

NOVO AMOSTRADOR PARA AS TERRAS ROXAS (*)

RINO N. TOSELLO

Engenheiro-agrônomo, Seção de Irrigação, Instituto Agrônomo

RESUMO

Neste trabalho descreve-se um novo amostrador tubular, de percussão, especialmente desenvolvido para a amostragem freqüente do solo, em terras roxas, para fins de determinação de umidade e contróle de irrigação.

Um desenho detalhado do novo amostrador é apresentado, com tôdas as indicações necessárias para que as pessoas ou organizações interessadas possam mandar construir novos modelos, em qualquer oficina mecânica bem aparelhada.

1 — INTRODUÇÃO

De acôrdo com os princípios mais modernos de irrigação, a quantidade de água a ser aplicada a uma determinada área pode ser exatamente calculada pela seguinte expressão, adaptada daquela apresentada por Israelsen (4):

$$h = (U_c - U_a) \cdot \rho_a \cdot H/10 \quad (1)$$

na qual, U_c é a umidade do solo denominada de capacidade de campo, U_a a umidade atual do solo, determinada antes da irrigação, ambas expressas em porcentagem de água sôbre o pêso sêco de solo, ρ_a a densidade aparente, em g/cm³, H a profundidade da camada de solo, em cm e h a quantidade de água a ser aplicada, em milímetros.

Uma expressão mais geral dessa fórmula já foi apresentada pelo autor (7), a qual permite calcular a quantidade de água, em milímetros, entre dois teores quaisquer de umidade do solo. No apêndice I apresenta-se uma demonstração da exatidão da fórmula geral, sem a preocupação de que lhe seja atribuído cunho de originalidade.

Aceitando-se os valores de U_c e ρ_a como características físicas determináveis para a camada H, e sendo esta conhecida através de

(*) Recebido para publicação em 10 de dezembro de 1959.

(1) Na prática, a quantidade de água a ser aplicada é obtida dividindo-se h pela eficiência do método de irrigação.

trabalhos preliminares, verifica-se que a quantidade de água a ser aplicada, h milímetros, fica na dependência dos valores de U_a .

Ainda de acôrdo com os princípios da irrigação, aguarda-se na prática até que U_a atinja um certo valor, para então dar-se início imediato à irrigação. Isso implica, pois, na necessidade da manutenção de registros dos valores de U_a , o que é feito mais comumente através da amostragem direta e determinação da umidade em estufa, processo considerado padrão, que deve servir de termo de comparação a outros métodos, mais simples e expeditos.

A amostragem freqüente do solo, para a determinação da quantidade de água a ser aplicada, segundo os princípios já expostos, tem sido um sério problema em terras roxas, nas experiências de campo mantidas pela Seção de Irrigação, do Instituto Agrônômico, em virtude de certas peculiaridades dessa série pedológica, que tornam os amostradores usuais quase que ineficazes. As dificuldades ascendem de importância quando a amostragem deve ser repetidamente feita, em áreas restritas, nos canteiros experimentais.

Embora possa ser argumentado que, em casos semelhantes, a manutenção do balanço de água do solo poderia ser feita por processos indiretos, isso equivaleria a aceitar *a priori* uma exatidão ainda não comprovada de tais métodos, reconhecidamente mais simples e práticos. A necessidade dessa comprovação torna mais evidente ainda o recurso à aplicação do método padrão.

Verifica-se, pois, que um amostrador de terra, adequado para a finalidade, é instrumento imprescindível e condição indispensável para o desenvolvimento dos estudos experimentais de irrigação. Não os havendo, o experimentador deve dispender os seus esforços no sentido de obtê-lo. Com êste objetivo foi aperfeiçoado um amostrador tubular de percussão para as terras roxas, cujos resultados encorajadores justificam a oportunidade de descrevê-lo no presente trabalho.

2 — O AMOSTRADOR "ADEQUADO"

Nos trabalhos experimentais de irrigação em andamento no Instituto Agrônômico, sob a responsabilidade da Seção de Irrigação, numerosos tipos de amostradores têm sido empregados, entre os quais são citados os seguintes, mais comumente conhecidos, conforme são vistos na figura 1: A) amostrador de Veihmeyer; B) trado em saca-rôlhas; C) trado de sondagem; D) enxadão; e E) cavadeira "Pacetta".

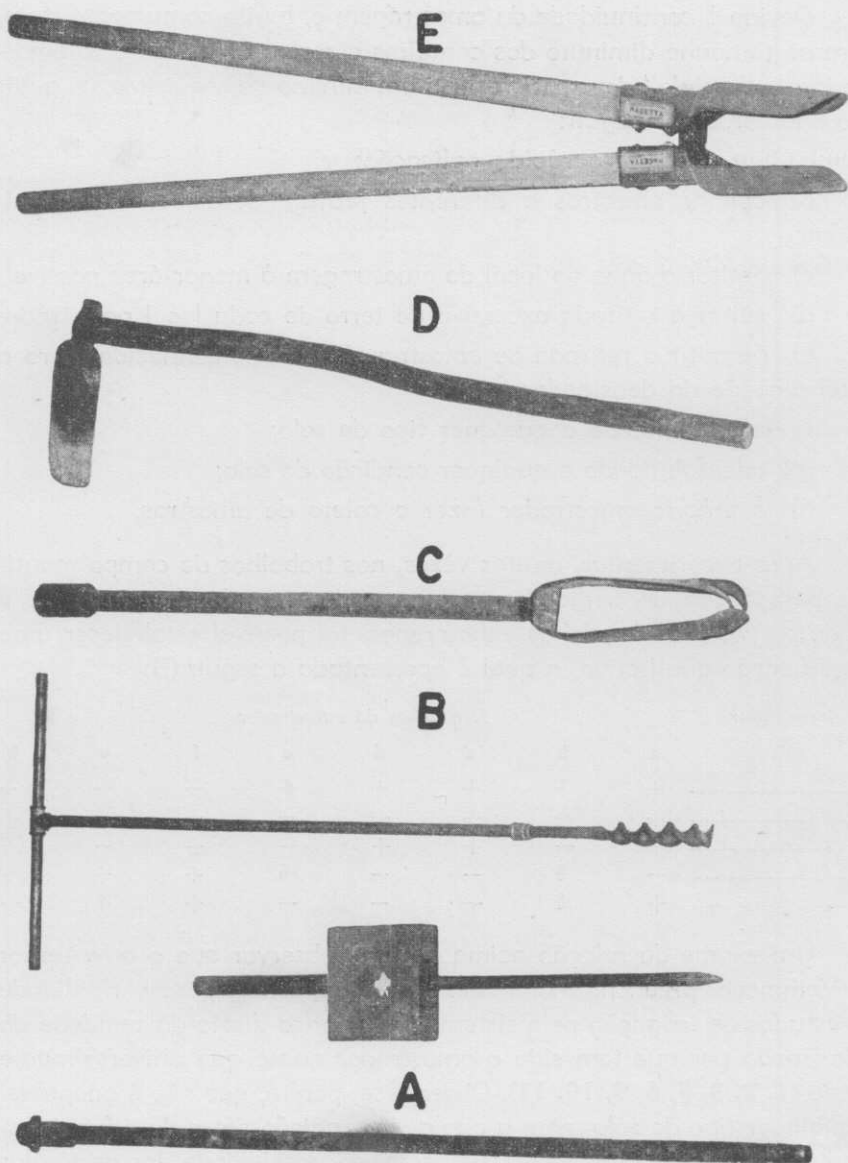


FIGURA 1. — Amostradores de solo e ferramentas utilizados pela Seção de Irrigação do Instituto Agronômico, para a coleta de amostras, no campo, para fins de determinação de umidade: *A* — amostrador de Veihmeyer; *B* — trado em saca-rôlhas; *C* — trado de sondagen; *D* — enxadão; *E* — cava-deira "Pacetta".

Devido à continuidade da amostragem e, muito comumente, também ao tamanho diminuto dos canteiros a serem amostrados, o amostrador "adequado" deve satisfazer a um mínimo de requisitos, os quais são enumerados a seguir:

- a) ser de fácil e rápida aplicação;
- b) coletar amostras a diferentes profundidades, sem contaminá-las;
- c) limitar o dano ao local de amostragem à menor área possível;
- d) evitar a retirada excessiva de terra de cada local amostrado;
- e) permitir a retirada de amostras de volume conhecido, para a determinação da densidade aparente;
- f) adaptabilidade a qualquer tipo de solo;
- g) adaptabilidade a qualquer condição do solo;
- h) o próprio amostrador fazer a coleta de amostras.

Após experimentar, muitas vêzes, nos trabalhos de campo mantidos pela Seção de Irrigação, os amostradores atrás mencionados, e tendo em vista os requisitos enumerados, foi possível estabelecer uma classificação qualitativa, a qual é apresentada a seguir (2):

Amostrador	Requisitos do amostrador							
	a	b	c	d	e	f	g	h
A -----	+	+	+	+	+	-	-	+
B -----	+	-	+	+	-	+	-	+
C -----	+	-	+	+	-	+	-	+
D -----	-	§	-	-	§	+	+	-
E -----	+	§	-	-	-	+	+	-

Um exame da relação acima permite observar que o amostrador de Veihmeyer preenche maior número de requisitos, para a finalidade de estudos de irrigação pelo sistema de balanço direto da umidade do solo, razão por que tem sido o amostrador quase que universalmente usado (1, 2, 3, 5, 6, 9, 10, 11). Observa-se, porém, que não é adaptável a qualquer tipo de solo, nem a qualquer condição dêste. Seu funcionamento depende do grau de consistência, da adesividade das partículas às paredes do tubo, da textura e, possivelmente, de diversos outros fatores. Opera bem em solos principalmente arenosos, tanto secos como úmidos, porém melhor quando mais úmidos do que secos, em virtude

(2) Para os amostradores D e E, os sinais § indicam que os requisitos não são satisfeitos pelo amostrador, cuja função no caso é apenas abrir os buracos, permitindo que a coleta de amostras seja feita manualmente.

da maior facilidade de penetração do amostrador no solo e, vice-versa, do solo no amostrador. A adaptabilidade dêsse amostrador aos solos arenosos da série Bauru é tão satisfatória que podem ser coletadas amostras a mais de dois metros de profundidade, com relativa facilidade.

Verificou-se, porém, que em terras roxas e também nas chamadas "falsas" roxas, o funcionamento do amostrador de Veihmeyer deixa muito a desejar, especialmente quando os solos estão úmidos. Nestas condições, mesmo que se use de certos expedientes, para melhorar o funcionamento do amostrador, como por exemplo a lubrificação das paredes internas com grafite em pó, torna-se praticamente impossível retirar amostras representativas, mesmo a profundidades relativamente pequenas.

A fim de evitar os inconvenientes observados, experimentou-se modificar a forma da ponta de penetração, tanto externa como internamente, sem êxito apreciável. Observou-se que o solo úmido, das camadas mais profundas, comprimia-se de tal forma na ponta do amostrador que a maior penetração dêste resultava, apenas, em aumentar a compactação do solo, logo abaixo do amostrador, sem que nêle entrasse maior quantidade de solo. Nessas condições, a amostra retirada não correspondia à profundidade de penetração do amostrador, circunstância que invalidava o uso do amostrador para a obtenção de amostras representativas, a diversas profundidades, para a determinação de umidade.

Procurando explicar o fracasso das tentativas de funcionamento do amostrador, com as numerosas modificações feitas, argumentou-se que sendo a densidade das terras roxas muito baixa em relação à das demais terras, estando em tôrno da unidade ao longo de todo o perfil, o atrito gerado na ponta do amostrador, com solo úmido, era suficientemente grande para produzir a compactação, que então dificultava a entrada de mais solo no amostrador.

Tornou-se evidente que, para as terras roxas, necessitava-se de um novo amostrador, com as características gerais do amostrador de Veihmeyer, porém que oferecesse menor atrito na ponta da entrada do solo, no amostrador. Tal seria possível aumentando-se o diâmetro da bôca do amostrador e, conseqüentemente, de todo o resto, conforme já fôra observado por Bayer (1). Com essa idéia foi aperfeiçoado um novo amostrador tubular de percussão, para uso específico em terras roxas, cujo desenho detalhado está apresentado à figura 2.

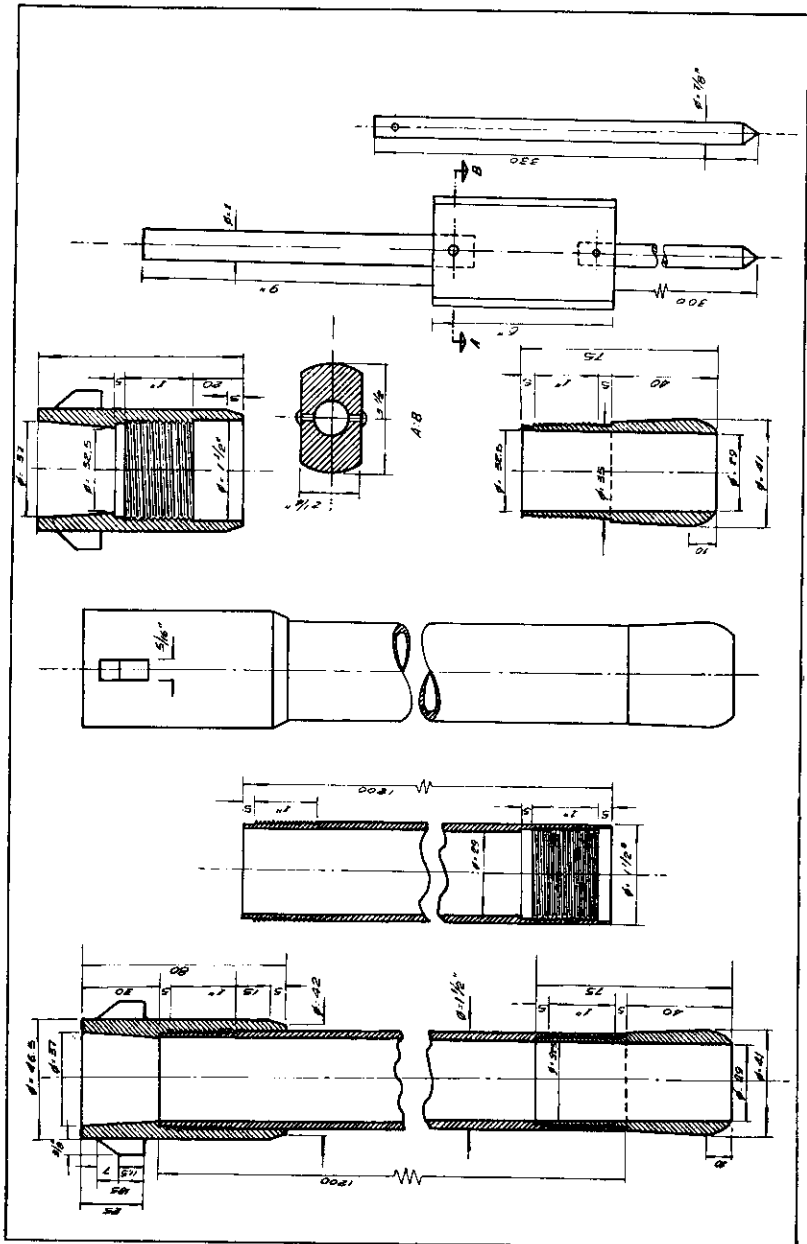


FIGURA 2. — Características do novo amostrador de percussão para terras roxas.

3 — CARACTERÍSTICAS DO NOVO AMOSTRADOR DE PERCUSSÃO

3. 1 — DESCRIÇÃO

Consta o novo amostrador de quatro partes, a saber: **ponta, corpo, cabeça e martelo**. Tanto a ponta como a cabeça são construídas de peças torneadas de aço S. A. E. 1045/50, após o que são submetidas a uma têmpera cuidadosa, que lhes confere a dureza necessária; o corpo é constituído de tubo de aço Mannesman sem costura, de 1 1/2" de diâmetro externo e paredes de cêrca de 2,8 milímetros de espessura, com as extremidades rosqueadas também temperadas, a fim de conferir-lhes a resistência necessária para suportar os choques transmitidos pela cabeça e ponta, durante a penetração, que é conseguida através de choques produzidos com o martelo, sôbre a cabeça do amostrador. Quanto ao martelo, o desenho conforma-se com materiais mais fâcilmente encontrados no mercado, sendo também de aço com teor elevado de carbono, para ser temperado.

A ponta foi desenhada de forma a lhe conferir não sômente resistência adequada na parte cortante, como também para proporcionar o menor atrito à penetração do cilindro de solo cortado, o que se consegue alargando o diâmetro gradualmente, a partir da bôca, até atingir práticamente o diâmetro interno do corpo.

3. 2 — TÉCNICA DO EMPRÊGO DO AMOSTRADOR

Como o novo amostrador foi construído especificamente para a coleta de amostras a diferentes profundidades, para a determinação de umidade, e para que os resultados das amostragens sejam de fato representativos da área, a técnica do emprêgo do amostrador deve ser desenvolvida com os cuidados que a experiência adquirida nos trabalhos de campo melhor indicar. Nesse sentido os trabalhos da Seção de Irrigação permitem recomendar os seguintes cuidados e regras:

a) nas plantas copadas, como o café (ver fig. 3) e citros, amostrar na projeção externa da copa, mantendo-se mínima e práticamente invariável a distância do amostrador à projeção da copa, pois que a distribuição da umidade ao longo do perfil tende a variar com

a distância do local amostrado em relação à projeção externa da copa ou do tronco; conforme se pode julgar pelos resultados de amostragens já existentes, o sistema radicular do café é mais irregular do que o de citros, tornando as amostragens mais difíceis de interpretação, assim dificultando os estudos de balanço de água;



FIGURA 3. — Amostragem de solo em cafézal novo da Estação Experimental "Dr. Theodureto de Camargo", com o amostrador de percussão para terras roxas.

b) em plantas não copadas, plantadas em linhas, como cana-de-açúcar, rami, arroz, milho e algodão, quando o sistema radicular já esteja amplamente estabelecido, a amostragem poderá ser feita no centro das entrelinhas; é provável que esta regra se aplique bem a outras culturas plantadas dessa forma, porém os resultados de amostragens já obtidos indicam que ela se aplica bem àquelas culturas que apresentam sistema radicular uniforme e abundante, facilitando sobremaneira os estudos de balanço de água;

c) amostrar com intervalo de tempo suficientemente longo, para observar as variações de umidade, evitando o pisoteio demasiado e assegurando o mínimo de interferência dos canteiros amostrados; pela mesma razão,

reduzir ao mínimo o número de locais amostrados, tendo em vista, porém, a obtenção de resultados consistentes;

d) as profundidades das amostragens dependem de numerosos fatores, dos quais o principal é o próprio sistema radicular da planta; as camadas são normalmente subdivididas em intervalos de 30 centímetros, amostrados separadamente; as camadas de 0-30 e 30-60 centímetros são as mais comumente amostradas; todavia há casos

em que convirá subdividi-las diversamente, como por exemplo 0-20, 20-50 e 50-80, ou então uma única camada de 0-50 ou 0-60; geralmente, as camadas definitivas a serem amostradas são selecionadas posteriormente, após a realização de trabalhos preliminares.

3. 3 — UTILIDADE GERAL DO AMOSTRADOR

Além do objetivo principal do amostrador desenvolvido, tendo em vista coletar amostras para a determinação de umidade, para fins de balanço de água do solo, ainda apresenta utilidade para os seguintes trabalhos:

a) coleta de amostras volumétricas, para a determinação de densidade aparente das camadas amostradas (1, 10);

b) coleta de amostras de solo, a diversas profundidades, em área previamente umedecida, para a determinação de capacidade de campo, de acordo com método padrão desenvolvido pela Seção de Irrigação, do Instituto Agrônômico, funcionando òtamente nas terras arenosas da série Bauru, pelas razões já expostas anteriormente (8);

c) coleta de amostras para a separação e pêso das raízes, para a determinação da distribuição do sistema radicular da planta; esta determinação, conjugada com a de a, permite a apreciação volumétrica do solo explorado pelas raízes;

d) coleta de amostras em número suficiente, numa determinada área, para formação da amostra "composta", para exame da fertilidade do solo;

e) coleta de amostras ao longo de perfis de traçados de estradas ("sub-grade sampling") para análise física e química, de interesse em estudos rodoviários.

Como a coleta de amostras volumétricas para a determinação de densidade aparente das camadas amostradas está intimamente associada à manutenção do balanço de água do solo, convém seja detalhado aqui o emprêgo do amostrador para essa finalidade.

A construção peculiar do amostrador, e seu emprêgo adequado, em condições favoráveis de solo, permite a obtenção de dados plenamente satisfatórios, cuja precisão pode ser aumentada pela facilidade em aumentar o número de repetições. Nesse sentido podem ser aproveitados dados de coletas de amostras originalmente feitas para a determinação de umidade, quando as coletas forem feitas também

QUADRO 1. — Valores de densidade aparente do solo, obtidos com o novo amostrador tubular de percussão desenvolvido pela Seção de Irrigação do Instituto Agrônômico

TERRAS ROXAS							
CAMPINAS (*)				LIMEIRA (**)			
0-30 cm		0-60 cm		0-30 cm		0-60 cm	
U_a	ρ_a	U_a	ρ_a	U_a	ρ_a	U_a	ρ_a
%	g/cm^3	%	g/cm^3	%	g/cm^3	%	g/cm^3
18,8	1,22	18,6	1,13	18,3	1,18	21,2	1,04
18,3	1,22	20,5	1,07	19,1	1,14	20,4	1,09
19,1	1,24	19,8	1,09	15,5	1,15	20,7	1,06
18,2	1,18	19,5	1,09	17,9	1,12	22,9	1,00
19,5	1,18	19,6	1,11	19,2	1,05	22,2	1,01
19,1	1,24	19,0	1,08	18,6	1,08	23,1	1,02
16,5	1,22	19,5	1,10	19,1	1,12	21,8	1,00
18,8	1,26	19,2	1,14	19,3	1,14	21,2	1,01
16,9	1,25	20,3	1,13	19,2	1,10	22,1	1,01
16,6	1,20	20,7	1,13	18,7	1,14	21,5	1,00
16,1	1,29	20,7	1,12	19,7	1,06	20,2	1,07
20,5	1,27	20,1	1,05	19,7	1,06	20,4	1,04
21,7	1,25	17,6	1,07	19,6	1,15	18,3	0,97
20,7	1,23	15,5	1,19	16,7	1,13	21,2	0,98
18,8	1,24	19,3	1,06	17,9	1,21	21,2	0,97
20,0	1,24	19,6	1,06	19,2	1,17	22,7	0,99
20,4	1,19	19,5	1,06	18,5	1,12	20,6	0,95
18,8	1,19	19,0	1,08	18,4	1,09	19,6	0,95
18,0	1,18	20,3	1,04	19,1	1,08	20,1	0,92
17,7	1,17	20,3	1,06	18,6	1,08	20,0	0,88
18,7	1,22	19,4	1,09	18,6	1,12	21,1	1,00

(*) Amostras coletadas em locais de ensaio de irrigação, na Estação Experimental "Dr. Theodureto de Camargo".

(**) Amostras coletadas na Estação Experimental de Limeira, em pomares de baianinha, nos espaçamentos de 8×8 e 4×4 m.

com a finalidade de determinação de densidade aparente. Assim foram obtidos os valores de densidade aparente apresentados no quadro 1, nas estações experimentais de Campinas e Limeira.

Sendo a densidade aparente do solo dada pela relação entre o pêso de solo sêco P_s (g), e o volume total V (cm^3), e sendo o volume interno do amostrador dado pela relação $V = \pi \cdot d^2 \cdot h/4$, para o diâmetro da bôca do amostrador, que é de 2,9 cm, construiu-se a tabela apresentada no quadro 2, que permite calcular as densidades aparentes para camadas de 10 cm de profundidade, em função do pêso do solo sêco correspondente.

QUADRO 2. — Valores da densidade oparente ρ_a , para cilindros de solo de 10 cm de altura, e volume total de 67,200 cm^3 , em função do pêso sêco P_s correspondente, calculados para o amostrador tubular de percussão de 2,9 cm de diâmetro, na bôca (*)

P_s	ρ_a	P_s	ρ_a	P_s	ρ_a	P_s	ρ_a
g	cm^3	g	cm^3	g	cm^3	g	cm^3
53,76	0,80	67,20	1,00	80,64	1,20	94,08	1,40
55,10	0,82	68,54	1,02	81,98	1,22	95,42	1,42
56,45	0,84	69,89	1,04	83,33	1,24	96,77	1,44
57,79	0,86	71,23	1,06	84,67	1,26	98,11	1,46
59,14	0,88	72,58	1,08	86,02	1,28	99,46	1,48
60,48	0,90	73,92	1,10	87,36	1,30	100,80	1,50
61,82	0,92	75,26	1,12	88,70	1,32	102,14	1,52
63,17	0,94	76,61	1,14	90,05	1,34	103,49	1,54
64,51	0,96	77,95	1,16	91,39	1,36	104,83	1,56
65,86	0,98	79,30	1,18	92,74	1,38	106,18	1,58

(*) Os valores fora da tabela podem ser calculados pela fórmula $\rho_a = P_s/67,20$.

Se o amostrador deixa de operar bem além de certa profundidade, o que pode ocorrer mais comumente pelas razões já apontadas, a amostra volumétrica coletada será menor do que a profundidade da amostragem indicaria, resultando valores de densidades aparentes menores do que os que deveriam ser realmente obtidos. Nestes

casos, o conhecimento prévio das características físicas do solo assume aspecto de particular importância, e a obtenção de valores representativos deve ser feita através de métodos convencionais, de excavação e coleta direta das amostras com o anel volumétrico.

4 — CONCLUSÕES

a) O emprêgo do amostrador tubular de percussão, comumente denominado amostrador de Veihmeyer, é amplamente satisfatório nos solos arenosos, especialmente os da série Bauru, mesmo para a coleta de amostras para a determinação da densidade aparente, constituindo-se em método simples e adequado para a finalidade; porém, não opera bem nas terras roxas, piorando o seu funcionamento à medida que aumenta o teor de umidade.

b) O novo amostrador tubular de percussão, descrito no presente trabalho, opera satisfatoriamente nas terras roxas, até à profundidade de 60 centímetros, não tendo sido objeto de investigação o seu funcionamento a maiores profundidades.

A NEW SOIL SAMPLER SPECIALLY DESIGNED FOR BRAZILIAN PURPLE-SOIL SERIES

SUMMARY

In this paper is described a new soil sampler, specially designed for use in sampling Brazilian purple-soil series, which is known to present very peculiar physical properties.

The sampler was developed as a result of the need to sample the soil frequently, for the purpose of maintaining the soil water balance in irrigation experiments, carried on field plots.

This basic method of controlling water application in such experiments is being extensively used by the Seção de Irrigação, of the Instituto Agronômico.

Detailed drawings and some pictures are shown to allow interested persons or organizations, facing similar problems, to have models of the new sampler built in any good machine shop.

The new sampler is very similar in its general characteristics to Veihmeyer's soil sampling tube, and was developed after the failure of this last sampler to operate properly in Brazilian purple-soils.

LITERATURA CITADA

1. BAVER, L. D. Soil physics. John Wiley & Sons, New York, 1940. p. 174-175.
2. BROWN, J. B. Soil sampling tools. Univ. California, 1945. 7 p. [mimeografado]
3. ESSELEN, D. J. Citrus irrigation practices. S. Africa Dept. Agric., 1937. (Sci. Bull. N.º 169)
4. ISRAELSEN, O. W. Studies on capacities of soils for irrigation water, and a new method of determining volume weight. J. agric. Res. 1:1-35. 1918.
5. PALMER, A. E. Use of irrigation water on farm crops. Dominion of Canada Dept. Agric., 1939. (Publication N.º 509)
6. SARMISH, R. M. Irrigation requirements of a young citrus orchard. Ktavim, Rehovot, Israel, 8(2-3):123-129. 1957.
7. TOSELLO, R. N. Irrigação do cafézal. In Instituto agrônômico do Estado de São Paulo. I Curso de Cafeicultura, 1954. 3.ª edição, 1957. p. [183]-193.
8. ——— Plano para o ensaio de determinação da capacidade de campo. Instituto agrônômico, Seção de Conservação do Solo, 1954. 1 p. [mimeografado]
9. VEIHMEYER, F. J. An improved soil sampling tube. Soil Sci. 2:147-152. 1929.
10. ——— Total pore space of soils in place in the field. Report of the Committee on Physics of Soil Moisture, 1934-35. Amer. Geophys. Un. Trans. Sixteenth Ann. Meet.: 426-432. 1935.
11. ——— & HENDRICKSON, A. H. Soil moisture as an indication of root distribution in deciduous orchards. Plant Physiol. 13:169-177. 1938.

APÊNDICE I

VERIFICAÇÃO DA FÓRMULA $h = (U_1 - U_2) \cdot \rho_a \cdot H/10$, APRESENTADA EM (7).

Consideremos a porção de solo representada pelo quadrilátero cuja superfície é A , expressa em cm^2 , e cuja altura é H , expressa em cm .

Sejam U_1 e U_2 dois teores quaisquer de umidade daquela porção de solo. Lembrando que $U_a = 100 \cdot q_a/P_a$, na qual U_a é um teor qualquer de umidade, expresso em porcentagem do pêso sêco de solo, q_a a quantidade de água evaporada a 105°C em g , e P_s o pêso sêco de solo em g , tem-se:

$$U_1 - U_2 = 100 \cdot (q_1 - q_2)/P_s \quad (1)$$

Lembrando ainda que $\rho_a = P_s/V_a$, na qual P_s é o pêso de solo sêco em g , V_a o volume aparente do solo, em cm^3 , e ρ_a a densidade aparente do solo, em g/cm^3 , obtém-se: $P_s = \rho_a \cdot V_a$ que, substituído em (1), dá:

$$U_1 - U_2 = 100 \cdot (q_1 - q_2)/\rho_a \cdot V_a \quad (2)$$

Mas sendo $V_a = A \cdot H$, obtém-se com a transposição de termos na equação (2):

$$(U_1 - U_2) \cdot \rho_a \cdot H \cdot A = 100 \cdot (q_1 - q_2) \quad (3)$$

Dividindo-se ambos os membros da equação (3) por A , obtém-se:

$$(U_1 - U_2) \cdot \rho_a \cdot H = 100 \cdot (q_1 - q_2)/A \quad (4)$$

Fazendo-se uma verificação das unidades empregadas na equação (4) obtém-se:

$$\text{cm} \cdot \text{g/cm}^3 = \text{g/cm}^2$$

Discrepância que facilmente se contorna, multiplicando-se o 2.º membro pela expressão cm^3/cm^3 , obtendo-se então a identidade desejada:

$$\text{cm} \cdot \text{g/cm}^3 = (\text{g/cm}^2) \cdot (\text{cm}^3/\text{cm}^3) = \text{cm} \cdot \text{g/cm}^3$$

Podendo-se pois expressar q_1 e q_2 , g de água evaporada, em cm^3 , sem alterar a identidade, e substituindo-se q_1/A e q_2/A pelas alturas de água correspondentes h_1 e h_2 , expressas em cm, obtém-se:

$$(U_1 - U_2) \cdot \rho_a \cdot H = 100 \cdot (h_1 - h_2) \quad (5)$$

Dividindo-se ambos os membros da equação acima por 10, e substituindo-se $(h_1 - h_2) \cdot 10$ por h , expresso em milímetros, obtém-se, com a inversão dos membros:

$$h = (U_1 - U_2) \cdot \rho_a \cdot H/10 \quad (6)$$

a qual é a fórmula geral já referida, apresentada em (7), e da qual a fórmula apresentada na introdução é um caso particular.

Na verificação da fórmula (6) acima não se pretendeu dar cunho de originalidade, porquanto é provável e mesmo lógico admitir-se que essa verificação já tenha sido feita anteriormente, porém como não a encontramos na literatura corrente, julgamos que seria de alguma utilidade demonstrar a exatidão da fórmula que é hoje uma das bases sobre as quais assenta a moderna técnica da irrigação agrícola.