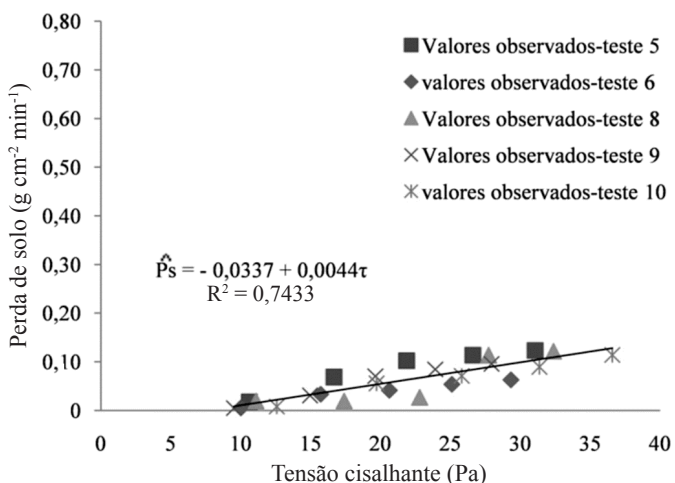


Figura 3. Agrupamento dos testes 5,6,8, 9 e 10, identificado pelo teste de identidade dos modelos e linha de tendência correspondente a este agrupamento

A erodibilidade obtida, igual a 0,0044 g cm⁻² min⁻¹ Pa⁻¹, foi a que apresentou o menor valor dentre todos os agrupamentos que envolveram mais de uma equação sendo este igual a 27,5% da erodibilidade do agrupamento das Eqs. 1 e 3 e 13,0% da erodibilidade do agrupamento das Eqs. 2 e 4 indicando, portanto, grande discrepância em relação aos demais agrupamentos. Embora o valor de erodibilidade tenha sido bem inferior aos dos demais agrupamentos, este foi ainda bem superior aos obtidos por Griebeler et al. (2005b) e Koetz et al. (2009) que encontraram valores de erodibilidade em estradas não pavimentadas para um Latossolo Vermelho Amarelo no horizonte B, de 0,001 e 0,00072 g cm⁻² min⁻¹ Pa⁻¹, respectivamente. Já Oliveira et al. (2009), obtiveram valores de erodibilidade em solos de estradas não pavimentadas de textura franco argilosa de 0,05 g cm⁻² min⁻¹ Pa⁻¹, sendo mais alta pela maior porcentagem de areia e silte presente nesse solo.

Com referência à tensão crítica de cisalhamento, o valor obtido para este agrupamento foi intermediário entre os obtidos para os agrupamentos dos testes 1 e 3 e dos testes 2 e 4, sendo obtido um valor de 7,61 Pa. Este valor apresenta uma magnitude próxima à do valor obtido por Griebeler et al. (2005b) que obtiveram um valor de tensão crítica de cisalhamento de 7,5 Pa para um solo com características similares às estudado. Já Koetz et al. (2009) obtiveram o valor de 6,5 Pa para um Latossolo Vermelho Amarelo de textura argilosa, valor que ainda pode ser considerado similar ao encontrado neste estudo.

Com base no fato de que o quarto agrupamento foi o que apresentou o maior número de equações e uma compatibilidade maior com os valores encontrados por outros pesquisadores, consideraram-se os valores de erodibilidade e de tensão crítica de cisalhamento como os mais representativos para o solo estudado ao qual foi determinado o intervalo de confiança associado à erodibilidade com 95% de confiança, sendo de 0,0035 a 0,0053 g cm⁻² min⁻¹ Pa⁻¹.

Referidos valores fornecem aporte importante em estudos de processos erosivos considerando-se que foram determinados diretamente no campo e analisados estatisticamente para propor valores mais confiáveis. Em estudos para o dimensionamento de obras hidráulicas visando ao controle de erosão em estradas têm sido utilizados índices registrados na literatura ou que foram determinados por métodos indiretos que, em muitas ocasiões, não são representativos do tipo de solo influenciando na eficiência da obra e nos custos (Correa & Dedecek, 2009; Casarin & Oliveira, 2009).

CONCLUSÕES

1. O valor de erodibilidade determinado foi de 0,0044 g cm⁻² min⁻¹ Pa⁻¹, ao qual foi associado um intervalo de confiança com 95% de probabilidade de 0,0035 a 0,0053 g cm⁻² min⁻¹ Pa⁻¹. A tensão crítica de cisalhamento determinada para este mesmo solo foi de 7,61 Pa.

2. O teste de identidade de modelos permitiu obter-se valores únicos de erodibilidade e tensão crítica de cisalhamento com nível de significância de 1%.

LITERATURA CITADA

- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. Solo: Análise granulométrica NBR 7181-84. Rio de Janeiro: ABNT, 1984. 13p.
- Bastos, C. A. B. Estudo geotécnico sobre a erodibilidade de solos residuais não saturados. Porto Alegre: UFRGS, 1999. 336p. Tese Doutorado
- Cao, L.; Zhang, K.; Zhang, W. Detachment of road surface soil by flowing water. *Catena*, v.76, p.155-162, 2009. <http://dx.doi.org/10.1016/j.catena.2008.10.005>
- Casarin, R. D.; Oliveira, E. L. Controle de erosão em estradas rurais não pavimentadas, utilizando sistema de terraceamento com gradiente associado a bacias de captação. *Irriga*, v.14, p.548-563, 2009.
- Chow, V. T. *Open channel hydraulics*. New York: McGraw-Hill, 1986. 680p.
- Corrêa, C. M. C.; Cruz, J. Erosão real e estimada através de RUSLE em estradas florestais, em relevo ondulado a fortemente ondulado. *Revista Árvore*, v.34, p.587-595, 2010. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622010000400003>
- Corrêa, C. M. C.; Dedeczek, R. A. Erosão real e estimada através da rusle em estradas de uso florestais, em condições de relevo plano a suave ondulado. *Floresta*, v.39, p.381-391, 2009. <http://dx.doi.org/10.5380/RF.V39I2.14564>
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Banco de monitoramento por satélite. Banco de dados climáticos do Brasil - Resultados, 2003. <<http://www.bdclima.cnpm.embrapa.br/resultados/index.php>>. 12 Out. 2011.
- Foltz, R. B.; Rhee, H.; Elliot, W. J. Modeling changes in rill erodibility and critical shear stress on native surface roads. *Hydrological Processes*, v.22, p.4783-4788, 2008. <http://dx.doi.org/10.1002/hyp.7092>
- Forsyth, A. R.; Bubb, K. A.; Cox, M. E. Runoff, sediment loss and quality from forest roads in a southeast Queensland coastal plain Pinus plantation. *Forest Ecology and Management*, v.221, p.194-206, 2006. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2005.09.018>
- Fu, B.; Newham, L. T.; Ramos, F. E. A review of surface erosion and sediment delivery models for unsealed roads. *Environmental Modelling & Software*, v.25, p.1-14, 2010. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envsoft.2009.07.013>
- Gomez, E. A. Erodibilidade e tensão crítica de cisalhamento no canal de uma estrada não pavimentada situada em um Latossolo Vermelho-Amarelo. Viçosa: UFV, 2012. 74p. Dissertação Mestrado
- Grayson, R. B.; Haydon, S. R.; Jayasuriya, M. D. A.; Finlayson, B. L. Water quality in the mountainash forest: separating the impacts of roads from those of logging operations. *Journal of Hydrology*, v.150, p.459-480, 1993. [http://dx.doi.org/10.1016/0022-1694\(93\)90121-O](http://dx.doi.org/10.1016/0022-1694(93)90121-O)
- Griebeler, N. P.; Pruski, F. F.; Silva, J. M. A.; Ramos, M. M.; Silva, D. D. Modelo para a determinação do espaçamento entre desaguadouros em estradas não pavimentadas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.29, p.397-405, 2005a. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832005000300010>
- Griebeler, N. P.; Pruski, F. F.; Silva, J. M. A.; Ramos, M. M.; Silva, D. D. Equipamento para a determinação da erodibilidade e tensão crítica de cisalhamento do solo em canais de estradas. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.9, p.166-170, 2005b. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662005000200003>
- Inderbitzen, A. L. An erosion tests for soils. *Materials Research and Standards*, v.1, p.553-554, 1961.
- Klaveren, R. W. van; Mccool, D. K. Erodibility and critical shear of a previously frozen soil. *Transactions of the ASAE*, v.41, p.1315-1321, 1998. <http://dx.doi.org/10.13031/2013.17304>
- Knapen, A.; Poesen, J.; Govers, G.; Gyassels, G.; Nachtergaele, J. Resistance of soils to concentrated flow erosion: A review. *Earth-Science Reviews*, v.80, p.75-109, 2007. <http://dx.doi.org/10.1016/j.earscirev.2006.08.001>
- Koetz M.; Pruski, F.; Mehl, H. U.; daSilva, D.; Marques, E. A. Métodos para determinação da erodibilidade e da tensão crítica de cisalhamento em solos de estradas não pavimentadas. *Revista Engenharia na Agricultura*, v.17, p.110-119, 2009. <http://dx.doi.org/10.13083/1414-3984.v17n02a04>
- Laflen, J. M.; Elliot, W. J.; Simanton, J. R.; Holzhey, C. S.; Kohl, K. D. WEPP: Soil erodibility experiments for rangeland and cropland soils. *Journal of Soil and Water Conservation*. v.46, p.39-44, 1991.
- Oliveira F. P.; Silva, M. L.; Avanzi, J. C.; Curi, N.; Leite, F. P. Avaliação de perdas de solo em estradas florestais não pavimentadas no Valo do Rio Doce, Minas Gerais: *Scientia Forestalis*, v.38, p.331-339, 2010.
- Oliveira, J. F.; Griebeler, N. P.; Correchel, V.; Silva, V. C. Erodibilidade e tensão crítica de cisalhamento em solos de estradas não pavimentadas. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.13, p.955-960, 2009. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662009000700019>
- Pruski, F. F. Conservação de solo e água: Práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica. 2.ed. Viçosa: UFV, 2009. 279p.
- Ramos-Scharrón, C. E.; Macdonald, L. H. Measurement and prediction of sediment production from unpaved roads, St John, US Virgin Island. *Earth Surface Processes and Landforms*, v.30, p.1283 -1304, 2005. <http://dx.doi.org/10.1002/esp.1201>
- Ramos-Scharrón, C. E.; Macdonald, L. H. Measurement and prediction of natural and anthropogenic sediment sources, St John, US Virgin Island. *Catena*, v.71, p.250-266, 2007. <http://dx.doi.org/10.1016/j.catena.2007.03.009>
- Regazzi, J. A. Teste para verificar a identidade de modelos de regressão e igualdade de parâmetros no caso de dados de delineamentos experimentais. *Revista Ceres*, v.46, p.383-409, 1999.
- Schultz, K. M. Modeling road erosion in upper Torreón wash, New México. *Transportation Research Record*, v.2203, p.27-35, 2011. <http://dx.doi.org/10.3141/2203-04>
- Silva, D. P. Modelo de dimensionamento de bacias de acumulação em estradas. Viçosa: UFV, 2009, 57p. Dissertação Mestrado
- Zhang, Z.; Liu, S.; Dong, S.; Fu, W.; Cui, B. Spatio temporal analysis of different levels of road expansion on soil erosion distribution: A case study of Fengqing county, Southwest China. *Frontiers of Earth Science in China*, v.3, p.389-396, 2009. <http://dx.doi.org/10.1007/s11707-009-0058-9>
- Ziegler, A. D.; Giambelluca, T. W.; Sutherland, R. A. Erosion prediction on unpaved mountain roads in northern Thailand: Validation of dynamic erodibility modelling using KINEROS2. *Hydrological Processes*, v.15, p.337-358, 2001. <http://dx.doi.org/10.1002/hyp.96>
- Ziegler, A. D.; Sutherland, R. A. W.; Giambelluca, T. Partitioning total erosion on paved roads into splash and hydraulic components: The roles of interstorm surface preparation and dynamic erodibility. *Water Resources Research*, v.36, p.2787-2791, 2000. <http://dx.doi.org/10.1029/2000WR900137>