



Revista Brasileira de Ciência do Solo

ISSN: 0100-0683

revista@sbcs.org.br

Sociedade Brasileira de Ciência do Solo
Brasil

ROCHA, W. W.; DIAS JUNIOR, M. S.; LIMA, J. M.; MIRANDA, E. E. V.; SILVA, A. R.
RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO E GRAU DE INTEMPERISMO DE CINCO SOLOS NA REGIÃO
DE LAVRAS (MG)

Revista Brasileira de Ciência do Solo, vol. 26, núm. 2, 2002, pp. 297-303

Sociedade Brasileira de Ciência do Solo

Viçosa, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=180218325003>

- Como citar este artigo
- Número completo
- Mais artigos
- Home da revista no Redalyc

redalyc.org

Sistema de Informação Científica

Rede de Revistas Científicas da América Latina, Caribe, Espanha e Portugal

Projeto acadêmico sem fins lucrativos desenvolvido no âmbito da iniciativa Acesso Aberto

RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO E GRAU DE INTEMPERISMO DE CINCO SOLOS NA REGIÃO DE LAVRAS (MG)⁽¹⁾

**W. W. ROCHA⁽²⁾, M. S. DIAS JUNIOR⁽³⁾, J. M. LIMA⁽³⁾,
E. E. V. MIRANDA⁽⁴⁾ & A. R. SILVA⁽⁴⁾**

RESUMO

Atualmente os parâmetros da resistência ao cisalhamento dos solos podem ser uma ferramenta muito útil na estabilização de taludes e recuperação de voçorocas, bem como na adoção de práticas mecânicas de conservação para os solos agrícolas. Com o objetivo de avaliar a resistência ao cisalhamento de cinco solos da região de Lavras (MG) e sua relação com o grau de intemperismo, realizou-se um experimento, utilizando uma prensa de cisalhamento direto, a qual permite ensaiar amostras indeformadas de solos. Essas amostras foram coletadas na profundidade de 0-0,03 m e submetidas ao ensaio de cisalhamento, para a definição das envoltórias de resistência e obtenção da coesão aparente (c) e o ângulo de atrito interno (ϕ). Observou-se que c , de forma geral, foi maior para solos que apresentaram maior densidade, umidade a $-0,01$ MPa e maior teor de areia. Os valores de (ϕ) foram maiores nos solos com maiores teores de argila. O Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico (LVAd) e o Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico típico (PVAd), com densidades do solo, teores de areia e umidade a $-0,01$ MPa maiores, apresentaram maiores resistências ao cisalhamento em relação ao Latossolo Vermelho distrófico (LVd), Cambissolo Háplico Tb distrófico (CXbd) e Latossolo Vermelho distroférico (LVdf), que apresentaram maiores teores de argila e matéria orgânica. Para a classe dos Latossolos, a resistência ao cisalhamento foi maior onde os índices K_i e K_r foram mais elevados, graças à estrutura em blocos apresentada pelo LVAd, que condicionou maior resistência ao cisalhamento. Do ponto de vista da resistência ao cisalhamento, os solos LVAd e PVAd mostraram-se mais resistentes a voçorocamento e ao preparo do solo.

Termos para indexação: conservação do solo, estrutura, textura, densidade do solo, erosão.

⁽¹⁾ Recebido para publicação em fevereiro de 2001 e aprovado em fevereiro de 2002.

⁽²⁾ Doutorando no Departamento de Ciência do Solo, Universidade Federal de Lavras – UFLA. Caixa Postal 37, CEP 37200-000 Lavras (MG). Bolsista do CNPq. E-mail: www@ufla.br

⁽³⁾ Professor Adjunto IV/DCS, UFLA. Bolsista do CNPq. E-mails: msousadj@ufla.br; jmlima@ufla.br

⁽⁴⁾ Mestrando no Departamento de Ciência do Solo, UFLA.

SUMMARY: *SHEAR STRENGTH AND WEATHERING RATE OF FIVE SOILS IN THE REGION OF LAVRAS, MINAS GERAIS STATE, BRAZIL*

Knowledge on soil shear strength can actually be a very useful tool for the control of slope and gully erosion, as well as for the introduction of mechanical conservation practices in agricultural soils. In order to evaluate the shear strength of five soils in the region of Lavras (MG) and its relation with the weathering rate, an experiment was carried out, using a direct shear machine which allows the collection of undisturbed soil samples. These samples were collected at a depth between 0 and 0.03 m and subjected to the shear strength treatment for the definition of rupture line and the obtainment of the apparent cohesion (c) and the internal friction angle (ϕ). In general, c was higher in soils which presented a higher density, humidity/moisture at -0.01 MPa and a higher sand content. The (ϕ) values were higher in soils with higher clay contents. The dystrophic Red-Yellow Latosol (dRYL) and the typical dystrophic Red-Yellow Utisol (tdRYU) with greater soil densities, sand contents and moisture at -0.01 MPa, presented higher shear strength than the dystrophic Red Latosol (dRL), dystrophic Inceptisol (dI) and distroferic Red Latosol (dRL), which contained higher contents of clay and organic matter. For Latosols, the soil shear strength was higher where K_i and K_r indices increased, due to the block structure of the dRYL, causing elevated shear strength. In relation to shear strength, the dRYL and the tdRYU proved to be more resistant to gully erosion and tillage practices.

Index terms: soil conservation, structure, texture, bulk density, erosion.

INTRODUÇÃO

A carência de informações sobre os parâmetros de resistência ao cisalhamento dos solos agrícolas e suas relações com as demais propriedades dos solos têm limitado o desenvolvimento de técnicas que visem à estabilidade de taludes de terra, principalmente no caso de voçorocas. Durante o processo de evolução das voçorocas, seus taludes podem sofrer ruptura mecânica, segundo uma superfície de falhamento. Esta superfície apresenta, em todos os seus pontos, tensão de cisalhamento no limite da resistência ao cisalhamento (Vargas, 1989). Na agricultura, o estudo da resistência ao cisalhamento pode auxiliar na determinação da capacidade de suporte de carga dos solos e, conseqüentemente, na especificação do maquinário e implemento mais adequado ao sistema de manejo (Ohu et al., 1986).

A resistência ao cisalhamento dos solos pode ser expressa pela equação de Coulomb, $\tau = c + \sigma_n \operatorname{tg}\phi$ (Vargas, 1989), em que τ é a máxima pressão cisalhante suportada pelo solo, σ_n é a tensão normal a que a superfície de falhamento está submetida, c é o intercepto de coesão ou coesão aparente do solo e ϕ é o ângulo de atrito interno do solo, definido como sendo o ângulo que a força normal faz com a resultante das forças que o maciço terroso está submetido. Esta equação define a envoltória de resistência, que é a linha-limite de resistência dos solos, ou seja, qualquer força cisalhante que esteja acima desta linha promoverá a ruptura do solo. Os parâmetros c e ϕ são características intrínsecas dos solos (Benjamin & Cruse, 1985), e se σ_n for nulo, a

expressão $\sigma_n \operatorname{tg}\phi$ será nula e a resistência ao cisalhamento do solo será dependente apenas do intercepto de coesão.

Pelo fato de as partículas de areia, principalmente as de menor tamanho, quando submetidas a forças externas, ocuparem mais facilmente os espaços vazios do solo, aumentando, assim, a área de contato entre agregados e, solos com maiores quantidades de areia, onde as partículas não apresentem uma distribuição uniforme quanto ao tamanho, tendem a apresentar maior resistência ao cisalhamento, (Ortigão, 1995). No caso de solos argilosos, o estudo da resistência ao cisalhamento torna-se mais complexo, pelo fato de ser a argila a fração mais ativa do solo, e os processos físicos e químicos, tais como: sucessivas arações e gradagem, flutuação do lençol freático através de drenagens, adubações fosfatadas e calagem, que atuam no sentido de aumentar ou reduzir o contato entre partículas do solo, conseqüentemente, aumentarão ou reduzirão a resistência ao cisalhamento (Terzaghi et al., 1997).

A resistência ao cisalhamento do solo pode também ser usada como um indicador de compactação do solo (Ayers & Perumpral, 1982; Schjonning, 1991). Em geral, os solos mais compactados apresentam maior resistência ao cisalhamento (Azevedo, 1999), mediante a menor distância entre as partículas, o que lhes confere, conseqüentemente, menor índice de vazios e requer maior esforço para prepará-los para o cultivo.

A umidade e o teor de matéria orgânica podem influenciar a resistência ao cisalhamento do solo, de

forma que, em solos com baixos valores de umidade, a matéria orgânica tende a reduzir a resistência ao cisalhamento, dependendo da menor densidade do solo conferida por ela (Ekwue & Stone, 1995). Assim, a resistência ao cisalhamento dos solos é uma variável importante na caracterização das alterações estruturais do solo (Cruse & Larson, 1977; Davies, 1985; Gantzer et al., 1987).

Os objetivos deste trabalho foram: (a) avaliar a resistência ao cisalhamento de cinco classes de solos da região de Lavras (MG), (b) relacionar estas informações com o grau de intemperismo desses solos.

MATERIAL E MÉTODOS

Este estudo foi desenvolvido em amostras das seguintes classes de solos: Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico (LVAd) A moderado textura argilosa fase floresta tropical subcaducifólia relevo suave ondulado; Latossolo Vermelho distrófico (LVd) A moderado textura argilosa fase cerrado relevo suave ondulado; Latossolo Vermelho distroférrico (LVdf) textura argilosa fase floresta tropical subperenefólia relevo suave ondulado; Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico típico (PVAd) A moderado textura média/argilosa fase floresta tropical subcaducifólia relevo ondulado e Cambissolo Háplico Tb distrófico típico (CXbd) A moderado textura média fase floresta subcaducifólia relevo forte ondulado, todos localizados na região de Lavras (MG). Utilizou-se, no ensaio de cisalhamento direto, uma prensa de cisalhamento fabricada pela ELE International (Digital Shear Machine, 26-112 - 9901X0089) (Figura 1). O equipamento operou com velocidade de deslocamento horizontal de $3,33 \times 10^{-5} \text{ m s}^{-1}$ e tensões normais de 28, 42, 55 e 69 kPa.

As amostras foram coletadas com estrutura indeformada na profundidade de 0-0,03 m, em amostradores quadrados especialmente desenvolvidos para este fim, com 0,0595 m de largura e

comprimento e 0,022 m de altura. Foram coletadas 16 amostras para cada classe de solo, sendo quatro repetições para quatro diferentes cargas verticais, somando um total de oitenta amostras.

Todas as amostras de solo foram saturadas e equilibradas a uma tensão de 0,01 MPa. A calibração do equipamento consistiu em: calibração do anel dinamométrico e nivelamento horizontal do braço de alavanca onde são aplicadas as cargas verticais, com a finalidade de evitar possíveis variações angulares, quando da aplicação das cargas, para que se possa manter a relação de aplicação da carga normal de 1:10, ou seja, 1 kgf aplicado na máquina corresponde a 10 kgf aplicados na amostra. A constante do anel dinamométrico também foi aferida para diferentes cargas aplicadas, uma vez que este valor influi no cálculo e na correção da força horizontal aplicada na amostra de solo.

Após a determinação da tensão cisalhante máxima e da tensão normal aplicada, a envoltória de resistência foi traçada, obtendo-se o ângulo de atrito interno do solo e o intercepto de coesão, que representa a coesão aparente dos solos.

Na tentativa de verificar a relação da resistência ao cisalhamento dos solos com o seu grau de intemperismo, foram determinados os índices K_i e K_r por meio dos teores de óxidos do ataque sulfúrico (EMBRAPA, 1997).

Para estudar a relação entre as diferentes variáveis dos solos e suas respectivas resistências ao cisalhamento, uma vez que essa resistência é crescente com a aplicação da carga normal, calculou-se a resistência ao cisalhamento máxima de ensaio, substituindo o valor da máxima tensão normal aplicada na equação da envoltória de resistência obtida para cada solo.

As análises de regressões realizadas utilizaram o software Sigma Plot 4.0 (Jandel Scientific), e as comparações das regressões foram feitas seguindo o procedimento descrito em Snedecor & Cochran (1989).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

No quadro 1, estão apresentados os resultados dos ensaios de cisalhamento direto, assim como da densidade do solo, teores de argila e areia e umidade a -0,01 MPa das cinco classes de solos estudadas. Observa-se que a coesão aparente c decresceu na seguinte ordem: PVAd > LVAd > LVd > CXbd > LVdf. Já os valores do ângulo de atrito interno ϕ foram decrescentes na ordem: LVdf > LVAd > CXbd > PVAd > LVd. Pode-se notar que, com exceção do LVdf, para todas as demais classes de solo, os valores de c foram superiores aos valores de ϕ ; neste caso, c contribui de forma mais atuante na resistência ao cisalhamento. Por ser esta coesão aparente um dos componentes da resistência ao cisalhamento do solo

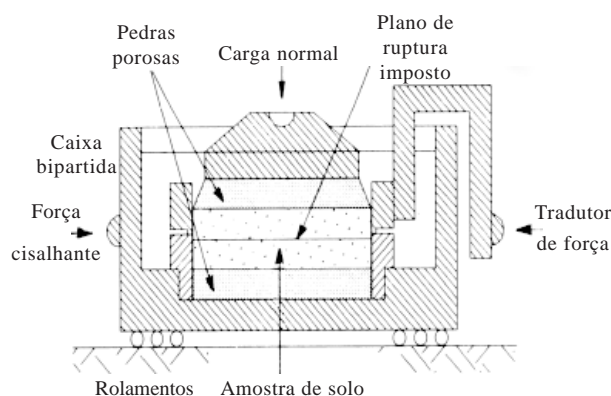


Figura 1. Caixa de cisalhamento utilizada em ensaios de cisalhamento direto.

Quadro 1. Densidade do solo (Ds), umidade na sucção de 0,01 MPa (U), quantidades de argila e areia e resultados do ensaios de cisalhamento direto em amostras indeformadas coletadas na profundidade de 0 a 0,03 m, para a umidade a -0,01 MPa

Classe de solo	Ds	Argila	Areia	Silte	Umidade a -0,01 MPa	Ângulo de atrito interno (ϕ)	Coesão aparente (c)
	kg dm ⁻³	g kg ⁻¹			kg kg ⁻¹	°	kPa
LVdf	1,15	570	160	270	0,21	23,75	12,56
LVd	1,12	570	250	180	0,22	6,30	38,39
LVAd	1,31	310	460	230	0,29	11,30	40,68
PVAd	1,29	370	390	240	0,28	7,80	42,39
CXbd	1,19	396	150	460	0,25	8,97	33,39

e ocorrer somente em solos parcialmente saturados (Pinto, 1989), propriedades físicas e químicas que promovam alterações na interação água-solo influem nos valores de c (Terzaghi et al., 1997).

Os valores de ϕ variaram de 6,30 a 23,75° e, de maneira geral, exceto para o LVdf, observou-se uma redução de ϕ com o aumento do teor de argila dos solos. Os valores de ϕ , segundo Ortigão (1995), mostraram-se muito variáveis e dependentes da forma com a qual as partículas de areia e argila estavam distribuídas por tamanho e áreas de contato. Segundo esse autor, não se verificou correlação entre o valor de ϕ e as características físicas e químicas dos solos. Pinto (1989), entretanto, observou que os valores de ϕ tendem a ser menores para maiores quantidades de argila dos solos.

Na figura 2, estão representadas as envoltórias de resistência das cinco classes de solos estudadas. As envoltórias de resistência ao cisalhamento foram estatisticamente diferentes, mostrando que a tensão cisalhante é uma característica intrínseca de cada classe de solo.

A ordem decrescente de resistência ao cisalhamento dos solos foi a seguinte: LVAd > PVAd > LVd > CXbd > LVdf. O LVAd e o PVAd apresentaram os maiores valores de tensões cisalhantes e, conseqüentemente, maior resistência ao cisalhamento. Tal comportamento pode ser explicado pela maior facilidade com que as partículas destes solos têm em ocupar os espaços vazios, quando submetidos a forças promotoras de deformações, causando com isto um maior atrito entre estas partículas. Esse atrito reflete na maior resistência ao cisalhamento observada, que também depende da estrutura em blocos desses solos, responsável pelo aumento na área de contato entre as partículas.

O LVdf e o LVd, embora apresentem maior porosidade total e, conseqüentemente, drenagem mais rápida, mostraram menor resistência ao cisalhamento do que o LVAd e PVAd, provavelmente, pela redução das tensões capilares. Outro aspecto

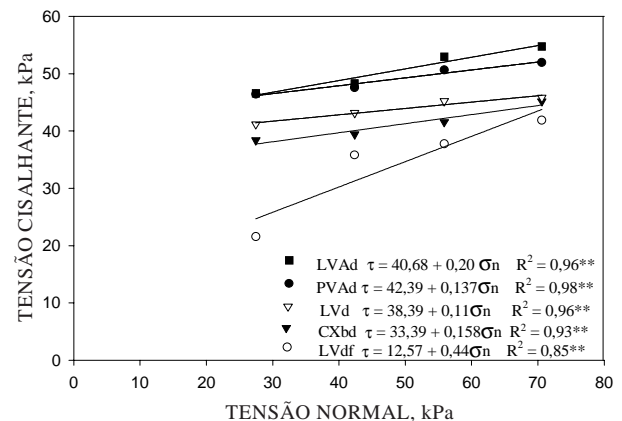


Figura 2. Envoltórias de resistência para os cinco solos estudados.

que confere menor resistência ao cisalhamento para o LVdf e LVd está ligado ao fato de esses solos apresentarem estrutura granular, nas quais as superfícies de contato entre as partículas e microagregados são reduzidas. O CXbd, entretanto, está entre os solos de menor resistência ao cisalhamento, em razão do menor grau de evolução genética, expresso pelo maior teor de silte desse solo (Quadro 1), o que lhe confere menor grau de estruturação de suas partículas.

Do ponto de vista de conservação do solo, esses resultados evidenciam que o LVAd e o PVAd são mais resistentes ao voçorocamento, por apresentarem maior resistência às forças cisalhantes e, conseqüentemente, ao processo de erosão. De acordo com Silva (1990), estes solos contêm menores teores de óxidos de ferro e estrutura em blocos, para o PVAd, e tendendo para blocos, para o LVAd, em alguns casos, com maior coerência entre os agregados, o que ajuda a diminuir substancialmente a erosão. Espera-se, entretanto, que o LVAd e o PVAd apresentem

também maior resistência mecânica ao preparo, o que acarretará maior potência requerida pelo trator, maior consumo de combustível e maior desgaste dos implementos, com redução significativa de sua vida útil.

O LVd e o LVdf apresentam em sua estrutura grânulos em formas aproximadas de esferas, com reduzida área de contato entre elas, o que, aliado com seu pequeno tamanho, torna-os facilmente deslocáveis pela água (Silva, 1990). A razão de os solos LVdf e LVd serem menos propensos ao voçorocamento natural, embora apresentem menor resistência ao cisalhamento, está relacionada com sua alta permeabilidade, com um "sólum" mais profundo e, ainda, com as áreas de relevo plano e suave ondulado (Silva et al., 1993) desses solos, o que minimiza a energia cisalhante da água.

Os maiores teores de silte (Quadro 1), a pouca espessura do "sólum", a baixa permeabilidade, a pobreza química acentuada e o relevo mais movimentado tornam o CXbd muito instável (Curi et al., 1990). Nesse solo, a energia cisalhante da enxurrada é mais acentuada, causando, além da erosão laminar, o surgimento de voçorocas.

Assim, espera-se que solos com estrutura em blocos sejam mais resistentes à erosão em sulcos e ao preparo. Portanto, a determinação da resistência ao cisalhamento dos solos pode ser uma ferramenta útil a ser considerada no estabelecimento de sistemas de preparo de solo e do manejo conservacionista.

Na figura 3, observa-se que, para diferentes classes de solos, a resistência ao cisalhamento aumentou com o aumento da densidade do solo. Os solos compactados ou mais adensados tendem a apresentar maior resistência ao cisalhamento (Azevedo, 1999), em consequência do maior contato entre as suas partículas, conferindo-lhes maior atrito (Terzaghi et al., 1997), conforme revelam o LVAd e PVAd.

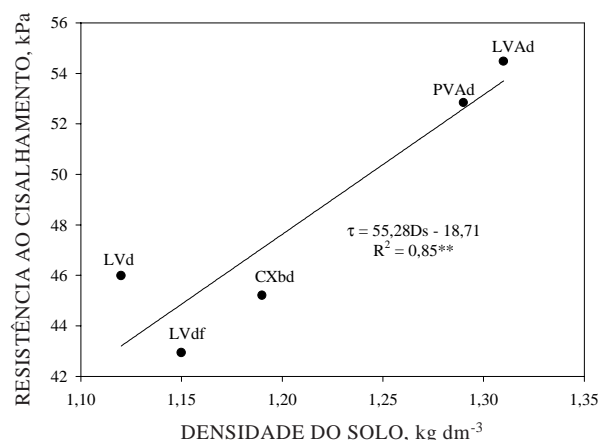


Figura 3. Variação da resistência ao cisalhamento dos solos com a densidade do solo.

A relação entre resistência ao cisalhamento dos solos e a sua umidade correspondente à tensão de 0,01 MPa está apresentada na figura 4. Observa-se, para as diferentes classes de solos, que, à medida que a umidade correspondente a -0,01 MPa aumentou, a resistência ao cisalhamento também aumentou. Isto pode ser devido às maiores densidades apresentadas por estes solos (Figura 3) e a um aumento das tensões capilares o que confere maior estabilidade à estrutura dos solos (Azevedo, 1999).

Plotando resistência ao cisalhamento em função do teor de areia dos solos (Figura 5), observa-se um aumento da resistência ao cisalhamento com o aumento do teor de areia. Isto é devido à capacidade de as partículas de areia se rearranjarem de maneira mais densa (Dias Junior & Miranda, 2000), provocando maior densidade do solo (Figura 3), maior atrito e, conseqüentemente, maior resistência ao cisalhamento. Os solos LVd, CXbd e LVdf, com maiores teores de argila (Figura 6), apresentaram menor densidade do solo, menor umidade a 0,01 MPa (Quadro 1) e menor resistência ao cisalhamento. O fato de a argila proporcionar menor resistência ao cisalhamento está também relacionado com a mineralogia do solo (Terzaghi et al., 1997), que, de certa forma, é influenciada pela adsorção/dessorção de íons que podem promover a dispersão do solo. Segundo Silva et al. (1993), nos solos LVd e LVdf, predomina a gibbsita e, nos solos PVAd, LVAd e CXbd, predomina, dentre outras, a caulinita.

Na figura 7, embora sejam classes de solos diferentes, observou-se, em concordância com Ohu et al. (1986), que os solos com maiores teores de matéria orgânica (Quadro 2) apresentaram também menores densidades do solo (Quadro 1), reduzindo o contato entre as partículas, o que acarretou menor resistência ao cisalhamento. Uma vez que a maioria dos solos agrícolas são cultivados com baixos teores

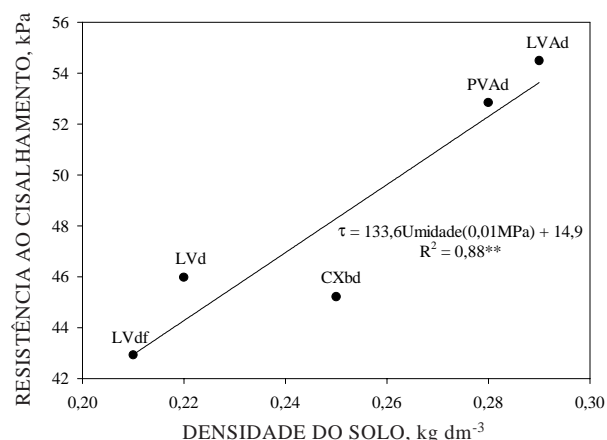


Figura 4. Variação da resistência ao cisalhamento dos solos com a umidade dos solos.

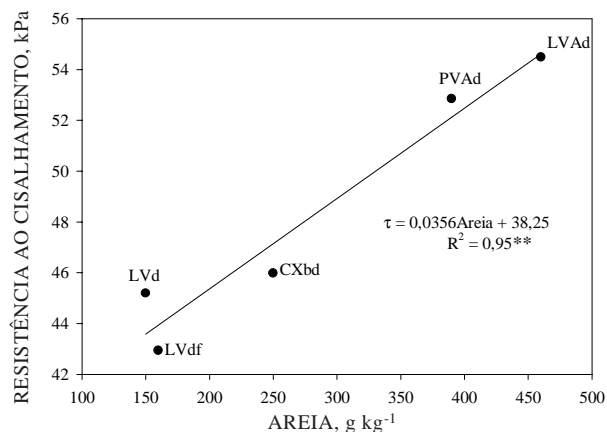


Figura 5. Variação da resistência ao cisalhamento dos solos com o teor de areia.

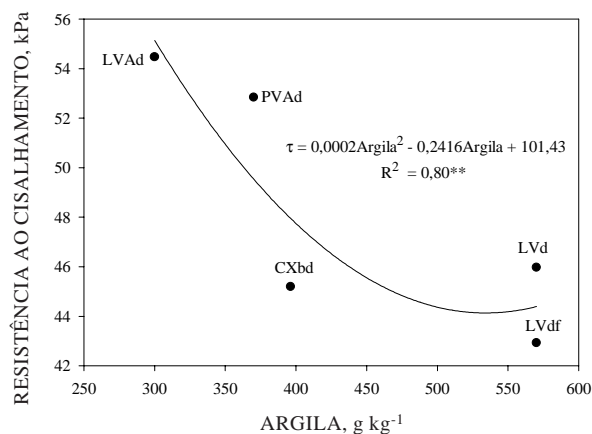


Figura 6. Variação da resistência ao cisalhamento dos solos com o teor de argila.

de matéria orgânica (Ekwue & Stone, 1995), a variação da resistência ao cisalhamento do solo com os teores de matéria orgânica deve ser mais bem estudada, pois pode permitir a correta especificação do equipamento a ser utilizado no preparo do solo.

As figuras 8 e 9 relacionam a resistência ao cisalhamento dos solos estudados com os índices de intemperismo K_i e K_r (Quadro 2). Observa-se que, para uma condição de solo mais jovem, como é o caso do CXbd, a resistência ao cisalhamento dos solos é baixa.

Solos em estado mais jovem de desenvolvimento, como o CXbd, que apresentam maiores valores de K_i e K_r (Quadro 2) e maiores teores de silte (Quadro 1), podem apresentar menor grau de estruturação, com conseqüente redução do contato entre as partículas e menores forças de atrito atuantes sobre este solo. Já para o PVAd, solo com horizonte B textural, por dispor de uma estrutura em blocos, de forma geral, pode apresentar maior

Quadro 2. Matéria orgânica, K_i e K_r , dos cinco solos estudados

Classe de solo	Matéria orgânica	K_i	K_r
	g kg ⁻¹		
LVdf	18,6	0,89	0,58
LVd	21	0,91	0,71
LVAd	8,8	1,02	0,92
PVAd	9,5	1,52	1,28
CXbd	21,8	1,60	1,43

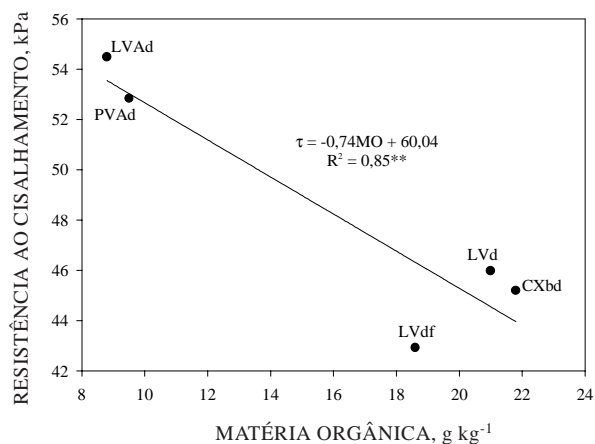


Figura 7. Variação da resistência ao cisalhamento do solo com o teor matéria orgânica.

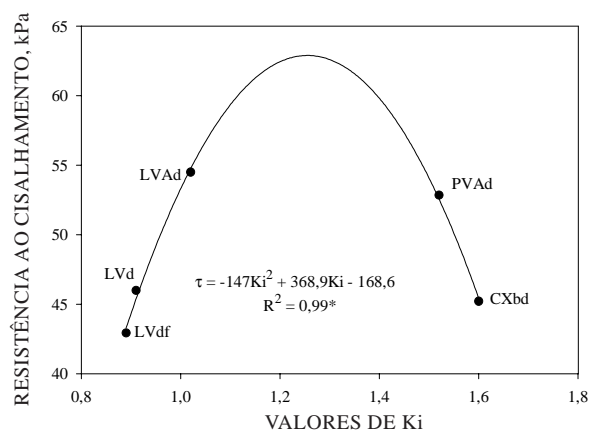


Figura 8. Variação da resistência ao cisalhamento dos solos com o índice K_i .

contato entre as partículas, o que lhe confere maior resistência ao cisalhamento.

Nos Latossolos, solos mais intemperizados, observa-se que, à medida em que há redução de K_i e K_r , há também redução nos valores de resistência

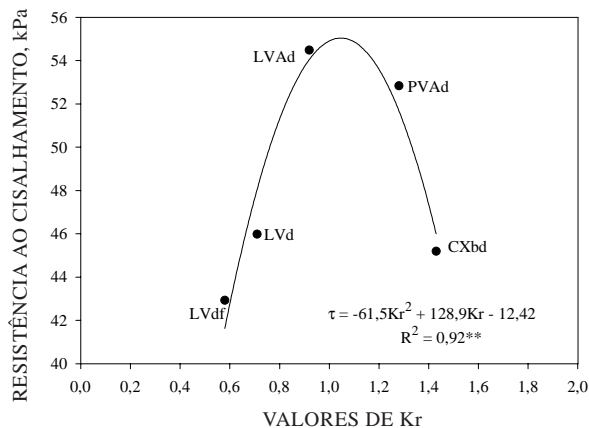


Figura 9. Variação da resistência ao cisalhamento dos solos com o índice Kr.

ao cisalhamento, na sequência LVAd > LVd > LVdf. O desenvolvimento da estrutura granular, do LVd para o LVdf, condiciona o menor atrito entre as partículas, conferindo menor resistência ao cisalhamento.

CONCLUSÕES

1. Os solos LVAd e PVAd, com densidades do solo, quantidades de areia e umidade a -0,01MPa maiores, apresentaram maior resistência ao cisalhamento em relação ao LVd, CXbd e LVdf, que apresentaram maiores teores de argila e de matéria orgânica.
2. A coesão aparente, de forma geral, foi maior para solos com maiores: densidade do solo, umidade a -0,01 MPa e teor de areia.
3. Para a classe dos Latossolos, a resistência ao cisalhamento diminuiu com a redução dos índices Ki e Kr.
4. A estrutura em blocos condiciona maior resistência ao cisalhamento aos solos.

LITERATURA CITADA

- AYERS, P.D. & PERUMPRAL, J.V. Moisture and density effect on cone index. *Trans. Am. Sci. Agric. Eng.*, 21:1169-1172, 1982.
- AZEVEDO, M.A.A. Contribuição ao estudo geotécnico de solos de Viçosa – MG. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 1999. 169p. (Tese de Mestrado)
- BENJAMIN, J.G. & CRUSE, R.M. Measurement of shear strength and bulk density of soil aggregates. *Soil. Sci. Soc. Am. J.*, 49:1248-1251, 1985.
- BENJAMIN, J.G. & CRUSE, R.M. Tillage effects on shear strength and bulk density of soil aggregates. *Soil Till. Res.*, 9:255-263, 1986.
- CURI, N.; LIMA, J.M.; ANDRADE, H. & GUALBERTO, V. Geomorfologia, física, química e mineralogia dos principais solos da região de Lavras, MG. *Ci. Prat.*, 14:297-307, 1990.
- CRUSE, R.M. & LARSON, W.E. Effects of soil shear strength on soil detachment due to rain drop impact. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 41:777-781, 1977.
- DIAS JÚNIOR, M.S. & MIRANDA, E.E.V. Comportamento da curva de compactação de cinco solos da região de Lavras - MG. *Ci. Agrotec.*, 24:337-346, 2000.
- DAVIES, P. Influence of organic matter, moisture status and time after reworking on soil shear strength. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 36:299-306, 1985.
- EKWUE, E.J. & STONE, R.J. Organic matter effects on the strength properties of impacted agricultural soils. *Trans. Am. Sci. Agric. Eng.*, 38:357-365, 1995.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análises de solo. 2.ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.
- GANTZER, C.J.; BUYANOVSKY, G.A.; ALBERTS, E. & REMLEY, P.A. Effects of soybean and crop residue deposition on soil strength and splash detachment. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 51:202-206, 1987.
- OHU, O.J.; RAGHAVAN, G.S.V.; MCKYES, E. & MEHUY, G. Shear strength prediction of soils with varying added organic matter contents. *Trans. Am. Sci. Agric. Eng.*, 29:351-355, 1986.
- ORTIGÃO, J.A.R. Introdução à mecânica dos solos dos estados críticos. 2.ed. Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos, 1995. v.1. 374p.
- PINTO, C.S. Resistência ao cisalhamento dos solos. São Carlos. Grêmio Politécnico, 1989. v.1. 127p
- SCHJONNING, P. Shear strength determination in undisturbed soil at controlled Water Potential. *Soil Till. Res.*, 8:171-179, 1986.
- SCHJONNING, P. Soil strength as influenced by texture, water content and soil management. *Soil Till. Res.*, 12:277-283, 1991.
- SILVA, A.C. Relação entre voçorocas e solos na região de Lavras-MG. Lavras, Escola Superior de Agricultura de Lavras, 1990.124p. (Tese de Mestrado)
- SILVA, A.C.; LIMA, J.M. & CURI, N. Relações entre voçorocas, uso da terra, solo e materiais de origem da região de Lavras (MG). *R. Bras. Ci. Solo*, 17:459-464, 1993.
- SNEDECOR, G.W. & COCHRAN, W.G. Statistical methods. 8.ed. Ames : Iowa State University, 1989. 161p.
- TERZAGHI, K.; PECK, R.B. & MESRI, G. Soil mechanics in engineering practice. 3.ed. New York, John Wiley & Sons, 1997. 549p.
- VARGAS, M. Introdução à mecânica dos solos. São Paulo, McGraw-Hill, 1989. 509p.

