

DEFINIÇÃO DAS TENSÕES NORMAIS PARA REALIZAÇÃO DO ENSAIO DE CISALHAMENTO DIRETO EM SOLOS AGREGADOS.

J. A. Braidajá¹; J. M. Reichert², e J. M. D. Soares³, D. J. Reinert²

1. CEFET-PR – Unidade Sudoeste, Pato Branco, PR. braidajaja@pb.cefetpr.br.

2. UFSM – Centro de Ciências Rurais – Depto. de Solos, Santa Maria, RS.

3. UFSM – Centro de Tecnologia – Depto. de Transportes, Santa Maria, RS.

A determinação dos parâmetros do cisalhamento pode ser útil, na agricultura, para a avaliação da capacidade de suporte e da resistência à tração do solo e, conseqüentemente, na definição de máquinas e equipamentos mais apropriados para o manejo do mesmo; como indicador do estado de compactação; na avaliação da susceptibilidade ao voçorocamento e, portanto, no estudo de técnicas que visem a estabilidade de taludes.

A resistência ao cisalhamento do solo pode ser expressa pela equação de Coulomb ($\tau = c + \sigma g \phi$), que define a envoltória de resistência ao cisalhamento do solo. Nessa equação, os parâmetros c e ϕ representam, respectivamente, a coesão entre as partículas do solo e o coeficiente de atrito entre as mesmas. Esses parâmetros são características intrínsecas do solo, pois são dependentes de outras propriedades e atributos seus, como a textura, a estrutura, o teor de matéria orgânica, a densidade, a mineralogia e o conteúdo de água.

Para solos agregados, a envoltória de Mohr do solo pode ser dividida em dois segmentos, com declividades e interceptos diferentes e, segundo Lebert & Horn (1991), isso está relacionado à resistência dos agregados do solo. Uma primeira envoltória mais inclinada e com intercepto menor, representaria a envoltória de ruptura definida pelo atrito e coesão interagregados (maior atrito e menor coesão), enquanto que a segunda envoltória seria definida pelo atrito e coesão intraagregados (menor atrito e maior coesão), que só se manifestariam quando os agregados são rompidos, ou seja, quando se empregam tensões normais maiores que a resistência dos agregados.

Portanto, as tensões normais utilizadas no ensaio de cisalhamento direto podem interferir no resultado final obtido, o que, muitas vezes, pode levar a interpretações equivocadas sobre outros efeitos que se queira investigar. Braidajá (2004) ao avaliar os parâmetros do cisalhamento em um Nitossolo Vermelho distrófico (78,7% de argila), utilizou tensões normais de 48,9, 98,2 e 196,4 kPa, obtendo ângulos de atrito interno médios de 35,1, 39,3, e 38,6 graus, respectivamente para amostras com umidade equilibrada nas tensões de 6, 100 e 500 kPa. Esses valores são relativamente altos para um solo argiloso, sendo inclusive superiores aos observados em amostras de um Argissolo Vermelho Amarelo arênico (62,9% de areia) avaliado nas mesmas condições de umidade. O autor sugere, à luz das observações

de Lebert & Horn (1991), que isso possa ser explicado pelo fato do Nitossolo estudado se caracterizar por apresentar, na camada superficial, uma estrutura pequena e forte, formada por pequenos agregados granulares muito resistentes e com superfície rugosa, algumas vezes descrita como “grumosa”. Assim, é possível que as tensões normais empregadas nos ensaios não tenham sido suficientes para quebrar esses agregados, o que explicaria os elevados ângulos de atrito interno observados.

O presente estudo foi realizado com o objetivo de avaliar se a envoltória de resistência ao cisalhamento de um solo agregado pode ser subdividida em vários segmentos, com coeficientes angulares diferentes, e se isso está relacionado à existência de agregados no mesmo.

O estudo foi realizado com amostras superficiais de um Nitossolo Vermelho distrófico de textura argilosa, coletadas na Estação Experimental da EPAGRI, no município de Campos Novos – SC. Foram coletados 2 conjuntos de 7 amostras com estrutura preservada, em caixas metálicas (2x5x5 cm), totalizando 14 amostras, que depois tiveram sua umidade equilibrada na tensão de 500 kPa (placa cerâmica) e submetidas ao ensaio de cisalhamento direto, no qual se empregaram pressões normais de 24,4; 48,9; 98,2; 196,4; 294,6; 392,8 e 491,8 kPa. Coletou-se, também, uma amostra com estrutura deformada que, depois de seca ao ar, foi peneirada separando-se agregados pertencentes às seguintes classes de diâmetro: < 0,25; 0,25 – 0,50, 0,50 – 1,00; 1,00 – 2,00 e 2,00 – 4,00 mm. Esses agregados foram umedecidos com cerca de 30% de água, buscando atingir uma umidade semelhante à umidade média observada nas amostras com estrutura preservada e submetidas à tensão de 500 kPa. Com esses agregados foram realizados ensaios de cisalhamento direto, empregando-se pressões normais de 24,4; 48,9; 73,5; 147,3; 294,6; 441,9; 589,2 e 736,6 kPa. Para cada pressão normal, utilizou-se uma porção de 72 g de agregados úmidos, colocados diretamente na caixa do aparelho de cisalhamento. A velocidade de deslocamento horizontal empregada, em todos os ensaios, foi de 0,25 mm min⁻¹, com um deslocamento horizontal máximo de 15 mm. As cargas normais foram aplicadas 5 minutos antes de iniciar efetivamente o ensaio de cisalhamento. Os parâmetros de resistência ao cisalhamento, coesão e ângulo de atrito interno, foram calculados conforme proposto por Lambe & Witman (1979), porém, verificando a existência de segmentos com coeficientes angulares diferentes, de acordo com o proposto por Lebert & Horn (1991).

Os resultados dos ensaios são mostrados na Figura 1, onde se observa claramente a existência de dois segmentos nas envoltórias obtidas. O primeiro segmento compreende pressões normais de até 300 kPa e o segundo, pressões normais iguais ou superiores a esse

valor (Figura 1). Segundo Lebert e Horn (1991), a pressão normal correspondente ao ponto de inflexão da envoltória, ponto de cruzamento do primeiro com o segundo segmento, seria a resistência dos agregados do solo. Quando se utilizam cargas normais menores que esse valor, os agregados permanecem intactos e a envoltória é definida pelo atrito e a coesão entre os mesmos, resultando em um ângulo de atrito maior, em função da rugosidade superficial e do tamanho dos agregados, e em uma coesão menor, já que o número de pontos de contato e a força das ligações nesses pontos são menores do que nos espaços intraagregados. Quando se aplicam pressões normais maiores que a resistência dos agregados, esses se rompem e a envoltória de cisalhamento passa a ser definida pela coesão e atrito entre as partículas primárias do solo. Nesse caso a coesão é maior, em função da maior interação entre as partículas primárias, e o ângulo de atrito interno é menor devido à reduzida rugosidade e ao menor tamanho das partículas (Lebert e Horn, 1991).

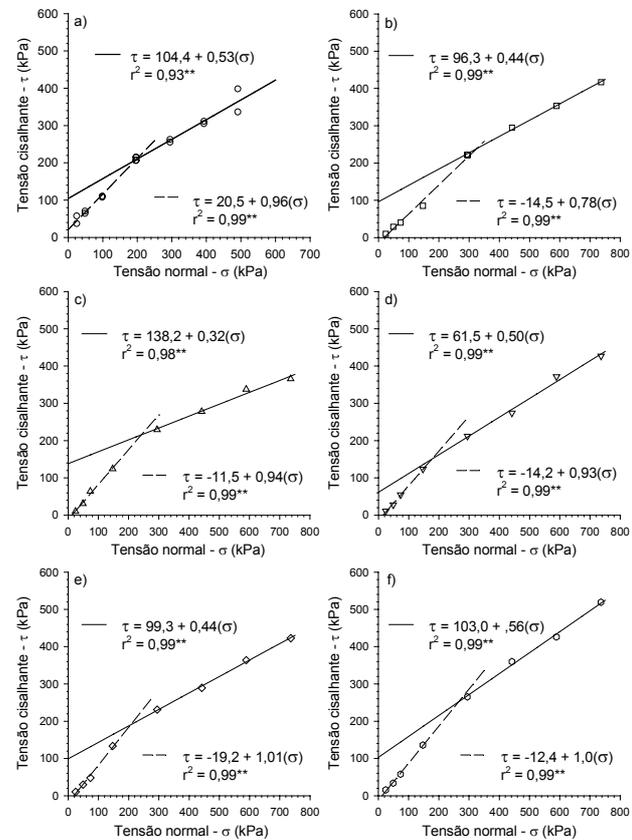


Figura 1. Envoltória de resistência ao cisalhamento de um Nitossolo Vermelho distrófico, em amostras com estrutura preservada (a) e em amostras de agregados de diferentes classes de tamanho: b) <math>< 0,25</math> mm; c) $0,25$ a $0,50$ mm; d) $0,50$ a $1,00$ mm; e) $1,00$ a $2,00$ mm; e f) $2,00$ a $4,00$ mm.

Visualmente, observando-se fotos da superfície de ruptura das amostras submetidas ao ensaio de cisalhamento (Figura 2), verifica-se que nas pressões menores (25 e 75 kPa) a superfície de cisalhamento ainda mostra uma rugosidade determinada pelos agregados, enquanto que nas pressões maiores isso não acontece, especialmente naquelas maiores que 300 kPa. Nas maiores pressões, a fricção produziu uma orientação das partículas de argilas, tornando a superfície de cisalhamento espelhada, em função da orientação das partículas de argila, confirmando que nessa situação ocorre atrito entre partículas primárias do solo.

Na Tabela 1 são apresentados os valores de coesão e do ângulo de atrito interno inter e intraagregados e, ainda, a resistência dos agregados, estimados conforme Lebert & Horn

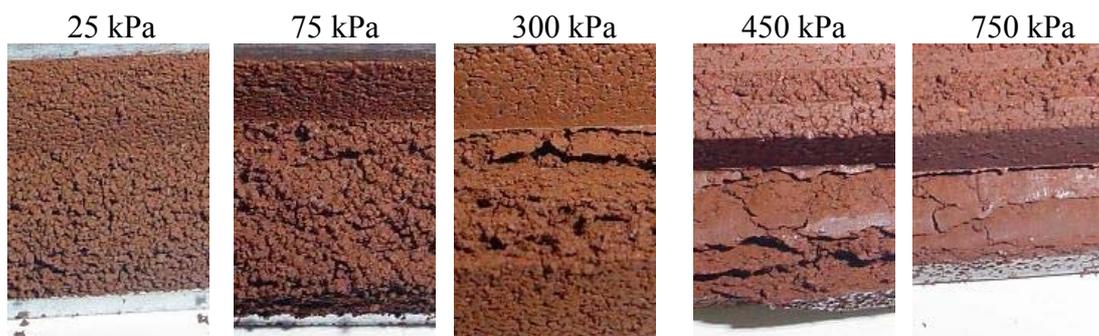


Figura 2. Imagens da superfície de ruptura de amostras de agregados submetidas ao ensaio de cisalhamento direto com cargas de 25, 75, 300, 450 e 750 kPa (Escala aproximada 1:1).

Tabela 1. Coesão (c) e ângulo de atrito interno (ϕ) inter e intraagregados e resistência dos agregados (R) de um Nitossolo Vermelho distrófico, determinados a partir de amostras com estrutura não deformada e de agregados de 5 classes de tamanho.

Agregados (mm)	Ug g g ⁻¹	Argila g kg ⁻¹	Interagregados		intraagregados		R (kPa)
			c (kPa)	ϕ °	c (kPa)	ϕ °	
< 0,25	0,314	797	0	37,9	96,3	23,6	324,3
0,25 – 0,50	0,313	793	0	43,1	138,2	17,7	242,8
0,50 – 1,00	0,294	805	0	43,0	61,5	26,7	176,9
1,00 – 2,00	0,304	794	0	45,4	99,3	23,8	206,5
2,00 – 4,00	0,289	769	0	44,9	103,0	29,3	265,9
Média	0,303		0	43,0	99,7	24,3	243,3
Solo	0,294	787	20,5	43,7	104,4	27,9	196,7

(1991). Esses resultados corroboram as observações desses autores e confirmam que os agregados do solo podem estar influenciando, de maneira significativa, sua envoltória de resistência ao cisalhamento.

Os resultados indicam que, para o Nitossolo Vermelho distrófico usado neste estudo, a agregação deve ser considerada na definição das cargas normais a serem utilizadas no ensaio de cisalhamento direto, bem como na análise dos resultados, pois a mesma tem efeitos sobre a envoltória de resistência ao cisalhamento. Os ensaios aqui avaliados indicam que os agregados definem a resistência ao cisalhamento desse solo para cargas de até 300 kPa, dependendo da umidade do solo.

Literatura Citada

- BRAIDA, J. A. **Matéria orgânica e resíduos vegetais na superfície do solo e suas relações com o comportamento mecânico do solo sob palntio direto**. 2004. 107f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS.
- LAMBE, T.W. & WHITMAN, R.V. **Soil Mechanics, SI Version**. New York, J. Wiley & Sons. 1979. 553p. (Series in soil engineering)
- LEBERT, M. & HORN, R. A method to predict the mechanical strength of agricultural soils. **Soil Tillage Res.**, 19:275-286, 1991.