

INFLUÊNCIA DA VELOCIDADE DE CARREGAMENTO SOBRE A RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO DE SOLOS RESIDUAIS TROPICAIS

Influence of the rate of loading on the shear strength of tropical residual soils

Heraldo Nunes Pitanga*

Dario Cardoso de Lima**

Cláudio Henrique de Carvalho Silva**

Carlos Alexandre Braz de Carvalho**

Paulo Sérgio de Almeida Barbosa**

RESUMO – Este artigo considera a influência da velocidade de carregamento (ou velocidade de ensaio) na resistência ao cisalhamento de três solos da Zona da Mata Norte de Minas Gerais, Brasil. O programa de ensaios de laboratório englobou a realização de ensaios de cisalhamento direto executados em corpos-de-prova obtidos de amostras indeformadas dos solos em estudo sob três velocidades de carregamento. A análise dos resultados obtidos possibilitou concluir que, para fins práticos, a velocidade de carregamento não afeta, significativamente, a resistência ao cisalhamento dos solos analisados.

ABSTRACT – This research is directed to the analysis of the influence of the rate of loading or displacement on the shear strength of three tropical residual soils from the North Forest Zone of Minas Gerais State, Brazil. The laboratory testing program encompassed the realization of direct shear tests performed in natural soil specimens at three different rates of displacement. From a practical engineering point of view, the laboratory testing data support that the rate of displacement does not affect significantly the shear strength of the tested soils.

1 – INTRODUÇÃO

Os solos residuais da Microrregião de Viçosa, município do Estado de Minas Gerais situado na Zona da Mata Norte, apresentam-se, em geral, num sistema de duas camadas, em perfis permeáveis e profundos com predominância de materiais latossólicos sobre podzólicos no horizonte B e ocorrência de materiais saprolíticos originários de gnaiss no horizonte C. Tais materiais, em especial os do horizonte B do perfil pedológico, apresentam-se, geralmente, não saturados, porosos e com índices de vazios superiores a um. Schaefer (1996) descreve o horizonte B desses solos como constituído de forte estruturação de natureza micro-granular e, em alguns casos, apresentando-se em blocos sub-angulares. Segundo esse autor, essa camada resultou da incidência de intensos processos físico-químicos de intemperização, os quais foram acelerados por micro-fissuração e por mecanismos de dissolução. Com o passar dos anos, esses mecanismos associados a boas condições de drenagem acabaram por fomentar a estruturação dos solos.

*Mestrando, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa, e-mail: pitanga@sc.usp.br

**Professor, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa, e-mail: dec@ufv.br

Segundo Ker e Schaefer (1995), os solos do horizonte B formados no planalto de Viçosa englobam a faixa das argilas areno-siltosas às areias argilo-siltosas, sendo a fração argila destes constituída principalmente por caulinita, hidróxidos de alumínio e óxidos de ferro. Estes dois últimos minerais são responsáveis pela cor e pelo fenômeno de agregação e ligação das partículas dos solos. Azevedo (1999) descreve o horizonte C como uma camada estruturada de textura areno-silto-argilosa composta por minerais primários, mica e flocos grandes de caulinita pseudomorfa de biotita.

Solos residuais tropicais, tais como os que se apresentam em uma vasta extensão da Zona da Mata Norte de Minas Gerais, caracterizam-se, em decorrência da ação de cimentação de óxidos de ferro e alumínio (estruturação) e da sucção relativamente elevada advinda de sua condição não-saturada, por apresentarem particularidades geotécnicas que reforçam a necessidade de se analisar, dentre outros fatores, a validade do uso de procedimentos tradicionais de ensaios de laboratório visando a sua caracterização geotécnica. Segundo Lima et al. (1994), muitos desses solos apresentam elevado índice de vazios e características de resistência e deformabilidade que não podem, geralmente, ser explicadas em termos deste parâmetro geotécnico. Complementam esses autores que muito se tem discutido sobre a propriedade de se caracterizar geotecnicamente os solos estruturados sob o prisma da Mecânica dos Solos Clássica com o emprego de parâmetros tais como índice de vazios, curva granulométrica e limites de Atterberg.

Dentro desta perspectiva e considerando-se a determinação da resistência ao cisalhamento de solos estruturados, a velocidade de carregamento (velocidade de ensaio ou taxa de deformação) a ser empregada é um assunto que suscita questionamentos em decorrência destas particularidades geotécnicas e da elevada parcela de adensamento inicial que os mesmos podem apresentar. Sabe-se que esses solos, se ensaiados a velocidades muito baixas, não fornecem parâmetros efetivos como seria esperado por diversos autores com base em informações de solos de regiões temperadas ensaiados nas mesmas condições. Face ao exposto, é interessante analisar a influência da variação da velocidade de carregamento nos ensaios de cisalhamento sobre a resistência ao cisalhamento dos solos tropicais mencionados.

2 – OBJETIVO

Considerando-se como elemento de análise os resultados de ensaios de cisalhamento direto realizados em corpos-de-prova moldados de amostras no estado natural de três solos típicos da Zona da Mata Norte de Minas Gerais, este trabalho teve por objetivo analisar a influência da velocidade de carregamento na resistência ao cisalhamento destes materiais.

Destaca-se que, segundo a tendência geotécnica atual, é comum se recomendar que em estudos desta natureza se considere, relativamente aos solos não-saturados, a realização de ensaios drenados com sucção controlada, devendo-se observar, em geral, longos lapsos de tempo para fins de equalização das pressões intersticiais antes da ruptura. Com relação ao presente trabalho, esses ensaios foram considerados fora do escopo, por exigirem equipamento sofisticado para a sua realização e demandarem grande período de tempo. Saliencia-se, também, que não se teve por objetivo propor um modelo para o possível efeito da velocidade de carregamento na resistência ao cisalhamento dos solos, mas contribuir para a ampliação do banco brasileiro de dados geotécnicos sobre solos tropicais estruturados e sinalizar sobre a importância ou não deste fator em pesquisas futuras que envolvam equipamentos de maior sofisticação tecnológica para o estudo da influência da estrutura e da sucção na resistência ao cisalhamento desses materiais.

3 – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 – Particularidades geotécnicas dos solos de comportamento não-clássico

Segundo Leroueil (1997), a Mecânica dos Solos Clássica (MSC) encontra suas raízes nos trabalhos pioneiros de Terzaghi, Casagrande e Hvorslev, que reconheceram a importância do índice de vazios sobre o comportamento do solo e o fato de que a compressão deste ao longo da linha de compressão normal é essencialmente irreversível, ao passo que as deformações são essencialmente reversíveis ao longo das linhas de expansão e recompressão.

Destaca-se, também, que, a partir de fins da década de 50, Roscoe, Schofield e Wroth agregaram os fundamentos daquilo que hoje é freqüentemente referido como “Mecânica dos Solos do Estado Crítico” (MSEC). O conceito de escoamento e estado crítico incluídos na MSEC são considerados ferramentas extremamente poderosas para se entender e analisar o comportamento do solo e eles têm adquirido aceitação geral.

Entretanto, no final das décadas de 50 e 60, já havia sido mostrado, também, que existem aspectos importantes do comportamento do solo que não podem ser descritos pelos conceitos de estado crítico. Leroueil e Vaughan (1990) citam que muitas ocorrências naturais tratadas em engenharia como solos têm componentes de resistência e rigidez que não podem ser explicadas somente pelos conceitos de porosidade inicial e histórico de tensões nos quais a MSC está alicerçada. Segundo Leroueil (1997), pode-se citar o efeito do esmagamento das partículas sobre a linha de estado crítico de solos granulares, o efeito da velocidade de carregamento e da temperatura, o efeito da estrutura, o efeito de descontinuidades tais como fissuras e a influência da saturação parcial. Para os fins do presente trabalho, interessa abordar os efeitos da velocidade de carregamento no comportamento geotécnico dos solos.

3.2 – Velocidade de carregamento

Ensaio de resistência ao cisalhamento sobre solos saturados geralmente são realizados a velocidades de carregamento relativamente baixas com o propósito de garantir a equalização das pressões intersticiais em um ensaio sob condição não-drenada ou a dissipação destas sob condição drenada.

Uma série de procedimentos experimentais tem sido apresentada com o propósito de se determinar a velocidade de carregamento a ser empregada. Segundo recomendações de Donald (1961), o efeito da velocidade de carregamento sobre a tensão-desvio máxima deve ser usado como um critério na avaliação de uma velocidade de ensaio apropriada. Gibson e Henkel (1954) e Bishop e Henkel (1962) apresentaram dados de ensaios mostrando o efeito da velocidade de ensaio sobre a resistência ao cisalhamento de solos expressa em termos da relação tensão cisalhante versus deformação axial, identificando uma velocidade limite abaixo da qual não havia mudanças na magnitude da resistência ao cisalhamento dos solos ensaiados, porém sem que medidas fossem feitas para garantir que esta taxa limite fosse suficientemente lenta para completar a equalização ou a dissipação. Satija e Gulhati (1979) concluíram de seus dados de ensaio que a tensão desvio não era sensível ao efeito da variação da velocidade de carregamento.

O efeito da velocidade de carregamento sobre a equalização das pressões intersticiais em ensaios não drenados foi estudado por Bishop et al. (1960), os quais constataram que maiores velocidades implicavam em pressões intersticiais significativamente diferentes através da amostra, afetando a avaliação da resistência ao cisalhamento. Uma distribuição mais uniforme dessas pressões foi obtida quando do emprego de velocidades de carregamento mais baixas.

Gibson e Henkel (1954) aplicaram a teoria do adensamento ao problema de dissipação do excesso de poro-pressão na compressão triaxial, mostrando que o grau médio de dissipação na ruptura, $U_f\%$, pode ser expresso na forma apresentada abaixo:

$$\frac{U_f}{100} = 1 - \frac{L^2}{4\eta c_v t_f} \quad (1)$$

onde L é o comprimento da amostra, c_v o coeficiente de adensamento do solo, t_f o tempo de ruptura e η um fator dependente das condições de drenagem no contorno da amostra. Segundo Head (1986), um grau de dissipação do excesso de poro-pressão de 95% é, geralmente, aceitável para a obtenção dos parâmetros de resistência drenada dos solos. Assim, segundo esse autor, empregando-se $U_f = 95\%$ na equação 1 e rearranjando a mesma, chega-se à seguinte expressão que permite estimar o tempo de ruptura a ser empregado num ensaio drenado e, conseqüentemente, a velocidade de carregamento:

$$t_f = \frac{L^2}{0.2\eta c_v} \quad (2)$$

Assim, a velocidade de carregamento para a qual a amostra deve ser cisalhada em um ensaio saturado drenado depende das características de drenagem da amostra (ou seja, da permeabilidade do solo que a constitui), da sua compressibilidade e da sua espessura. Uma vez que a permeabilidade está associada ao coeficiente de adensamento, o estágio de consolidação do ensaio pode fornecer os dados para uma estimativa apropriada do tempo de ruptura e, por conseguinte, da velocidade de carregamento a ser empregada.

Gibson e Henkel (1954) estenderam esta teoria a fim de abraçar os solos não saturados. Esse método é aplicável tanto a ensaios triaxiais, como de cisalhamento direto, que é o objeto do presente estudo, e deve considerar (Ho e Fredlund 1982), na estimativa do tempo de ruptura, fatores advindos das características de fluxo através do disco cerâmico de entrada de ar (coeficiente de permeabilidade) colocado à base da amostra de solo ensaiada e das propriedades físicas do solo (coeficientes de adensamento e de permeabilidade).

Salienta-se, entretanto, que a velocidade elevada de adensamento inicial de solos tropicais estruturados, conforme se visualiza na Figura 1 (Barbosa, 2002), impõe restrições ao emprego dos métodos abordados para fins de obtenção da velocidade de carregamento a ser empregada nos ensaios de cisalhamento, dada a inequívoca falta de conformidade entre as curvas de consolidação destes em relação às curvas das quais foram derivados os modelos acima, tipicamente de solos clássicos, não-estruturados, oriundos de climas temperados.

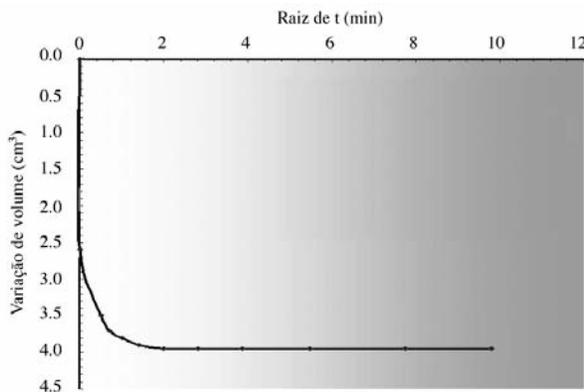


Fig. 1 – Curva de consolidação de solo residual tropical estruturado não saturado evidenciando a elevada parcela de adensamento inicial de tal solo (Barbosa, 2002).

4 – MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 – Materiais

Este estudo foi realizado no Laboratório de Geotecnia do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Viçosa (UFV), sendo executados ensaios de cisalhamento direto sobre amostras naturais na condição não-saturada sem controle de sucção. A faixa de solos de interesse para esta pesquisa englobou três ocorrências classificadas como (Azevedo 1999):

- 1. Solo 1:** é um solo residual maduro, pedologicamente classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo (antigo Latossolo Variação Una), com ocorrência, predominantemente, nos topos de elevações com relevo plano, apresentando uma estrutura granular muito pequena, com grau de desenvolvimento moderado e textura argilo-areno-siltosa;
- 2. Solo 2:** é um solo residual maduro, também, pedologicamente classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo, que apresenta um horizonte B de tonalidade avermelhada, com estrutura em blocos bem individualizados, aspecto poroso, e textura predominantemente argilo-areno-siltosa;
- 3. Solo 3:** é um solo residual jovem (horizonte C), que perfaz um manto saprolítico resultante de um perfil de intemperismo de solos desenvolvidos do gnaisse do Pré-Cambriano, com camadas de espessuras às vezes superiores a 20 m. Esse material apresenta diferentes matizes no seu perfil. Na parte superior, apresenta textura areno-silto-argilosa, observando-se a presença de mica e a ocorrência de um tom róseo mais avermelhado pela presença de hematita. Na parte inferior, tem-se uma textura também areno-silto-argilosa, contudo com maior presença de areia fina, com coloração cinza, notando-se pouca presença de óxidos de ferro e prevalecendo caulinita e mica.

O Quadro 1 apresenta informações pertinentes à caracterização geotécnica destes solos, englobando limites de Atterberg (LL, LP), índice de plasticidade (IP), peso volúmico dos sólidos (γ_s), granulometria, índice de atividade de Skempton (A_c), índice de vazios (e) e classificação dos solos segundo os Sistemas TRB, USC e Metodologia MCT.

Quadro 1 – Características geotécnicas dos solos ensaiados (Azevedo, 1999).

Solo	Argila (%) %<5 μ m	Silte (%)	Areia (%)	%<2 μ m	LL(%)	LP(%)	IP(%)	A_c ¹	γ_s (kN/m ³)	e	Classificação: TRB, USCS e MCT
1	63	2	35	55	57	37	20	0,36	28,03	1,506	A-7-5(13), CH, LG'
2	43	19	38	25	79	41	38	1,52	27,42	1.100	A-7-5(18), MH, LG'
3	18	22	60	12,5	31	19	12	0,96	26,70	0,957	A-6(2), SC-SM, NS'

Notas: ¹ $A_c = IP/(\% < 2 \mu m)$

As curvas de compressão unidirecional desses materiais são apresentadas nas Figuras 2, 3 e 4 com os respectivos valores de teor de umidade natural (w), índice de vazios inicial (e), grau de saturação (S_r), coeficiente de compressão (C_c), peso volúmico natural (γ_{nat}) e tensão de pré adensamento (σ').

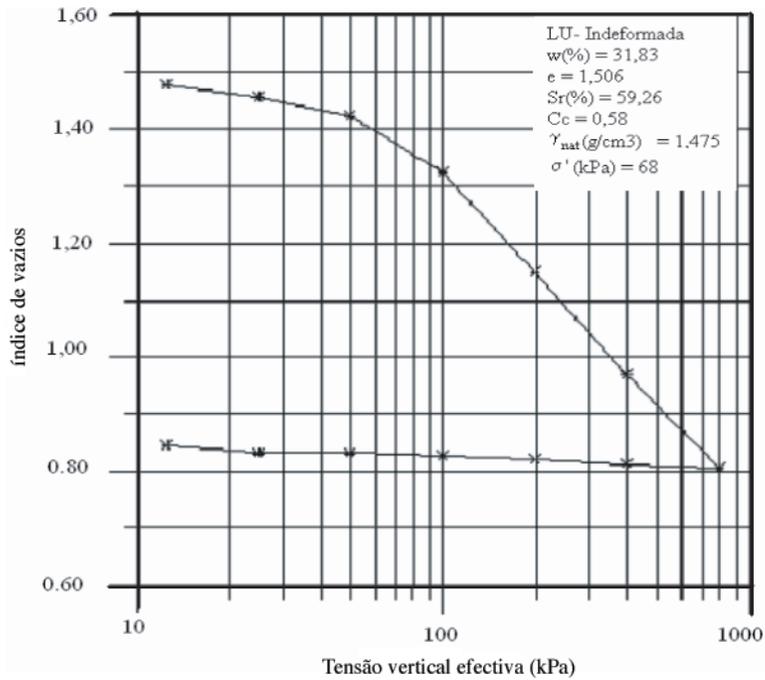


Fig. 2 – Curva tensão vertical efetiva versus índice de vazios do solo 1, amostra indeformada (Azevedo, 1999).

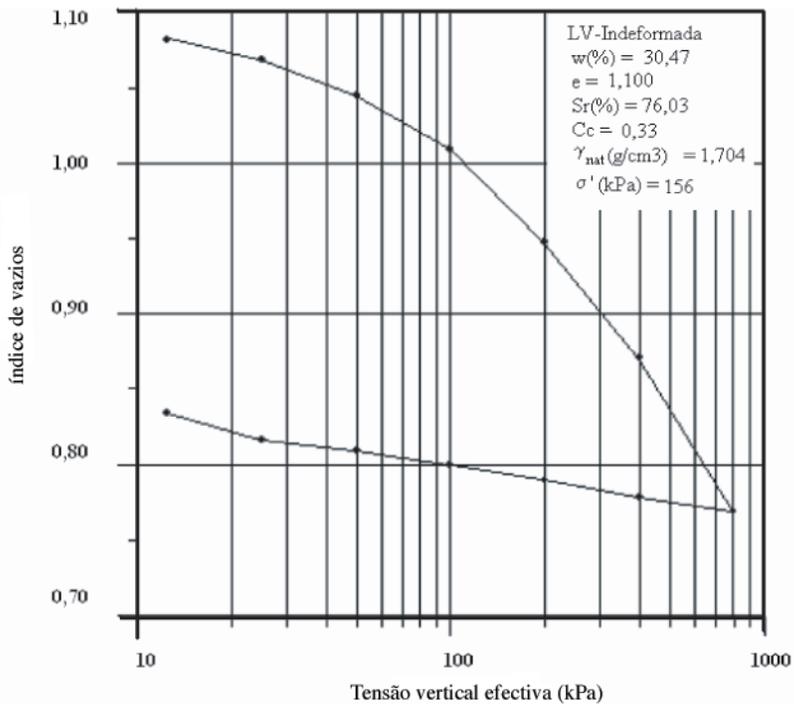


Fig. 3 – Curva tensão vertical efetiva versus índice de vazios do solo 2, amostra indeformada (Azevedo, 1999).

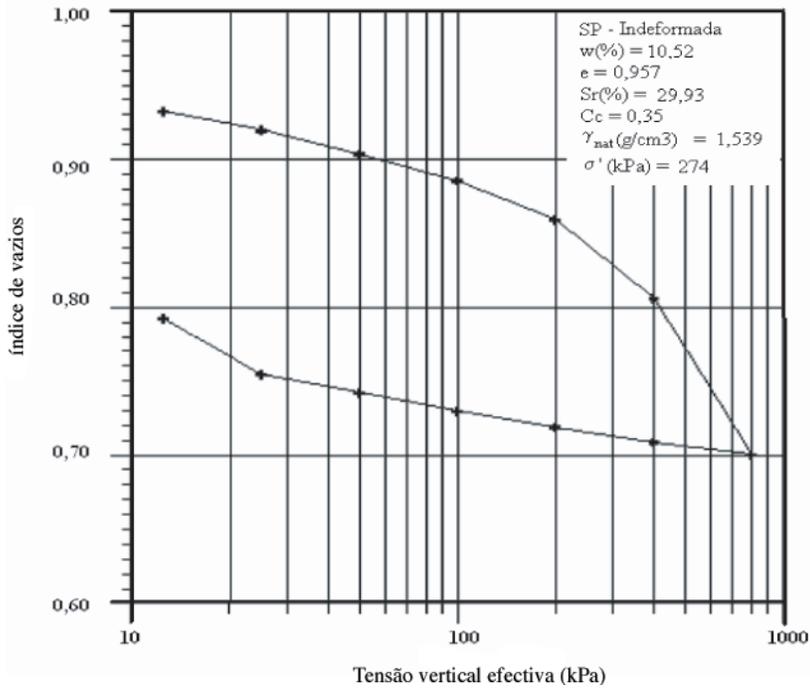


Fig. 4 – Curva tensão vertical efetiva versus índice de vazios do solo 3, amostra indeformada (Azevedo, 1999).

4.2 – Métodos

Os trabalhos de campo envolveram a retirada de amostras indeformadas, representativas do solo quanto à estrutura, umidade, constituição mineralógica e textura segundo os procedimentos recomendados pela norma brasileira NBR 9604/86. A fim de minimizar a perda de umidade das amostras de solo, procedeu-se, no laboratório, à divisão das amostras em blocos menores, os quais foram revestidos com plástico tipo “filme” e com uma mistura de parafina e vaselina, sendo posteriormente acondicionados na câmara úmida.

No que concerne aos ensaios de laboratório, foram realizados ensaios de cisalhamento direto em corpos de prova ensaiados na umidade natural, empregando-se as velocidades de carregamento de 5, 0,147 e 0,0094 mm/min (milímetros por minuto) e as tensões normais de 50, 100, 200 e 400 kPa.

Procedeu-se à coleta automática dos resultados dos ensaios com instrumentação englobando LVDTs e células de carga devidamente calibrados e acoplados ao equipamento de ensaio de cisalhamento direto, além do software LAB WINDOWS/CVI, mediante o qual se fez o arquivamento para posterior tratamento dos dados coletados.

5 – RESULTADOS E ANÁLISES

Destaca-se que, em geral, o critério de determinação da resistência de pico foi utilizado no presente trabalho para tensões normais e de confinamento de 50 e 100 kPa. Para níveis de tensão superiores (200 e 400 kPa), empregou-se, em geral, o critério de determinação da resistência de pico para o nível de deformação de 20%. Em ensaios dessa natureza, trabalhando-se com o equipamento

de cisalhamento direto, espera-se a ocorrência de dispersão dos resultados por não serem os ensaios realizados sob condições de sucção controlada. No presente trabalho, buscou-se minimizar a influência do aspecto dispersão, trabalhando-se com valores que representassem a média de três (3) determinações de ensaio. Buscou-se a uniformidade dos corpos-de-prova ensaiados, trabalhando-se com amostras cujos valores iniciais de índice de vazios e grau de saturação se enquadrassem dentro de faixas de magnitude razoavelmente similares, atendendo a um desvio considerado aceitável.

Os resultados apresentados correspondem a um universo de 105 ensaios realizados, sendo aqui expostos em termos dos valores médios dos índices físicos de interesse (índice de vazios, teor de umidade e grau de saturação) e dos correspondentes parâmetros de resistência (coesão e ângulo de atrito) dos solos estudados. Nos Quadros 2, 3 e 4, os termos e , w e Sr correspondem, respectivamente, aos valores médios de índice de vazios, teor de umidade e grau de saturação das amostras ensaiadas, v corresponde à velocidade de ensaio e ϕ ao ângulo de atrito obtido. O termo “*todos os dados*” empregado nesses quadros refere-se ao conjunto de resultados de ensaios obtidos considerando-se todas as velocidades de carregamento utilizadas.

Quadro 2 – Resultados dos ensaios sobre as amostras do solo 1 (Pitanga, 2002).

	e	w (%)	Sr (%)	v (mm/min)	coesão (kPa)	ϕ (°)
Média	1,49	29,61	56,62	0,0094	25	39
Desvio padrão	0,02	0,88	1,22			
Média	1,48	29,17	56,24	0,142	19	38
Desvio padrão	0,02	0,79	0,89			
Média	1,44	27,62	54,68	5	30	37
Desvio padrão	0,03	0,73	0,67			
Todos os dados					25	38

Quadro 3 – Resultados dos ensaios sobre as amostras do solo 2 (Pitanga, 2002).

	e	w (%)	Sr (%)	v (mm/min)	coesão (kPa)	ϕ (°)
Média	1,34	27,26	56,71	0,0094	129	38
Desvio padrão	0,03	0,62	1,91			
Média	1,34	26,80	56,44	0,142	116	39
Desvio padrão	0,03	0,59	2,02			
Média	1,34	26,46	55,30	5	105	39
Desvio padrão	0,05	1,33	3,20			
Todos os dados					117	39

Quadro 4 – Resultados dos ensaios sobre as amostras do solo 3 (Pitanga, 2002).

	<i>e</i>	<i>w</i> (%)	<i>Sr</i> (%)	<i>v</i> (mm/min)	<i>coesão</i> (kPa)	ϕ (°)
Média	1,04	8,77	22,91	0,0094	40	31
Desvio padrão	0,01	0,29	0,70			
Média	1,02	7,93	21,14	0,142	25	35
Desvio padrão	0,02	0,71	1,82			
Média	1,01	8,04	21,57	5	39	33
Desvio padrão	0,03	0,35	0,94			
Todos os dados					35	33

Da análise dos resultados apresentados nos Quadros 2, 3 e 4, verifica-se que, em termos práticos, não há uma influência significativa da velocidade de carregamento sobre os parâmetros de resistência ao cisalhamento, visto que as magnitudes dos parâmetros de resistência são próximas entre si. Essa tendência se confirma quando se comparam os resultados relativos a cada velocidade com aqueles pertinentes a todos os dados, independentemente da velocidade de ensaio. Maiores diferenças foram verificadas para o solo 3 (residual jovem), que, contrariamente aos solos 1 e 2, mais homogêneos, apresenta variabilidade significativa no campo.

Ressalta-se que a constatação relativa à não observância de efeito significativo da velocidade de ensaio na resistência ao cisalhamento dos solos analisados foi, também, reafirmada por Pitanga (2002), quando o autor trabalhou com um banco de dados de menor variabilidade nos índices físicos dos solos (teor de umidade e índice de vazios), minimizando, assim, possível efeito da sucção nos resultados dos ensaios realizados.

6 – CONCLUSÃO

Para os solos residuais tropicais não saturados estudados, considerando-se as velocidades de carregamento e a gama de tensões normais empregadas, os resultados do presente trabalho permitem concluir que não há um padrão de variação nos parâmetros coesão e ângulo de atrito interno que venha a sugerir uma relação com a velocidade de carregamento do ensaio. Assim, para fins práticos, pode-se afirmar que a velocidade de carregamento não influencia, significativamente, a resistência ao cisalhamento dos solos ensaiados.

7 – AGRADECIMENTOS

Os autores desejam expressar os seus agradecimentos ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Brasil (CNPq), pelo apoio fornecido, na forma de financiamento à pesquisa e bolsa de mestrado, que possibilitou a realização do presente trabalho.

8 – BIBLIOGRAFIA

- Azevedo, M. A. A. (1999) *Contribuição ao estudo geotécnico de solos de Viçosa-MG*. Viçosa: UFV, 1999. 174 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Viçosa.
- Barbosa, P. S. A. (2002) *Comunicação pessoal*. Viçosa-MG, Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Engenharia Civil.
- Bishop, A. W., Henkel, D. J. (1962) *The measurement of soil properties in triaxial test*. London, Edward Arnold, 227p.
- Bishop, A. W.; Alpan, I.; Blight, G. E.; Donald, I. B. (1960) *Factors controlling the shear strength of partly saturated cohesive soils*, ASCE, Res. Conf. Shear Strength of Cohesive Soils, pp. 503-532.
- Donald, I. B. (1961) *The mechanical properties of saturated and partly saturated soils with special reference to negative pore water pressure*. Ph. D. dissertation, University of London, London, England.
- Gibson, R. E.; Henkel, D. J. (1954) Influence of duration of tests at constant rate of strain on measured “drain” strength, In: *Geotechnique*, vol. 4, p. 6-15.
- Head, K. H. (1986) *Manual of soil laboratory testing*. New York, John Wiley & Sons, vol. 3, 495 p.
- Ho, D. Y. F.; Fredlund, D. G. (1982) *Strain rates for unsaturated soil shear strength testing*, in Proc. 7th Southeast Asian Geotech. Conf., Hong Kong.
- Ker, J. C., Schaefer, C. E. R. (1995) *Roteiro da excursão do XXV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo: Viçosa-Sete Lagoas*. Viçosa: Departamento de Solos, Universidade Federal de Viçosa, 47p.
- Leroueil, S. (1997) *Critical state soil mechanics and the behavior of real soils*. In: Symposium on recent developments in soil and pavement mechanics, Rio de Janeiro, p.27-33.
- Leroueil, S., Vaughan, P R. (1990) The general and congruent effects of structure in natural soils and weak rocks. In: *Geotechnique*, 40, No.3, 467-488.
- Lima, D. C.; Nieto, A. S.; Viotti, C. B.; Bueno, B. S. (1994) *Executive summary*. In: Proceedings of the US/Brazil Geotechnical Workshop on Applicability of Classical Soil Mechanics Principles to Structured Soils, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brazil, November 23-25, p 1-13.
- Pitanga, H. N. (2002) *Influência da velocidade de carregamento e do tempo de inundação na resistência ao cisalhamento de solos estruturados*, UFV, 123 p. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Viçosa.
- Satija, B. S.; Gulhati, S. K. (1979) *Strain rate for shearing testing of unsaturated soil*, in Proc. 6th Asian Reg. Conf. Soil Mech. Found. Eng., Singapore, pp. 83-86.
- Schaefer, C. E. R. (1996) *The microstructure of Brazilian latosols as long-term biotic constructs*. In: Anais, Congresso Latino-americano de Ciência do Solo, 13, 1996, Piracicaba, São Paulo, Brasil, p.1-20.