

SEÇÃO I - FÍSICA DO SOLO

EQUIPAMENTO PARA EXTRAÇÃO DE AMOSTRAS INDEFORMADAS DE SOLO⁽¹⁾

M. A. TEIXEIRA⁽²⁾, P. S. G. MAGALHÃES⁽³⁾ & O. A. BRAUNBECK⁽⁴⁾

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo desenvolver um equipamento para coletar amostras indeformadas de solo de 75 mm de diâmetro a uma profundidade de até 0,60 m, bem como avaliar a qualidade das amostras retiradas. O amostrador foi constituído por um tubo de PVC, acondicionado dentro de um tubo cravador de alumínio equipado com uma ponteira de aço, formando um conjunto sem movimento rotativo. Envolveu este conjunto uma rosca-sem-fim, equipada com três lâminas de corte na sua extremidade. O conjunto foi adaptado a um veículo especificamente projetado para o tráfego no campo (VAS - Veículo Amostrador de Solo). As amostras obtidas pelo VAS foram comparadas com as testemunhas, obtidas pelo método do bloco da parafina, por meio de testes laboratoriais, para verificar a ocorrência de alterações estruturais. Os testes foram: inspeção visual, densidade do solo, ensaio de compressão triaxial rápido e ensaio de adensamento. As amostras obtidas pelo VAS em solo argiloso (Latossolo Roxo) apresentaram confiabilidade (95%) dos valores de densidade do solo, características de resistência à compressão e adensamento iguais à testemunha. O equipamento mostrou-se prático, versátil e adequado para retirar amostras de solos argilosos, sendo a qualidade das amostras semelhante à obtida pelos métodos tradicionais de extração do anel volumétrico e de bloco de solos. O equipamento desenvolvido pode ser útil na coleta de dados para mapeamento de solos, com o auxílio de uma antena de GPS.

Termos de indexação: amostrador, veículo amostrador de solos, solos argilosos.

⁽¹⁾ Parte da Tese de Mestrado apresentada pelo primeiro autor para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Agrícola, FEAGRI-UNICAMP, Campinas (SP) e Parte do projeto "Manejo de Citricultura Irrigada" financiado pela FINEP. Recebido para publicação em junho de 1999 e aprovado em maio de 2000.

⁽²⁾ Bolsista CAPES e FAPESP.

⁽³⁾ Professor da Faculdade de Engenharia Agrícola - Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP. Pesquisador CNPq. E-mail paulo@agr.unicamp.br

⁽⁴⁾ Professor do Departamento de Máquinas Agrícolas - UNICAMP. E-mail oscar@agr.unicamp.br

SUMMARY: SAMPLER FOR THE EXTRACTION OF UNDISTURBED SOIL

A soil sampler was designed and constructed to extract and evaluate undisturbed 75 mm diameter core samples at a depth of up to 0.60 m. Soil sample quality was evaluated and compared using traditional methods. The sampler consisted of a removable polyvinyl chloride (PVC) standard sewage pipe to receive the soil, an aluminium encasing sleeve and a steel conic cutting, surrounded by an auger with three cutting chisels. The soil sampler was adapted to a specially-designed off-road vehicle (VAS). The VAS samples were compared with undisturbed samples taken from a soil block by the following laboratory tests: soil bulk density, triaxial undrained compression test and consolidation test. It was concluded that the soil samples obtained in clay soil using VAS have soil bulk density values, triaxial and consolidation tests results with no statistical difference with 95% of confidence, when compared to soil samples obtained from an undisturbed soil block. The equipment used was easy to operate and adequate to collect undisturbed samples of clay soil, with sample quality similar to that obtained by traditional methods, such as the cylindrical metal sampler and the soil block. It can be useful in the sampling process for soil mapping when using GPS.

Index terms: undisturbed soil sample, sampler, off-road vehicle, clay soils.

INTRODUÇÃO

Para determinar as características de um solo, pode-se recorrer à observação direta no seu local de ocorrência e, ou, à aplicação de testes e ensaios de laboratório em amostras. Para garantir a confiabilidade dos dados, são necessárias, muitas vezes, amostras indeformadas representativas das condições de campo (Magalhães, 1993). Considerando a variabilidade espacial do solo, de modo geral, para obter dados representativos sobre suas características físicas, mecânicas e químicas, é necessário retirar grande número de amostras, o que dificulta a fase operacional da coleta (Reichard et al., 1986).

Com vistas em coletar amostras no campo, o pesquisador tem de optar, dentre os diversos procedimentos para a coleta de amostras de solos, por aqueles mais adequados aos seus propósitos, procurando contemplar: qualidade da amostra, tempo de operação, equipamento disponível e pessoal habilitado. Tais amostras podem ser coletadas por diferentes processos, como: poços, sondagens a trado ou sondagens rotativas, mista ou por cravação no solo, segundo Bueno & Vilar (1984).

Quando a coleta de amostras de solo não é bem-sucedida, todo o trabalho posterior fica comprometido, seja por problemas de insuficiência numérica de amostras, seja pela sua baixa qualidade. Para determinar alguns dos parâmetros edafológicos (umidade, fertilidade, granulometria, entre outros), o uso de amostras deformadas é suficiente, mas, em alguns casos, é necessário manter inalteradas as condições do solo *in situ*, ou seja, em sua estrutura, caso em que são absolutamente necessárias as amostras indeformadas.

Existem diferentes técnicas para a obtenção de amostras indeformadas (La Rochelle et al., 1981; Rogers & Carter, 1987; Arrivo et al., 1993), envolvendo os mais diferentes princípios de funcionamento. Em sua maioria, o princípio de amostragem faz uso da cravação no solo (Persson & Bergström, 1991).

Na busca de um amostrador de solo que seja capaz de retirar amostras indeformadas de solo de alta qualidade e em um tempo reduzido, principalmente para fins agrícolas, este trabalho teve como objetivo o desenvolvimento de um equipamento de amostragem direta.

MATERIAL E MÉTODO

As etapas deste trabalho incluíram: projeto do amostrador, construção do protótipo, adaptação do amostrador a um veículo adequado ao tráfego em terrenos agrícolas e avaliação da qualidade das amostras obtidas.

Amostrador

O amostrador é constituído por um tubo de PVC de 75 mm de diâmetro interno, que recebe a amostra, acondicionado dentro de um tubo cravador, estrutural, de alumínio, de 78,5 mm de diâmetro interno, equipado com uma ponteira de aço SAE 1045 com 69,2 mm de diâmetro interno, concidade de 1% e altura de 44,3 mm (Figura 1).

Os quatro componentes formam um conjunto sem movimento rotativo, envolvido por uma rosca-sem-fim, soldada a um tubo Schedule, com passo de

85 mm, diâmetro externo de 140 mm e interno de 88,9 mm. Esse tubo é responsável pela cravação do amostrador, equipado com três lâminas de corte na sua extremidade. O tubo cravador é rotacionado por um motor hidráulico com torque de 11 N-m a 7 MPa e deslocamento volumétrico de 0,0000967 m³/rev. A transmissão é feita por corrente de rolos com redução de 23/28 (Figura 2). Este conjunto é montado a um mecanismo de quatro barras, responsável pelo deslocamento vertical retilíneo, que é acionado por um cilindro hidráulico, responsável pelo movimento vertical do amostrador. O conjunto é acionado por um cilindro hidráulico e tem um deslocamento vertical retilíneo de 0,9 m, permitindo, desta forma, a retirada de amostras de solo até à profundidade de 0,6 m, suficiente na maioria das amostragens realizadas para fins agrícolas.

Durante os trabalhos de adaptação e ensaios iniciais, foi observada uma aderência do solo à parede

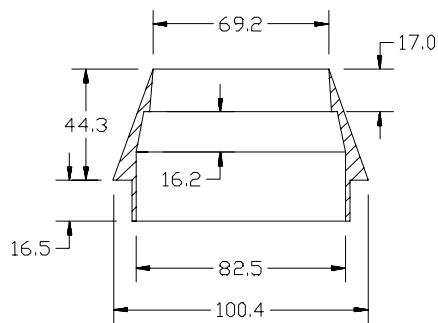


Figura 1. Ponteira de cravação do amostrador (dimensões em mm).

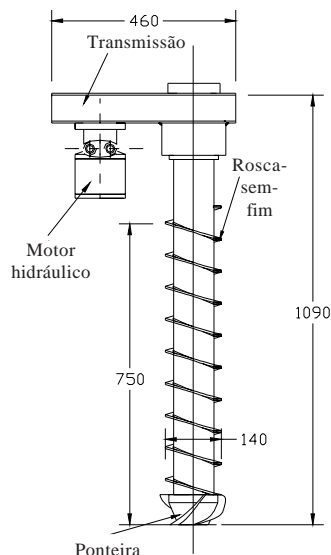


Figura 2. Amostrador de solos (dimensões em mm).

do tubo de PVC, o que dificultava a retirada das amostras e comprometia a qualidade dos resultados. Tal problema foi sanado, aplicando-se uma fina película de óleo SAE 30, ao longo do tubo de PVC antes da coleta das amostras.

Veículo

O amostrador foi adaptado a um veículo especialmente projetado para o tráfego agrícola, o VAS (Veículo Amostrador de Solos). O veículo é um triciclo, tendo como fonte de potência um motor de combustão interna de 10,4 kW a 3600 rpm equipado com uma bomba hidráulica de engrenagens com deslocamento volumétrico de 0,0000066 m³/rev. O acionamento das rodas é feito por meio de dois motores hidráulicos orbitais com torque de 33 N-m/motor a 7 MPa e deslocamento volumétrico de 0,00029 m³/rev montados em paralelo, de forma a funcionarem com efeito diferencial. Utiliza freio a disco nas rodas de tração, rodado constituído por pneus 6-12 para rodas de tração (dianteiras) e 3.5-10 para a roda direcional (traseira). Distância entre eixos: 1,14 m, bitola dianteira externa de 1,6 m, comprimento total de 1,9 m, altura de 1,38 m, raio de giro de 2,7 m e peso total de 4613 N. O conjunto veículo e amostrador é apresentado na figura 3, com suas principais dimensões e localização do centro de gravidade. A figura 4 mostra o veículo adaptado com amostrador e antena de GPS.

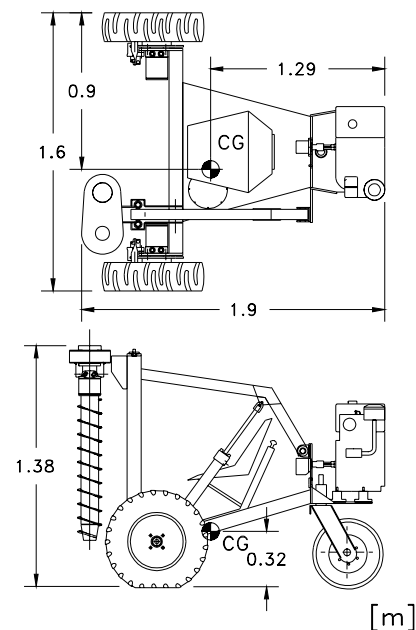


Figura 3. Veículo amostrador de solos (VAS), com as principais dimensões e localização do Centro de Gravidade (CG).



Figura 4. Aspecto final do VAS equipado com antena de GPS.

Amostragem

As coletas tiveram lugar no Campo Experimental da Faculdade de Engenharia Agrícola, Campus da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), município de Campinas (SP). A área está localizada entre as coordenadas geográficas 22°53'22" de latitude sul e 47°04'39" de longitude oeste. O solo está classificado como Latossolo Roxo de textura argilosa.

No processo de obtenção da amostra, as três lâminas de corte são responsáveis pelo esforço de cravação do amostrador, de forma que a força normal exercida pelo mecanismo de quatro barras é nula. O mecanismo de quatro barras, neste caso, tem a função apenas de posicionar o amostrador para obtenção da amostra e, ao final da amostragem, retirar o amostrador. Em camadas mais compactadas de solo, ou quando algum obstáculo natural é encontrado, o braço do mecanismo é capaz de exercer uma força normal de até 1.000 N.

Primeiramente, foram efetuados testes para verificar a influência da velocidade de rotação da rosca-sem-fim externa na qualidade das amostras extraídas. Para tanto, foram realizados ensaios de densidade do solo com amostras obtidas do VAS operando a diferentes rotações. Tais resultados foram comparados com os das amostras extraídas com um anel volumétrico de 53 mm de diâmetro interno e 45 mm de altura.

A qualidade das amostras obtidas pelo VAS operando a 300 rpm foi avaliada por meio de testes laboratoriais de compressão triaxial rápido, tendo os resultados sido comparados com os das amostras retiradas pelo método do Bloco de Parafina, descrito por Nogueira (1973), consideradas como amostras

indeformadas e chamadas de testemunhas, todas retiradas no mesmo dia e local. Deste teste, foram obtidos os valores da coesão e do ângulo de atrito-interno do solo, nas faixas de 0-0,3 m e de 0,3-0,6 m.

Uma vez que a definição de amostra indeformada baseia-se na inalterabilidade da característica de adensabilidade e recalque da amostra (Tschebotarioff, 1973), foram realizados, também, os ensaios de adensamento, com vistas em determinar as características do solo ligadas ao recalque provocado pelo adensamento (Caputo, 1987). Esses ensaios foram feitos com amostras retiradas com o VAS, utilizando, como testemunha, amostras obtidas pelo método de Bloco de Parafina. Com base nestes resultados, foram calculadas as pressões de pré-adensamento, seguindo o método de Casagrande (Bueno & Vilar, 1984).

Para verificar igualdade entre médias, realizou-se a análise estatística de variância, pelo teste FISCHER a 5%.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

No quadro 1, encontram-se os resultados dos ensaios realizados, segundo os métodos descritos, para verificar a influência da velocidade de rotação da rosca-sem-fim na qualidade da amostra (Quadro 1).

A análise de variância mostrou que os valores da densidade do solo nas amostras estratificadas por camadas de 0-10 m, obtidos pelo VAS nas três rotações ensaiadas (250, 300 e 350 rpm), não diferiram estatisticamente entre si ou com os valores da densidade das amostras-testemunhas, obtidos pelo método do anel volumétrico (F crítico = 3.0983).

O amostrador apresentou-se estável e capaz de retirar amostras em rotação de cravação na faixa de 200-350 rpm. Contudo, observou-se que, em baixas velocidades, o sistema apresentou maiores dificuldades de penetração. Quando em altas velocidades, o equipamento tendeu a vibrar acima do desejável, em solos muito compactados, o que pode comprometer a qualidade da amostra. Outro fator que pode interferir na qualidade das amostras é a deformação que elas podem sofrer no momento da retirada do tubo em razão da aderência do solo às paredes do tubo de PVC. Assim, o uso do PVC como tubo amostrador é possível, desde que seja feita a lubrificação de suas paredes internas, pelo uso do óleo SAE 30, por exemplo, o qual se mostrou eficaz no controle da aderência do solo, sem contaminar a amostra, além de ser de fácil manuseio e aplicação.

As figuras 5 a 8 apresentam os resultados dos ensaios dos testes de compressão triaxial rápido, utilizando o Círculo de Mohr e os gráficos de linha

Quadro 1. Valores médios e coeficiente de variação para o parâmetro densidade do solo, obtidos pelo método do anel volumétrico e pelo VAS em diferentes rotações

Profundidade (mm)	Anel volumétrico (Mg m ⁻³)		VAS (Mg m ⁻³)						Anova	
	Média	C.V. ⁽¹⁾	250 rpm		300 rpm		350 rpm		F	Valor de P
			Média	C.V.	Média	C.V.	Média	C.V.		
0-100	1406	5.10	1434	3.00	1366	4.83	1473	2.20	0.972	0.427
100-200	1377	3.63	1419	4.41	1448	4.80	1412	3.78	1.174	0.344
200-300	1394	1.13	1364	3.62	1371	3.86	1354	3.33	2.154	0.125
300-400	1369	1.91	1276	11.84	1336	2.78	1313	4.43	2.23	0.115
400-500	1331	2.85	1289	18.54	1320	3.75	1309	1.76	0.683	0.579
500-600	1251	4.70	1225	5.50	1381	2.04	1336	1.10	2.38	0.137

⁽¹⁾ C.V. Coeficiente de Variação em percentagem.

K_f (Lambe & Whitman, 1969), traçados por meio dos pares de tensão de confinamento e tensão de ruptura. As amostras de solo para estes ensaios foram obtidas por meio do VAS (operando a 300 rpm) e pelo método de bloco de parafina.

Destes gráficos, foram obtidos os valores da coesão e ângulo de atrito interno do solo, nas faixas de 0-0,30 m e de 0,30-0,60 m. As envoltórias obtidas apresentaram um desvio pequeno entre si, comprovado pela proximidade destas às regiões delimitadas pelo erro. Em especial, nota-se que, para a profundidade de 0,30-0,60 m, estas regiões praticamente se sobrepõem na faixa de trabalho da pressão de confinamento.

O quadro 2 apresenta o valor da coesão e o ângulo de atrito interno do solo obtidos para as amostras de solo retiradas na faixa de 0-0,60 m com o VAS operando a 300 rpm e com o bloco de solos retirado pelo método do bloco de parafina utilizado como testemunha.

O ensaio de adensamento, mostrado na figura 9, relativo ao item características de recalque, utilizou amostras retiradas com o VAS operando a 300 rpm e amostras retiradas pelo método da parafina utilizado como testemunha.

No quadro 3, encontram-se os valores das pressões de pré-adensamento calculados pelo método

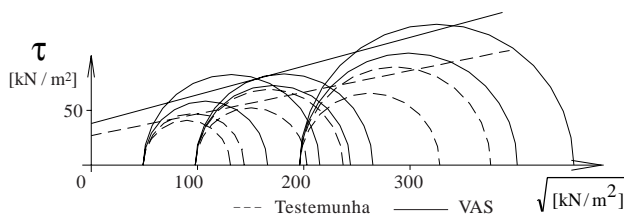


Figura 5. Círculo de Mohr, referente aos ensaios triaxiais para profundidade de trabalho de 0-0,30 m.

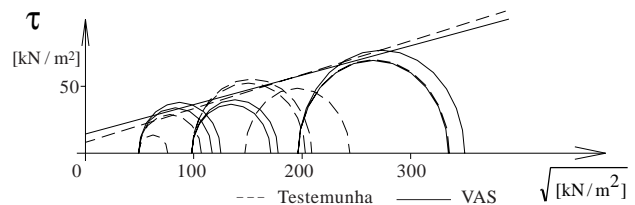


Figura 6. Círculo de Mohr, referente aos ensaios triaxiais para profundidade de trabalho de 0,30-0,60 m.

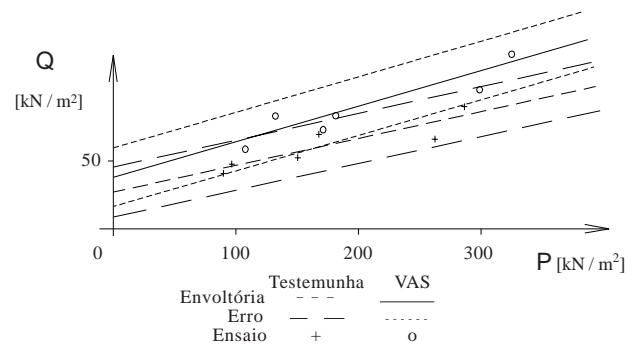


Figura 7. Linha K_p , com a região do erro associado para profundidade de trabalho de 0-0,30 m.

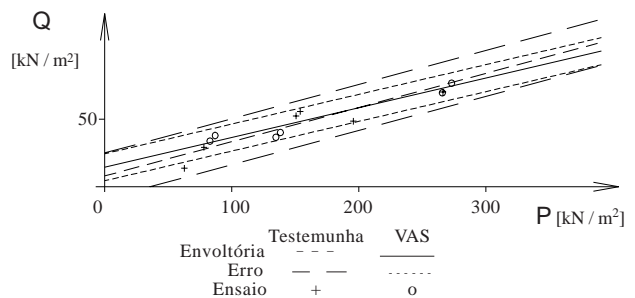


Figura 8. Linha K_f , com a região do erro associado para profundidade de trabalho de 0,30-0,60 m.

Quadro 2. Coesão e ângulo de atrito interno obtidos pelo ensaio de compressão triaxial

Profundidade	Testemunha			VAS a 300 rpm		
	Coesão	Ângulo de atrito	Erro ⁽¹⁾	Coesão	Ângulo de atrito	Erro ⁽¹⁾
m	kN m ⁻²	°	— kN m ⁻² —		°	kN m ⁻²
0-0,30	27,6	11,2	18	38,0	14,7	20
0,30-0,60	8,0	14,2	17	14,4	12,4	10

⁽¹⁾ erro estimado para o valor da coesão de acordo com o método proposto.

de Casagrande. A aplicação do teste de igualdade entre médias nos grupos de dados, testemunha e VAS revelou que, em relação à pressão de pré-adensamento, as amostras não diferiram estatisticamente entre si, com 95% de confiabilidade, com $P(T < t)$ bicaudal igual a 0,4651.

Analisando esses resultados, notou-se que as curvas de comportamento ao recalque apresentaram pequeno desvio, decorrente da variabilidade do solo e da presença de raízes em parte dos corpos de prova, mas demonstraram comportamentos semelhantes, com pressões de pré-adensamento bastante próximas.

O equipamento projetado e construído corresponde às expectativas de uso a que se propôs, mostrando-se: ágil, leve, de fácil transporte e apto a coletar amostras até 0,6 m de profundidade. O tempo necessário para retirada de cada amostra (cerca de 1,5 min) é bastante reduzido, quando comparado ao método tradicional de retirada de amostras indeformadas, facilitando o trabalho de campo. Este aspecto torna-se fundamental, quando são

necessárias grandes quantidades de amostras, como é o caso das análises de campo para fins agrícolas. Com o auxílio de uma antena de GPS (Geography Position System - Sistema de Posicionamento Geográfico), seu uso é particularmente interessante no levantamento de dados para confecção de mapas de solo.

Quadro 3. Valores da pressão de pré-adensamento, obtidos no ensaio de adensamento

Ensaio	Pressão (kN m ⁻²)	
	Testemunha	VAS
1	91,22	118,19
2	102,42	101,10
3	95,85	95,22
Média	96,50	104,83
C. V. (%)	5,83	11,38

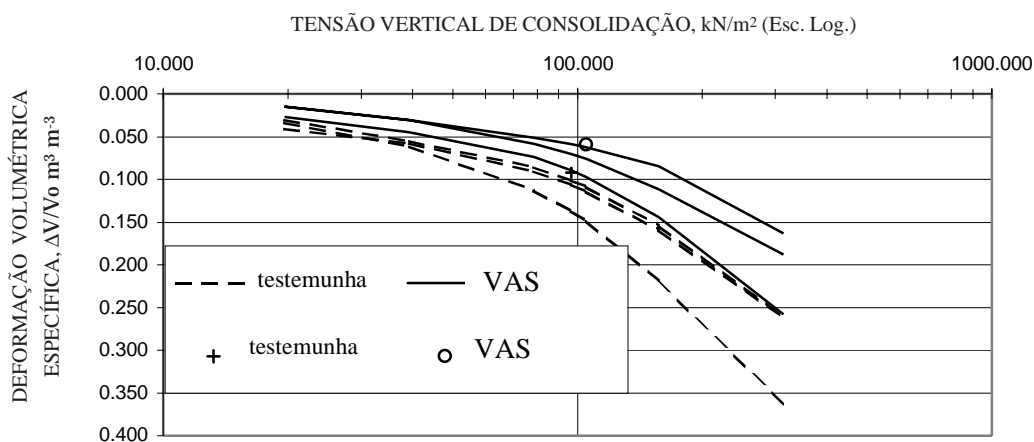


Figura 9. Curvas de adensamento e valores médios de pressão de pré-adensamento (+ o) em amostras extraídas com o VAS e com as testemunhas retiradas pelo método do bloco de parafina.

CONCLUSÕES

1. Segundo os resultados dos ensaios de determinação de densidade do solo, de características do estado de tensão interna e de características de recalque do solo, as amostras retiradas com o equipamento desenvolvido apresentaram qualidade comparável à obtida de outros métodos de extração de amostras. Com base nestes resultados, conclui-se que o VAS pode ser utilizado, com confiabilidade, na extração de amostras indeformadas de solo de textura argilosa como o Latossolo Roxo.

2. Verificou-se que a velocidade de rotação da rosca-sem-fim não exerceu influência na qualidade da amostra, na faixa de 250-350 rpm.

AGRADECIMENTOS

Os autores são extremamente gratos à FINEP, pelo apoio financeiro, assim como à CAPES e FAPESP, pela concessão da bolsa de mestrado ao primeiro autor deste trabalho.

LITERATURA CITADA

ARRIVO, A.; D'ANTONIO, P. & GALLO, L. Strumento per il prelievo di campioni indisturbati di terreno agrario, In: CONVEGNO NAZIONALE AIGR, Basilicata, 1993. Anais. Basilicata, 1993. p.137-142

BUENO, B. S. & VILAR, O. M. Mecânica dos solos. São Carlos, Universidade de São Paulo, 1984. 131p.

CAPUTO, H.P. Mecânica de solos e suas aplicações. 4.ed. Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos, 1987. 242p.

LA ROCHELLE, P; SARRAILH, J.; TAVENAS, F.; ROY, M. & LEROUEIL, S. Causes of sampling disturbance and design of a new sampler for sensitive soils. Can. Geotech. J., 18:52-66, 1981.

LAMBE, T.W. & WHITMAN, R.V.. Soil mechanics. New York, John Wiley & Sons, 1969. 535p.

MAGALHÃES, P.S.G.. Dinâmica de solos. In: CORTEZ, L.A.B. & MAGALHÃES, P.S.G., eds. Introdução à engenharia agrícola. 2.ed. Campinas, Universidade Estadual de Campinas, 1993. 393p. (Série Manuais)

NOGUEIRA, J.B. Mecânica de solos, ensaios de laboratório. São Carlos, Universidade de São Paulo, 1973. 150p.

PERSSON, L. & BERGSTRÖM, L. Drilling methods for collection of undisturbed soil monoliths. Soil Sci. Soc. Am. J., 55:285-287, 1991.

REICHARDT, K.; VIEIRA, S.R. & LIBARD, P.L. Variabilidade Espacial de Solos e Experimentação de Campo. R. Bras. Ci. Solo, 10:1-6, 1986.

ROGERS, J.S. & CARTER, C.E. Soil core sampling for hydraulic conductivity and bulk density. Soil Sci. Soc. Am. J., 51:1393-1394, 1987.

TSCHEBOTARIOFF, G.P; Foundations retaining and earth structures. 2.ed. Tokyo, MacGraw-Hill, 1973. 655p.

