

# MÉTODOS PARA A DETERMINAÇÃO DA ERODIBILIDADE E DA TENSÃO CRÍTICA DE CISALHAMENTO DO SOLO EM ESTRADAS NÃO PAVIMENTADAS<sup>1</sup>

Marcio Koetz<sup>2</sup>, Fernando Falco Pruski<sup>3</sup>, Herony Ulisses Mehl<sup>4</sup>, Demetrius David da Silva<sup>5</sup>,  
Eduardo Antônio Gomes Marques<sup>6</sup>

## RESUMO

Este trabalho foi conduzido com a finalidade de determinar os valores de erodibilidade e de tensão crítica de cisalhamento do solo em um canal de estrada não pavimentada com base na metodologia desenvolvida por Griebeler e no ensaio de Inderbitzen. Os testes de campo foram realizados no canal desta estrada, sendo realizados para os horizontes A, B, C(residual maduro) e C(residual jovem) com a utilização do equipamento desenvolvido por Griebeler. Foram também retiradas amostras de solo deformadas e indeformadas destes horizontes para os testes de Inderbitzen. O horizonte C(residual jovem) foi o que apresentou as maiores erodibilidades e as menores tensões críticas de cisalhamento. O método de Griebeler mostrou-se como o mais adequado para a determinação da erodibilidade e da tensão crítica de cisalhamento do solo em todos os horizontes do solo estudados.

**Palavras -chave:** Inderbitzen, erosão em estradas, erosão hídrica.

## Methods to Estimate Soil Erodibility and the Stress on Unpaved Roads

### ABSTRACT

This study was done to estimate soil erodibility and the critical shear stress values of an unpaved road channel using the Griebeler's method and the Inderbitzen test. The field tests were carried out on a road channel for the horizons A, B, C(residual mature) and C(residual young) horizons using the equipment developed by Griebeler. Deformed and non-deformed soil samples of the horizons were removed for Inderbitzen tests. The horizon C(residual young) had the highest erodibilities and the lowest critical soil shear stress values. The Griebeler method was adequate to estimate soil erodibility and the critical shear stress for all of the soil horizons studied.

**Keywords:** Inderbitzen, road erosion, water erosion.

---

Recebido para publicação em 20/08/2007. Aprovado em 10/03/2009

1 Extraído da Dissertação de Mestrado apresentada pelo primeiro autor à Universidade Federal de Viçosa.

2 Doutor em Engenharia Agrícola, UFLA, Lavras, MG, marciokoetz@yahoo.com.br.

3 D.S., Prof. Titular, DEA, UFV, Bolsista do CNPq, Viçosa, MG, ffruski@mail.ufv.br, (31) 38991912

4 Doutor em Engenharia Agrícola, UFV, Viçosa, MG, heronymehl@hotmail.com

5 D.S., Prof. Adjunto, DEA, UFV, Bolsista do CNPq, Viçosa, MG, david@ufv.br, (31) 38991904

6 Professor do Departamento de Engenharia Civil, UFV. Viçosa, MG, emarques@ufv.br

## INTRODUÇÃO

As estradas não pavimentadas são de grande importância econômica e social na área rural, uma vez que o primeiro caminho percorrido para o transporte e comercialização da produção agrícola é o da propriedade rural ao sistema coletor (THOMAZ, 1984). O Brasil possui aproximadamente 1.725.000 km de estradas, sendo que as estradas de terra correspondem a mais de 90 % desta extensão (DNER, 2000).

As estradas não pavimentadas possuem expressivas taxas de desprendimento e arraste de partículas de solo. As perdas de solo associadas às estradas não pavimentadas no Estado de São Paulo são responsáveis por danos ao meio ambiente, poluindo e assoreando mananciais hídricos (ANJOS FILHO, 1998). Martins et al. (1997) ressaltam que as estradas não pavimentadas que não dispõem de drenagem adequada geralmente apresentam sérios problemas nas suas condições de tráfego nos períodos chuvosos.

Poucas são as metodologias disponíveis para o dimensionamento de sistemas de drenagem em estradas não pavimentadas. Uma destas, desenvolvida por Griebeler (2002), requer para a sua utilização o conhecimento da erodibilidade e da tensão crítica de cisalhamento do solo. A erodibilidade caracteriza a propriedade do solo que expressa a maior ou menor facilidade com que suas partículas são desprendidas por um agente erosivo, correspondendo à quantidade de solo desprendido por unidade de área, tempo e tensão aplicada (BASTOS, 1999), enquanto a tensão crítica de cisalhamento dos solos pode ser entendida como a máxima tensão que pode ser aplicada ao solo sem que haja desprendimento de suas partículas, estando esta associada diretamente ao escoamento da água.

Uma das principais metodologias para a determinação da erodibilidade e da tensão crítica de cisalhamento do solo é o ensaio de Inderbitzen (INDERBITZEN, 1961), que possibilita, de forma

simplificada, a variação da declividade e da vazão de escoamento, fatores de grande interferência no processo erosivo. Este ensaio de laboratório, pelo fato de requerer a remoção de amostras de solo indeformadas, acaba por induzir alterações na estrutura da amostra e, conseqüentemente, na sua resistência ao processo erosivo.

Outra metodologia disponível para a obtenção da erodibilidade e da tensão crítica de cisalhamento do solo é a desenvolvida por Griebeler (2002), que constitui na realização de ensaios no próprio local a ser estudado. Embora esta metodologia seja mais representativa das condições reais, apresenta restrições quanto à sua operacionalização, devido, principalmente, à necessidade de grande quantidade de mão-de-obra, de elevado volume de água e de requerer para a sua realização locais com grande declividade da estrada.

Tendo em vista a importância que representa a determinação da erodibilidade e da tensão crítica de cisalhamento do solo para o adequado dimensionamento de sistemas de drenagem em estradas não-pavimentadas desenvolveu-se o presente trabalho, que teve como objetivo a determinação e comparação dos valores da erodibilidade e da tensão crítica de cisalhamento do solo para o solo de um canal de estrada não pavimentada com base na metodologia desenvolvida por Griebeler (2002) e por Inderbitzen (1961).

## MATERIAL E MÉTODOS

A coleta de amostras para a realização dos testes de Inderbitzen, bem como para a execução dos testes de campo, foi feita em uma estrada não-pavimentada situada no campus da Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa, MG.

Os testes de campo foram realizados no canal desta estrada, sendo feitos para os horizontes A, B,  $C_{(residual\ jovem)}$  e  $C_{(residual\ maduro)}$  de um Latossolo Vermelho-Amarelo com utilização do equipamento

desenvolvido por Griebeler. O horizonte  $C_{(residual\ maduro)}$  corresponde ao horizonte em processo de intemperismo avançado, enquanto que o  $C_{(residual\ jovem)}$  apresenta ainda agregação entre

as partículas de solo, com vestígios da rocha matriz. No Quadro 1, são apresentadas as características físicas dos horizontes A, B,  $C_{(residual\ maduro)}$  e  $C_{(residual\ jovem)}$ .

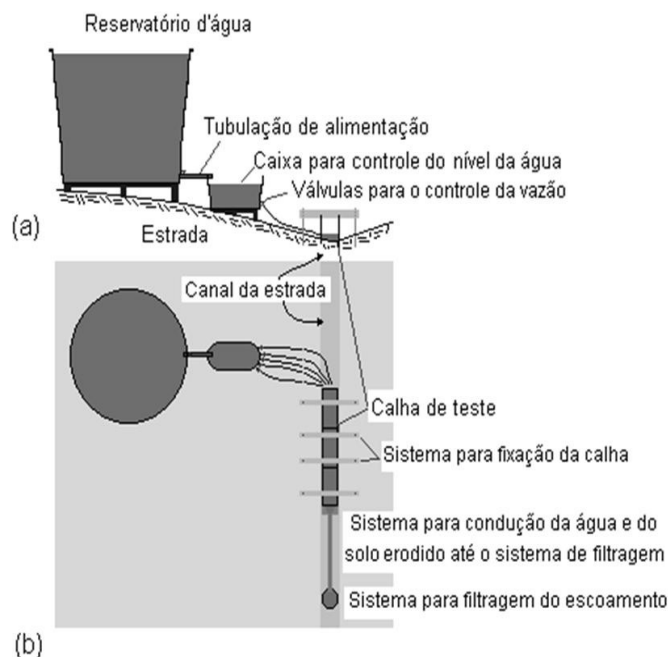
**Quadro1.** Características físicas do solo dos horizontes de um Latossolo Vermelho-Amarelo

Horizonte	Granulometria (dag kg <sup>-1</sup> )			$\rho^1$ kg dm <sup>-3</sup>	LL <sup>2</sup> %	LP <sup>3</sup> %	IP <sup>4</sup> %	Retido na peneira 200 %
	Areia	Silte	Argila					
A	47	4	49	1,45	43,6	23,7	19,8	55,1
B	42	7	51	1,40	60,0	27,8	32,1	39,8
$C_{residual\ jovem}$	55	28	17	1,58	34,3	20,0	15,6	58,5
$C_{residual\ maduro}$	61	11	28	1,42	36,5	20,8	14,2	50,8

7

O equipamento utilizado nos ensaios de campo foi desenvolvido por Griebeler (2002), e qual permite a realização dos testes diretamente nos canais de drenagem das estradas, possibilitando, portanto, a obtenção da tensão crítica de cisalhamento e da erodibilidade do solo em condições de campo (Figura 1). O equipamento é constituído de uma calha

construída com chapas metálicas que permitem a delimitação do trecho de canal a ser ensaiado, de um sistema para armazenamento e derivação de água e de um conjunto para coleta e filtragem da água. A água oriunda de um reservatório é conduzida, por meio de uma tubulação de alimentação, para uma caixa de controle do nível de água.



**Figura 1.** Representação esquemática do equipamento desenvolvido por Griebeler (2002) para a determinação da erodibilidade e da tensão crítica de cisalhamento do solo em estradas não pavimentadas. a) vista lateral; e b) vista superior

7 1) Massa específica do solo; 2) Limite de Liquidez; 3) Limite de Plasticidade e 4) Índice de Plasticidade.

Associados a esta caixa de controle do nível de água estão cinco válvulas de gaveta para o controle da vazão. A vazão liberada pelas válvulas de gaveta é conduzida, por meio de mangotes, a uma calha com fundo fechado em seu trecho inicial, escoando em seguida para o trecho em que ocorre o contato do escoamento com o leito do canal. Após percorrer este trecho, a água é novamente direcionada para um trecho da calha com fundo fechado. Após a passagem pela calha a água é conduzida, por meio de uma tubulação (sistema de condução), a caixas que permitem o seu armazenamento. A água destas caixas é então filtrada em peneira de malha 200 mm.

Foram realizados três testes no canal da estrada para cada um dos horizontes estudados (A, B, C<sub>(residual jovem)</sub> e C<sub>(residual maduro)</sub>), sendo que para a execução de cada teste, o equipamento foi deslocado de maneira que cada repetição fosse feita sobre um trecho de canal da estrada não alterado. Os testes foram realizados com o uso de cinco vazões correspondentes a 0,53 L s<sup>-1</sup>, 1,07 L s<sup>-1</sup>, 1,61 L s<sup>-1</sup>, 2,15 L s<sup>-1</sup> e 2,69 L s<sup>-1</sup>, aplicadas de maneira controlada em uma área confinada diretamente sobre a superfície do canal da estrada.

A água com os sedimentos foi passada em peneira de malha 200 mm. Após ter sido coletado todo o sedimento com dimensões superiores a 0,074 mm, incluindo os agregados, os sedimentos foram separados de acordo com a vazão aplicada, sendo analisados de forma independente. O sedimento coletado na peneira foi armazenado em recipiente próprio, para, posteriormente, ser conduzido ao laboratório, desagregado e, em seguida, novamente filtrado na mesma peneira. Isto se fez necessário para eliminar os agregados, deixando apenas o material desagregado com dimensões superiores a 0,074 mm.

Após o sedimento ser desagregado e filtrado novamente, o mesmo foi conduzido à estufa para secagem. O sedimento permaneceu na

estufa por um período de 24 h à temperatura de 105<sup>o</sup> C, sendo posteriormente pesado.

Para cada horizonte do solo do canal de drenagem da estrada foi obtida a curva granulométrica, a partir da qual obteve-se o percentual de material retido na peneira de malha 200 mm (Quadro 1). Com este valor procedeu-se, a partir da quantificação do solo erodido para cada vazão e retido na peneira de 0,074 mm, a estimativa do total de solo erodido, fazendo-se, para tanto, uma relação direta entre o total retido nesta peneira com o percentual que este representa no total obtido pela curva granulométrica.

Conhecendo-se a declividade, a vazão de água na entrada e a seção do canal, obteve-se a profundidade de escoamento utilizando a equação de Manning

$$y = \left( \frac{Q n}{\sqrt{I} B} \right)^{\frac{3}{5}} \quad (1)$$

em que

y = profundidade de escoamento (m);

Q = vazão (m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>);

n = coeficiente de rugosidade do canal (s m<sup>-1/3</sup>);

I = declividade (m m<sup>-1</sup>); e

B = base do canal (m).

A tensão cisalhante associada ao escoamento foi determinada pela equação

$$\tau_E = \frac{\gamma R_h S}{0,102} \quad (2)$$

em que

$\tau_E$  = tensão cisalhante associada ao escoamento (Pa);

$\gamma$  = peso específico da água (kgf m<sup>-3</sup>);

$R_h$  = raio hidráulico (m); e

S = declividade do canal (m m<sup>-1</sup>).



Os dados de perda de solo obtidos nos testes de campo foram plotados em gráficos relacionando a perda de solo ( $\text{g cm}^{-2} \text{min}^{-1}$ ) versus a tensão aplicada (Pa), sendo feito o ajuste de uma equação a este conjunto de pontos. A tensão crítica de cisalhamento do solo foi aquela correspondente à maior tensão cisalhante para a qual a perda de solo ainda foi nula.

A erodibilidade do solo foi obtida pelo coeficiente angular da equação de regressão ajustada a estes pontos. Para construção do gráfico visando a determinação da erodibilidade e da tensão crítica de cisalhamento do solo as perdas de solo pertinentes a uma dada tensão foram acumuladas com as perdas obtidas nas tensões anteriores.

O equipamento utilizado nos ensaios de laboratório (Figura 2) foi uma adaptação do aparelho de Inderbitzen, no qual, ao invés do uso de amostradores circulares foram utilizados amostradores quadrados (Figura 3) com lado de 137 mm e altura de 49 mm. Este equipamento possui um sistema articulado que permite variar a inclinação da rampa entre  $0^\circ$  e  $60^\circ$ .

Os testes de Inderbitzen foram realizados no Laboratório de Hidráulica do Departamento de Engenharia Agrícola. Amostras indeformadas e deformadas para a realização deste teste foram retiradas dos horizontes A, B,  $C_{(\text{residual jovem})}$  e  $C_{(\text{residual maduro})}$  do canal da estrada em estudo.

As amostras deformadas de solo foram compactadas, na umidade ótima de compactação, em um amostrador quadrado, sendo utilizados para tanto os mesmos horizontes citados anteriormente.

A densidade do solo no canal da estrada foi determinada no momento em que foram retiradas as amostras de solo indeformadas para amostradores, cujos valores para os devidos horizontes são apresentados no Quadro 1.



Figura 2. Aparelho de Inderbitzen.

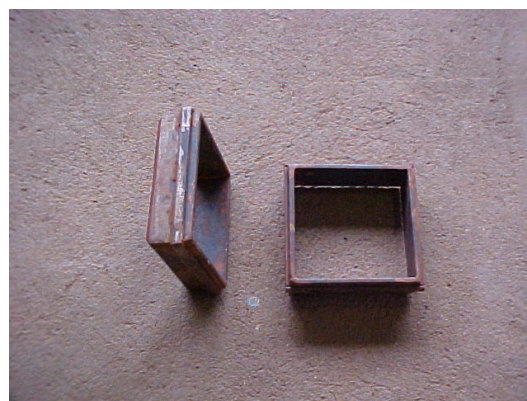


Figura 3. Amostrador quadrado utilizado nos testes.

As amostras retiradas no canal da estrada foram levadas para o laboratório e embaladas em saco plástico a fim de reduzir a perda da umidade que dispunham no campo. Para uniformizar a umidade do solo ensaiado todos os testes foram realizados após a saturação das amostras. Para a obtenção das amostras deformadas o solo foi previamente seco ao ar, destorroado e passado em peneira com malha de 2 mm.

A determinação do volume de água a ser acrescentado nas amostras de solo foi feita de forma que o solo atingisse a umidade ótima de compactação correspondente ao Ensaio de Proctor (ABNT).

As umidades ótimas de compactação obtidas foram de 19,4 % para o horizonte A, 21,5 % para o

horizonte B, 16,3 % para o horizonte  $C_{(residual\ maduro)}$  e 17,6 % para o horizonte  $C_{(residual\ jovem)}$ . A partir desses valores de umidade calculou-se o volume de água a ser acrescentado nas amostras de solo a serem compactadas.

Com a massa adequada de solo de cada horizonte colocada no amostrador realizou-se a compactação das amostras em uma prensa hidráulica. O processo de compactação foi finalizado no momento em que a placa de aço acoplada ao pistão atingiu a superfície do amostrador.

Para a realização dos ensaios de Inderbitzen, foram retiradas 10 amostras de solo indeformadas no campo para cada horizonte, totalizando 40 amostras estudadas. Para as amostras deformadas também se utilizou o mesmo número de amostras, totalizando 80 ensaios realizados no Inderbitzen.

A vazão utilizada em todos os testes realizados foi de  $155\text{ mL s}^{-1}$  ( $9,3\text{ L min}^{-1}$ ), sendo as declividades usadas de 2, 5, 7, 10 e 15 %. Para cada declividade foi utilizada uma amostra diferente, totalizando cinco amostras utilizadas para cada horizonte, e para cada uma destas foram realizadas duas repetições.

O material foi coletado pela peneira com 0,074 mm de abertura, nos intervalos de 5, 10, 15 e 30 minutos. Após o término do ensaio, os agregados foram quebrados e o material foi lavado de forma que restasse apenas a areia, a qual, após seca em estufa, foi pesada. Com o peso da areia se estimou, com o auxílio da curva granulométrica, a perda total de solo.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 4, são apresentadas, para o horizonte A, as curvas e equações ajustadas referentes aos valores médios de perda de solo em função das tensões aplicadas para os testes de campo e de Inderbitzen (amostras deformadas e indeformadas). Observa-se que nos ensaios de Inderbitzen com amostras deformadas o valor de erodibilidade média foi maior do que para as amostras indeformadas e para os testes de campo, sendo este 14,8 vezes maior que a erodibilidade média encontrada nos ensaios com amostras indeformadas e 1.017,4 vezes maior que o obtido nos testes de campo.

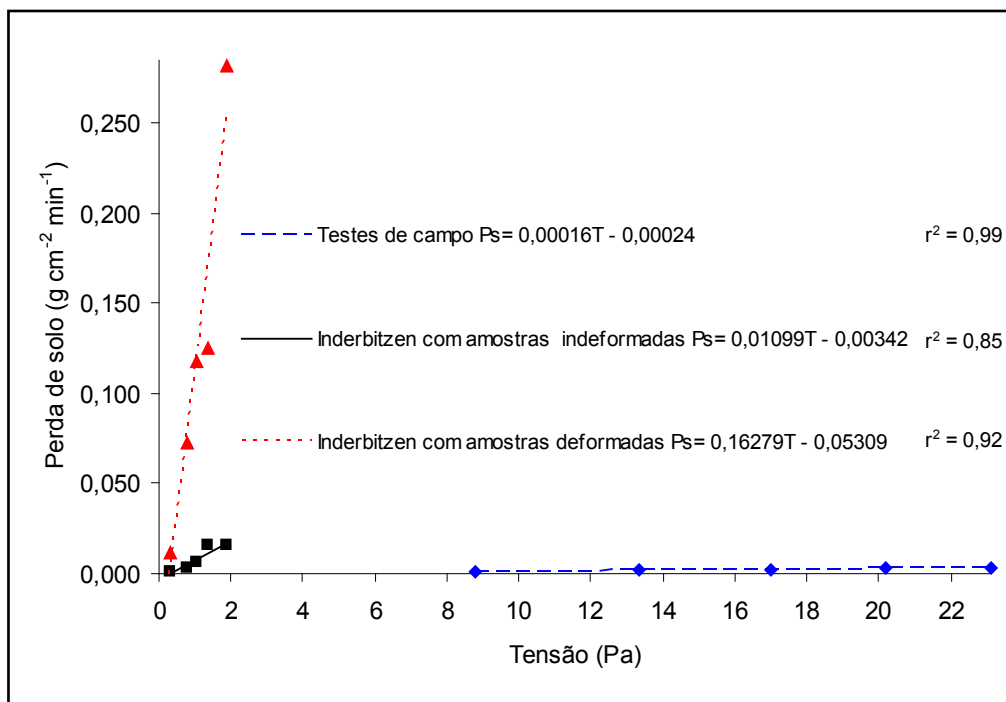


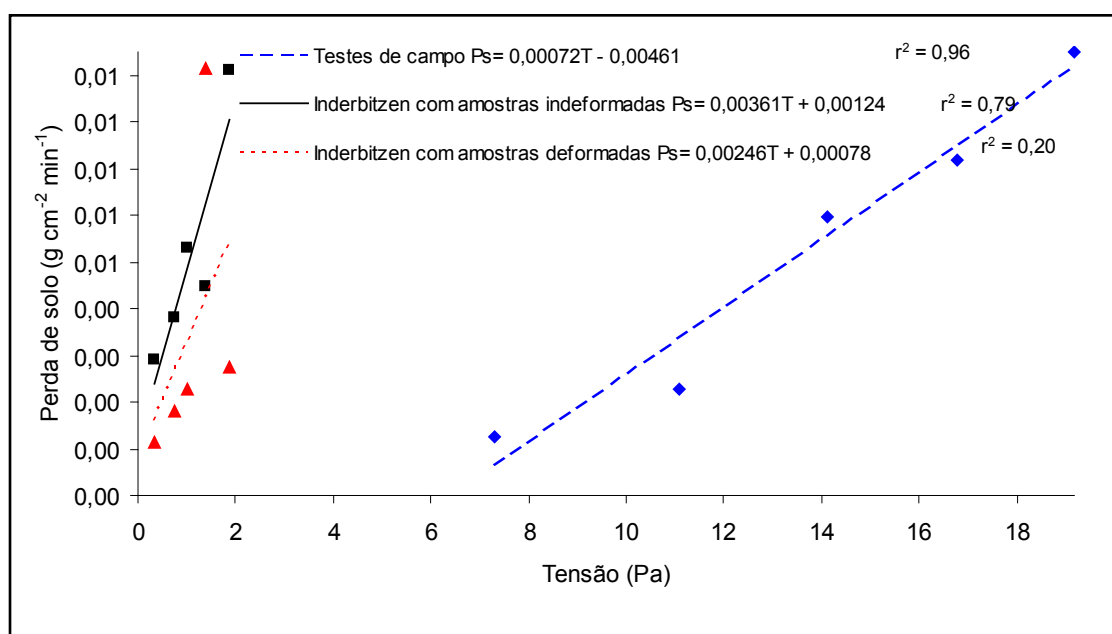
Figura 4. Perdas de solo para diferentes tensões aplicadas nos testes de campo e de Inderbitzen (horizonte A).

Observa-se, portanto, uma grande diferença entre o valor de erodibilidade encontrado no teste de campo e os obtidos nos testes de Inderbitzen realizados com amostra indeformada e, principalmente, com aqueles encontrados em amostra deformada. A superestimativa da erodibilidade média evidenciada nos testes de Inderbitzen em relação ao teste de campo decorre das modificações introduzidas nas amostras quando da sua retirada e manipulação.

No caso da amostra deformada o resultado de erodibilidade obtido demonstra que a compactação feita para o solo do horizonte A na umidade ótima de compactação, mesmo tendo permitido a

reprodução da densidade existente no campo, não lhe atribuiu a resistência ao cisalhamento existente na condição de campo. O valor médio de tensão crítica de cisalhamento para os testes de campo foi sempre superior ao dos testes de Inderbitzen, sendo que a máxima tensão cisalhante obtida nos testes de Inderbitzen não atingiu nem mesmo o valor obtido nos testes de campo.

Nas Figuras 5, 6 e 7, são apresentadas, para os horizontes B,  $C_{(residual\ maduro)}$  e  $C_{(residual\ jovem)}$ , respectivamente, as curvas e equações ajustadas referentes aos valores médios de perda de solo em função das tensões aplicadas obtidas nos testes de campo e de Inderbitzen.



**Figura 5.** Perdas de solo para diferentes tensões aplicadas nos testes de campo e de Inderbitzen (horizonte B).

Verifica-se na Figura 5, menor variabilidade entre os valores de erodibilidade obtidos pelos diferentes procedimentos experimentais utilizados em relação aquela constatada para o horizonte A, sendo evidenciada para as amostras submetidas ao ensaio de Inderbitzen maior resistência ao cisalhamento para os testes com amostras deformadas do que para aqueles realizados com amostras indeformadas.

Comparando-se os resultados obtidos nos testes de campo com os dos testes de Inderbitzen realizados com as amostras indeformadas verificou-se que

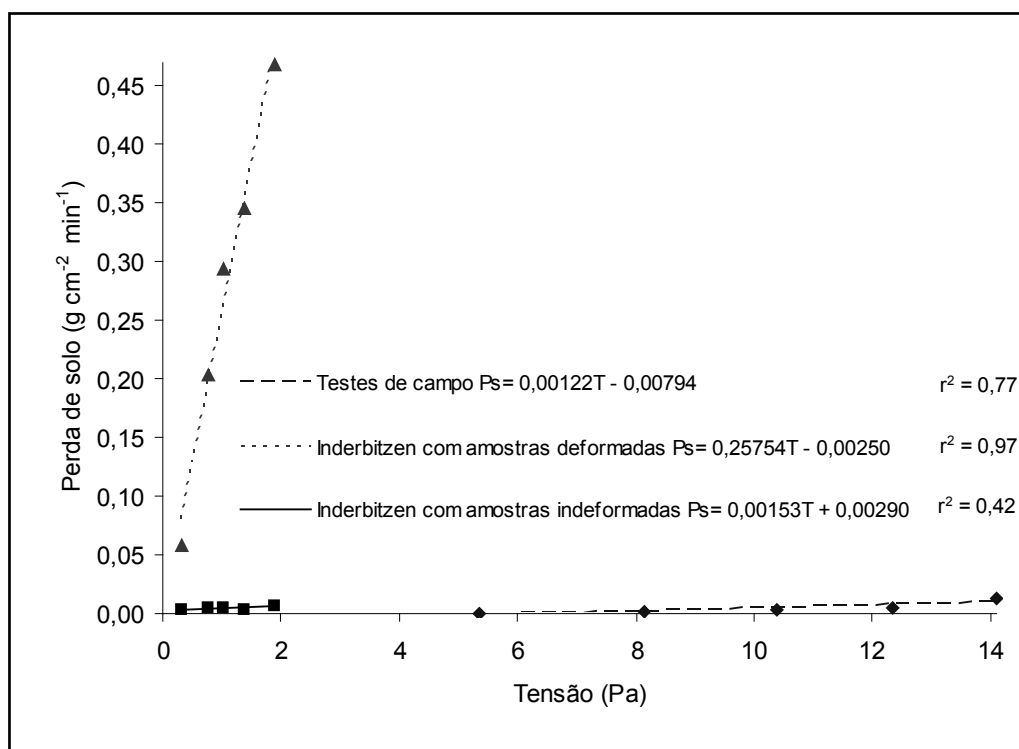
a erodibilidade média relativa ao horizonte B para os testes de Inderbitzen foi 5,0 vezes maior que a dos testes de campo (Quadro 2), o que caracteriza, novamente, a maior desagregação das partículas de solo no ensaio de Inderbitzen em relação ao teste de campo, superestimando também neste horizonte o valor de erodibilidade, embora não de forma tão acentuada quanto para o horizonte A.

A erodibilidade média do horizonte B obtida para as amostras deformadas foi 1,3 vezes menor que a das amostras indeformadas e 3,4 vezes maior que a obtida nos testes de campo.

Os valores da tensão crítica de cisalhamento relativos aos ensaios de Inderbitzen foram indeterminados (Figura 5), ou seja, não foi possível a sua determinação em virtude do fato de que pelo ajuste da equação de regressão o valor da tensão crítica de cisalhamento seria negativo, o que fisicamente seria incorreto. Tal comportamento pode ser justificado pela grande variabilidade existente entre as amostras de solo submetidas aos ensaios de Inderbitzen, o que fez com que, em certas ocasiões, as amostras submetidas às maiores tensões cisalhantes tivessem perdas de solo até mesmo menores que aquelas submetidas às menores tensões. Para o

teste de campo a tensão crítica de cisalhamento foi de 6,4 Pa.

Na Figura 6, observa-se que a erodibilidade média para as amostras deformadas foi 211,1 vezes maior em relação aos testes de campo e 168,3 vezes maior do que para as amostras indeformadas, sendo evidenciado, também para esta condição, que a compactação do solo com a umidade ótima não conferiu ao solo a resistência existente na condição natural. Na Figura 6, assim como nos testes de Inderbitzen realizados para o horizonte B, os valores de tensão crítica de cisalhamento foram negativos e não puderam ser determinados pelo ajuste da equação de regressão.

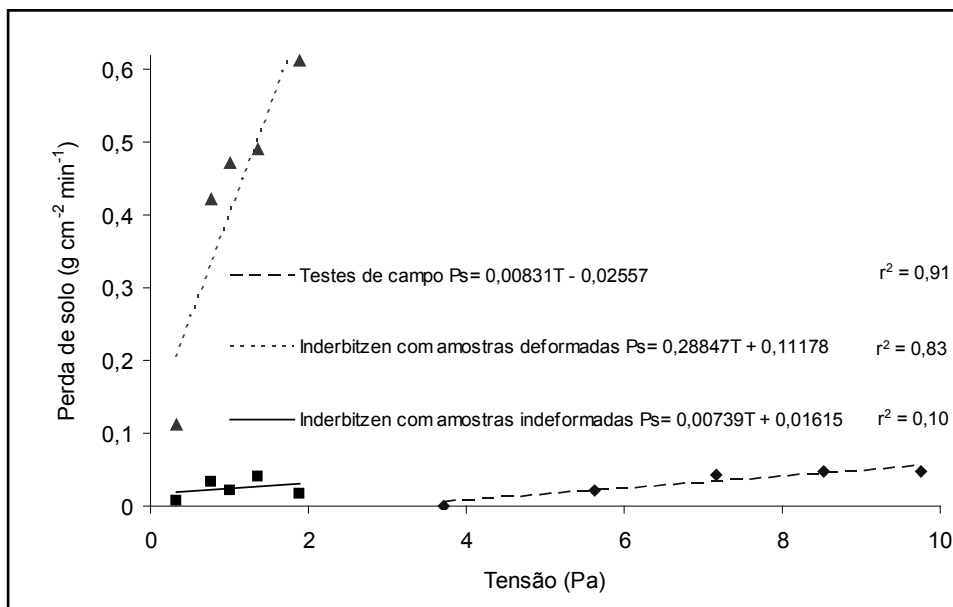


**Figura 6.** Perdas de solo para diferentes tensões aplicadas nos testes de campo e de Inderbitzen (horizonte C<sub>(residual maduro)</sub>).

Verifica-se na Figura 7 (horizonte C<sub>(residual jovem)</sub>), que nas amostras deformadas o valor de erodibilidade média foi maior do que nas amostras indeformadas e nos testes de campo, sendo 34,7 vezes maior que a encontrada nos testes de campo e 39,1 vezes maior em relação

às amostras indeformadas. O valor médio da tensão crítica de cisalhamento para os testes de campo foi de 6,7 Pa, enquanto que para os testes de Inderbitzen estes valores não puderam ser determinados pelo ajuste da equação da regressão.





**Figura 7.** Perdas de solo para diferentes tensões aplicadas nos testes de campo e de Inderbitzen (horizonte C<sub>(residual jovem)</sub>).

No Quadro 2, é apresentada uma síntese dos valores de erodibilidade obtidos para os quatro solos estudados e para os três tipos de testes realizados.

Pela comparação das erodibilidades obtidas para os quatro horizontes estudados, evidencia-se que os maiores valores foram encontrados, em geral, para o horizonte C<sub>(residual jovem)</sub>, oscilando os menores valores de erodibilidade conforme o tipo de ensaio considerado.

As menores erodibilidades foram obtidas, em geral, nos testes de campo, chegando estas a apresentarem magnitudes até 68,7 vezes inferiores que àquelas encontradas nos ensaios de Inderbitzen com amostras indeformadas (horizonte A). Para os demais horizontes as diferenças foram menores,

sendo estas ainda expressivas para o horizonte B (correspondentes a 5,0 vezes) e bem menores para os demais horizontes, correspondendo a 1,3 vezes para o solo C<sub>(residual maduro)</sub> e a 0,9 vezes para o solo C<sub>(residual jovem)</sub>.

O valor de erodibilidade obtido para o horizonte B no método de campo ( $K = 0,00072 \text{ g cm}^{-2} \text{ min}^{-1} \text{ Pa}^{-1}$ ) apresenta-se próximo ao valor apresentado por Morfin et al. (1996), para solo argiloso ( $0,0012 \text{ g cm}^{-2} \text{ min}^{-1} \text{ Pa}^{-1}$ ); todavia, o valor de erodibilidade obtido para o horizonte C<sub>(residual maduro)</sub> foi igual ao obtido pelo mesmo autor. Este fato pode estar relacionado à variação da compactação ao longo do canal que estava próximo ao leito da estrada, compactação esta, devido ao trânsito de veículos.

**Quadro 2.** Erodibilidade (K) e tensão crítica de cisalhamento (T) em quatro horizontes determinadas por 3 métodos

Método	Horizonte							
	A		B		C (residual maduro)		C (residual jovem)	
	K	T	K	T	K	T	K	T
Campo (C)	0,00016	1,5	0,00072	6,5	0,00122	6,7	0,00831	3,0
Amostra indeformada (IAI)	0,01099	0,32	0,00361	-	0,00153	-	0,00739	-
Amostra deformada (IAD)	0,16279	0,34	0,00246	-	0,25754	0,01	0,28847	-
Relação(IAD/C)	68,7	0,21	5,0	-	1,3	-	0,9	-
Relação(IAD/C)	1.017,4	0,23	3,4	-	211,1	0,001	34,7	-
Relação(IAD/IAI)	14,8	1,06	0,7	-	168,3	-	39,0	-

A elevada tensão crítica de cisalhamento obtida para o horizonte B e C no método de campo (residual maduro), de 6,5 Pa e 6,7 Pa, respectivamente, pode estar relacionado à variação da compactação ao longo do canal, muito superior àquela apresentada por Morfin et al. (1996) para condição de solo argiloso (1,5 Pa).

Para o horizonte A (método de campo) obteve-se um valor de tensão crítica de cisalhamento de 1,5 Pa, igual ao de Morfin et al. (1996). O mesmo valor obtido pode estar relacionado ao elevado teor de argila e também pelo fato de apresentar um nível menor de compactação do solo.

As diferenças observadas entre os valores de erodibilidade quando da comparação dos ensaios de campo com os ensaios de Inderbitzen realizados com amostras deformadas foram, em geral, superiores às observadas quando da comparação dos testes de campo com os testes de Inderbitzen com amostras indeformadas, sendo as erodibilidades obtidas por este último teste de 5,0 (horizonte B) a 68,7 vezes (horizonte A) superiores às obtidas nos testes de campo.

Para os testes de Inderbitzen realizados com amostras deformadas e indeformadas as proporções variaram de 0,68 a 168, sendo as erodibilidades obtidas nos testes com amostras deformadas, em geral, bastante superiores às obtidos com amostras indeformadas.

## CONCLUSÕES

- O horizonte C<sub>(residual jovem)</sub> foi o que apresentou a menor resistência ao cisalhamento, as maiores erodibilidades e as menores tensões críticas de cisalhamento devido a menor proporção de argila enquanto o horizonte B apresentou os menores desvios da erodibilidade entre os métodos estudados, associados aos maiores teores de argila; e
- O método de campo proposto por Griebeler mostrou-se mais adequado para a obtenção da erodibilidade e da tensão crítica de cisalhamento do solo em todos os horizontes estudados.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANJOS FILHO, O. **Estradas de terra**. O Estado de São Paulo, São Paulo, 29 abr. 1998.

BASTOS, C. A. B. **Estudo geotécnico sobre a erodibilidade de solos residuais não saturados**. Porto Alegre: UFRGS, 1999. 256p. (Tese de doutorado)

DNER. **Anuário estatístico dos Transportes**. In: [www.dner.gov.br](http://www.dner.gov.br). Acesso em 10 mar. 2007

GRIEBELER, N. P. **Modelo para o dimensionamento de redes de drenagem e de bacias de acumulação de água em estradas não pavimentadas**. Viçosa: UFV, 2002. 122p. (Tese de doutorado)

INDERBITZEN, A. L. **An erosion test for soils**. Materials Research & Standards, v. 1, n. 7, Technical Note, p. 553-554, 1961.

MARTINS, M. C.; SILVA, RODRIGUES, J. K.; FELEX, FERNANDEZ, J.; MELO, A. R.; ODA, S. **Urbanização, drenagem e pavimentos**. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE PAVIMENTAÇÃO DE RODOVIAS DE BAIXO VOLUME DE TRÁFEGO (SINBATRA), 1, 1997, Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro: ABPv, 1997. p. 137-149.

MORFIN, S.; ELLIOT, W.; FOLTZ, R.; MILLER, S. **Predicting effects of climate, soil, and topography on road erosion with the WEPP model**. In: ANNUAL INTERNATIONAL MEETING, 1996, Proceeding, Phoenix, American Society of Agriculture Engineering, 1996.

THOMAZ, C. A. **Pavimentação de estradas vicinais**. São Paulo: ABCP, 1984. 58p.