

USO DA CENTRÍFUGA PARA DETERMINAÇÃO DA CURVA DE RETENÇÃO DE ÁGUA DO SOLO, EM UMA ÚNICA OPERAÇÃO¹

ELIAS DE FREITAS JÚNIOR² e EUZÉBIO MEDRADO DA SILVA³

RESUMO - Uma equação derivada da teoria da centrífuga, aplicada à física do solo, é proposta para a determinação de curvas de retenção de água, através do fatiamento de amostras centrifugadas, em uma única operação. O modelo desenvolvido permite calcular o potencial matricial médio atuante em qualquer segmento, ao longo de uma amostra centrifugada. A amostra, inicialmente saturada, é centrifugada numa rotação previamente escolhida através da equação proposta, até que se atinja o equilíbrio entre o potencial estabelecido e a água retida. Foram utilizadas amostras não deformadas de um Latossolo Vermelho-Escuro, textura média coletadas em área virgem dos cerrados brasileiros, para o estabelecimento das curvas de retenção pela metodologia proposta. Para efeito de comparação, as curvas também foram determinadas pelos métodos tradicionais da câmara de pressão e da centrífuga. Os valores de umidade, obtidos pelos diferentes métodos, correlacionaram-se de maneira altamente significativa.

Termos para indexação: física do solo, amostras de solo centrifugadas, fatiamento de amostras de solo, teoria da centrífuga.

THE USE OF THE CENTRIFUGE FOR DETERMINING THE SOIL MOISTURE CHARACTERISTIC CURVE IN ONE STEP

ABSTRACT - An equation derived from the centrifuge theory is proposed as a one-step method for determining the soil moisture characteristic curve using the centrifuge. The methodology involves the slicing of a centrifuged soil cores. The model described permits the calculation of the average matric potential acting on any segment along the centrifuged soil core length. The sample, initially saturated, is centrifuged at a previously selected rotation according to the proposed equation until it reaches the equilibrium between the established matric potential and the retained water. This method was compared with the traditional centrifuge and pressure chamber methods using a dark-red latosol soil of medium texture from the Cerrados of Brazil. Moisture values obtained by all the three methods tested were highly correlated.

Index terms: centrifuged soil cores, sliced soil cores, centrifuge theory, soil physics.

INTRODUÇÃO

A curva de retenção de água, também conhecida como curva característica de umidade, é um dos parâmetros básicos requeridos no estudo dos processos de transferência da água no solo. As primeiras tentativas para correlacionar o teor de água do solo e seu potencial, utilizando a centrifugação de amostras, ocorreram com Briggs & McLane (1907, 1910). Veihmeyer et al. (1924) e Thomas & Harris (1925) estudaram a influência do tamanho da amostra e do tempo de centrifugação na determinação do equivalente de umidade. Russel & Richards (1938) apresentaram um tratamento mais comple-

to e objetivo da teoria que envolve a determinação da curva de retenção através de centrífugas. Nesse trabalho, a aplicabilidade da teoria é demonstrada determinando-se curvas de retenção para solos com textura arenosa e argilosa, através de centrífugas com raios diferentes.

Com o advento das câmaras de pressão de Richards (Richards & Fireman 1943) e suas facilidades, as centrífugas foram relegadas a um segundo plano, em virtude, provavelmente, das dificuldades operacionais inerentes ao controle preciso da velocidade angular.

Alemi et al. (1976), aproveitando o gradiente de potencial estabelecido na amostra durante a centrifugação, utilizaram a teoria da centrífuga para desenvolver modelos matemáticos com o objetivo de determinar a condutividade hidráulica não saturada do solo.

Paningbatan Junior (1980), seguindo a mesma linha de pesquisa de Alemi et al. (1976), utilizou, pela primeira vez, o fatiamento de amostras cen-

¹ Aceito para publicação em 30 de agosto de 1984
Trabalho apresentado no XIX Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Curitiba, julho de 1983.

² Eng. - Agr., M.Sc., Dr., EMBRAPA/Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados (CPAC), Caixa Postal 70.0023, CEP 73300 Planaltina, DF.

³ Eng. - Agr., M.Sc., EMBRAPA/CPAC.

trifugadas para determinação da curva de retenção. Porém, numa visão simplista do problema, esse autor considerou o potencial na superfície média da camada estudada, como representativo do potencial médio desta camada o que não é teoricamente correto.

Esse trabalho objetivou adaptar a teoria da centrífuga, aplicada à física do solo, para o cálculo do potencial médio em qualquer camada de uma amostra de solo submetida à centrifugação, e assim viabilizar, em laboratório, o levantamento de uma curva de retenção de água, em uma única operação.

Teoria

A centrifugação de uma amostra de solo, previamente saturada (Fig. 1), gera um potencial matricial crescente ao longo do seu comprimento (de r_0 a r_n). A relação entre este potencial, a velocidade angular estabelecida e o raio da centrífuga são definidos por:

$$d\psi_r = \omega^2 g^{-1} r dr \quad (1)$$

onde: ψ_r = potencial matricial da amostra na superfície em r (cm de H_2O)

ω = velocidade angular (rad. seg^{-1})

g = aceleração da gravidade (cm. seg^{-2})

r = distância do eixo da centrífuga à superfície em r (cm).

Integrando-se a eq. 1 no intervalo (r, r_i) obtém-se que:

$$\psi_r = \frac{1}{2} \omega^2 g^{-1} (r^2 - r_i^2) + \psi_{r_i} \quad (2)$$

onde: ψ_{r_i} = potencial matricial da amostra na superfície em r_i (cm de H_2O)

r_i = distância do eixo da centrífuga à superfície em r_i (cm).

A eq. 2 é a função que descreve a distribuição do potencial ao longo de r , até r_i .

O potencial matricial médio no intervalo $[r_{i-1}, r_i]$ da função ψ_r é definido por:

$$\bar{\psi}_{(r_{i-1}, r_i)} = \frac{\int_{r_{i-1}}^{r_i} \psi_r dr}{\int_{r_{i-1}}^{r_i} dr}$$

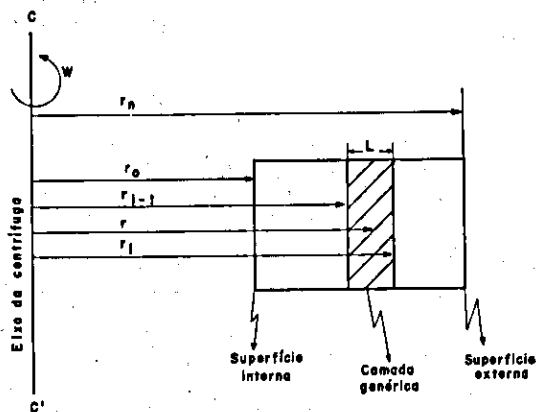


FIG. 1. Representação esquemática de uma amostra na centrífuga.

Aplicando a eq. 2 na eq. 3, integrando e substituindo $(r_i - r_{i-1})$ por L , obtém-se:

$$\bar{\psi}_{(r_{i-1}, r_i)} = \frac{1}{6} \omega^2 g^{-1} L (L - 3r_i) + \psi_{r_i} \quad (4)$$

Reescrevendo-se a eq. 2 para $r = r_{i-1}$, tem-se o potencial $(\psi_{r_{i-1}})$ na superfície $i-1$:

$$\psi_{r_{i-1}} = \frac{1}{2} \omega^2 g^{-1} (r_{i-1}^2 - r_i^2) + \psi_{r_i} \quad (5)$$

Aplicando-se a eq. 5 para a superfície em $i = n$ e considerando-se o potencial matricial na superfície em r_n , por onde a água é liberada durante a centrifugação, igual a zero, obtém-se:

$$\psi_{r_{n-1}} = \frac{1}{2} \omega^2 g^{-1} (r_{n-1}^2 - r_n^2) \quad (6)$$

Para $i = n-1$, a eq. 5 fica:

$$\psi_{r_{n-2}} = \frac{1}{2} \omega^2 g^{-1} (r_{n-2}^2 - r_{n-1}^2) + \psi_{r_{n-1}} \quad (7)$$

Aplicando-se a eq. 6 na eq. 7, chega-se a:

$$\psi_{r_{n-2}} = \frac{1}{2} \omega^2 g^{-1} (r_{n-2}^2 - r_{n-1}^2) + \frac{1}{2} \omega^2 g^{-1} (r_{n-1}^2 - r_n^2)$$

Simplificando-se, tem-se que:

$$\psi_{r_{n-2}} = \frac{1}{2} \omega^2 g^{-1} (r_{n-2}^2 - r_n^2). \quad (8)$$

Por indução, a partir da eq. 6 e eq. 8, o potencial matricial na superfície genética r_i fica definido pela seguinte equação:

$$\psi_{r_i} = \frac{1}{2} \omega^2 g^{-1} (r_i^2 - r_n^2). \quad (9)$$

Aplicando-se a eq. 9 na eq. 4, o potencial médio na camada delimitada por $[r_{i-1}, r_i]$ fica assim definido:

$$\psi_{(r_{i-1}, r_i)} = \frac{1}{6} \omega^2 g^{-1} [L(L-3r_i) + 3(r_i^2 - r_n^2)]. \quad (10)$$

A eq. pode ser considerada a equação genérica para o cálculo do potencial médio (cm de H_2O) em qualquer segmento de uma amostra centrifugada numa dada velocidade angular (rad. seg^{-1}).

O cálculo da velocidade angular, em rotações por minuto (W), para um dado valor de potencial médio, em atmosfera (\bar{H}), pode ser obtido mais facilmente, reescrevendo-se a eq. 10 da seguinte forma:

$$W = 23.540 [\bar{H}_{(r_{i-1}, r_i)} / L(L - 3r_i) + 3(r_i^2 - r_n^2)]^{1/2}. \quad (11)$$

TABELA 1. Valores de potencial matricial médio calculados por camada e na amostra toda, para diferentes valores de velocidade angular em uma centrífuga com $r_0 = 3,3$ cm.

Velocidade angular (rpm)	Potencial médio (atm)					
	0 - 1 cm	1 - 2 cm	2 - 3 cm	3 - 4 cm	4 - 5 cm	0 - 5 cm
746	-0,162	-0,138	-0,106	-0,068	-0,024	-0,100
1056	-0,324	-0,276	-0,212	-0,136	-0,048	-0,200
1356	-0,534	-0,455	-0,350	-0,224	-0,079	-0,330
1669	-0,809	-0,690	-0,530	-0,340	-0,120	-0,500
1975	-1,133	-0,966	-0,743	-0,476	-0,168	-0,700
2361	-1,619	-1,380	-1,061	-0,680	-0,240	-1,000

MATERIAL E MÉTODOS

As curvas de retenção de água foram determinadas no Laboratório de Física do Solo da EMBRAPA/CPAC, utilizando-se amostras não deformadas de um Latossolo Vermelho-Escuro, textura média, coletadas em área virgem dos cerrados, à uma profundidade de 50 cm. Foram estudadas amostras contidas em anéis volumétricos de 100 cm^3 , com comprimento de 5 cm.

O cálculo da velocidade angular para cada potencial foi efetuado usando-se a eq. 11, a partir de valores de potencial médio da amostra previamente selecionados (Tabela 1).

Para cada teste de retenção, foram utilizadas quatro amostras previamente saturadas. As amostras saturadas foram submetidas à centrifugação até o equilíbrio, para cada velocidade angular selecionada (Fig. 2). Após o equilíbrio, as amostras foram retiradas da centrífuga e, imediatamente, cada uma foi fracionada em cinco subamostras de 1 cm de espessura. Para este procedimento, introduziu-se no anel um êmbolo graduado com diâmetro igual ao diâmetro interno do anel (Fig. 3). Esse êmbolo foi introduzido pela extremidade mais seca da amostra e a cada centímetro penetrado a fração expulsa do anel foi seccionada, pesada e levada à estufa a 105°C até massa constante. A partir desses dados, foi calculada a umidade volumétrica para cada camada da amostra.

Foram determinados, também para efeito de comparação, os valores de umidade volumétrica para os potenciais matriciais do solo estudado, pelos métodos clássicos da centrífuga (Russell & Richards 1938) e da câmara de pressão de Richards (Richards & Fireman 1943). O tempo de equilíbrio considerado para a centrífuga foi de seis horas (Fig. 2), enquanto para a câmara de pressão variou de 24 a 72 horas. A obtenção dos dados pelo método da centrífuga foi feita a partir de oito amostras de solo em duas operações, enquanto que pelo método da câmara de pressão foram utilizadas 24 amostras, também em duas operações.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O modelo proposto através da eq. 9 descreve corretamente a distribuição do potencial matricial em uma amostra.

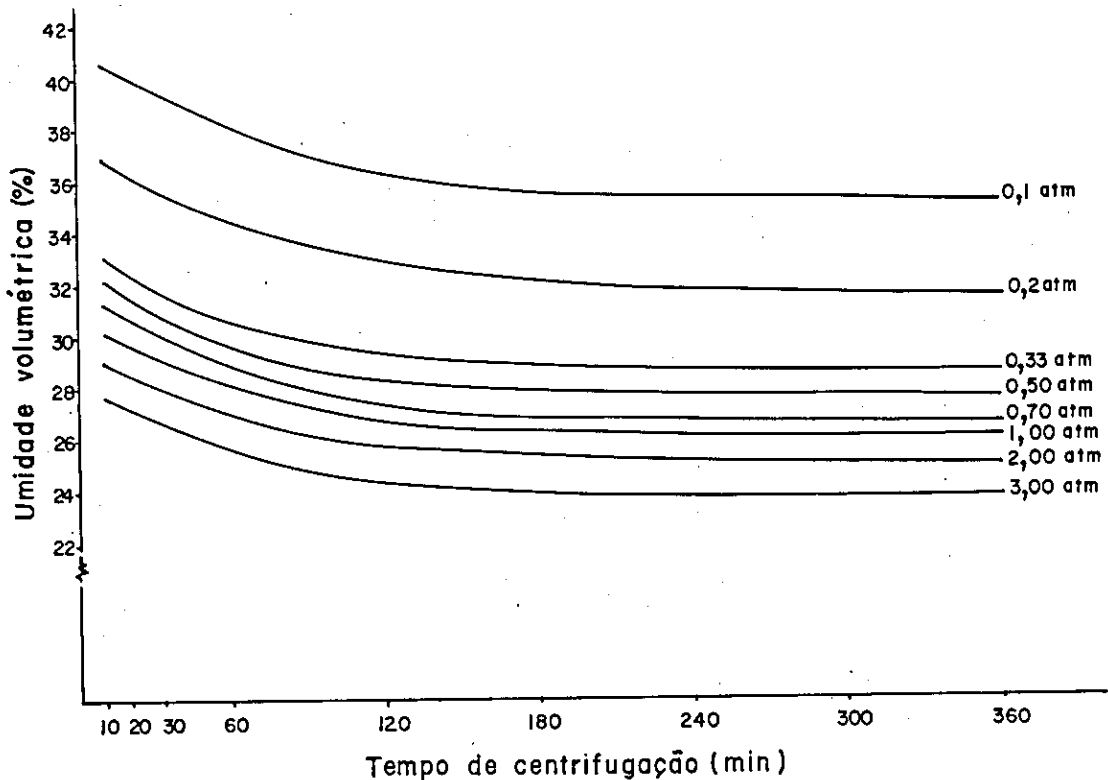


FIG. 2. Curvas de estabilização de umidade em amostras do LE submetidas à centrifugação.

tra de solo, em equilíbrio com o potencial resultante da força centrífuga. Essa distribuição não é linear e, portanto, o potencial matricial médio de uma determinada camada da amostra centrifugada não ocorre necessariamente no seu ponto médio. A eq. 11 permite que seja calculado facilmente esse potencial matricial médio para cada camada ou para a amostra toda, a partir de uma dada rotação. Cabe ressaltar que os potenciais matriciais são crescentes a partir do eixo da centrífuga e, portanto, o fluxo de água durante a centrifugação será a favor do gradiente de potencial matricial estabelecido.

Observando-se a variação da umidade na amostra em função da velocidade angular e do tempo de centrifugação, para o Latossolo Vermelho-Escuro estudado (Fig. 2), notou-se que o tempo de equilíbrio ocorreu após cerca de três horas, independentemente da rotação adotada. Um fato importante a ser considerado é o paralelismo entre as curvas. Isto permite prever o ponto de equilíbrio de uma amostra, a partir de qualquer ponto da curva, através de fatores de correção, embora esse procedimento deva ser visto com reservas. Desta maneira, a obtenção dos valores de umidade em função de uma dada rotação pode ser feita utilizando-se um tempo inferior ao de equilíbrio, o que reduzirá sensivelmente o tempo neces-

sário para o levantamento dos pontos de uma curva de retenção. Contudo convém salientar que as curvas de estabilização variam de acordo com o solo estudado (Veihmeyer et al. 1924).

Os valores de umidade volumétrica e seus correspondentes valores de potencial matricial, obtidos através da metodologia aqui proposta, foram comparados com aqueles encontrados através dos métodos clássicos da centrífuga e da câmara de pressão, conforme mostra a Fig. 4. Dessa comparação, pode-se observar que existe concordância entre os valores encontrados pelos diferentes métodos. Usando como ajuste uma equação potencial, obteve-se, com um $r^2 = 0,9322^{**}$ (para $n = 42$), a seguinte equação de regressão:

$$\log(\bar{H}) = 9,2206 - 6,6640 \log \theta.$$

A determinação da curva de retenção usando a metodologia proposta apresenta algumas vantagens operacionais, tais como: a) a paralização do secamento, que ocorre com a interrupção do contato entre a amostra e a placa porosa, no método da câmara de pressão, dada a contração de solos com alto teor de argila 2:1, não acontece na centrifugação; b) uma curva de retenção de água pode ser obtida mais rapidamente que nos métodos tradicionais;

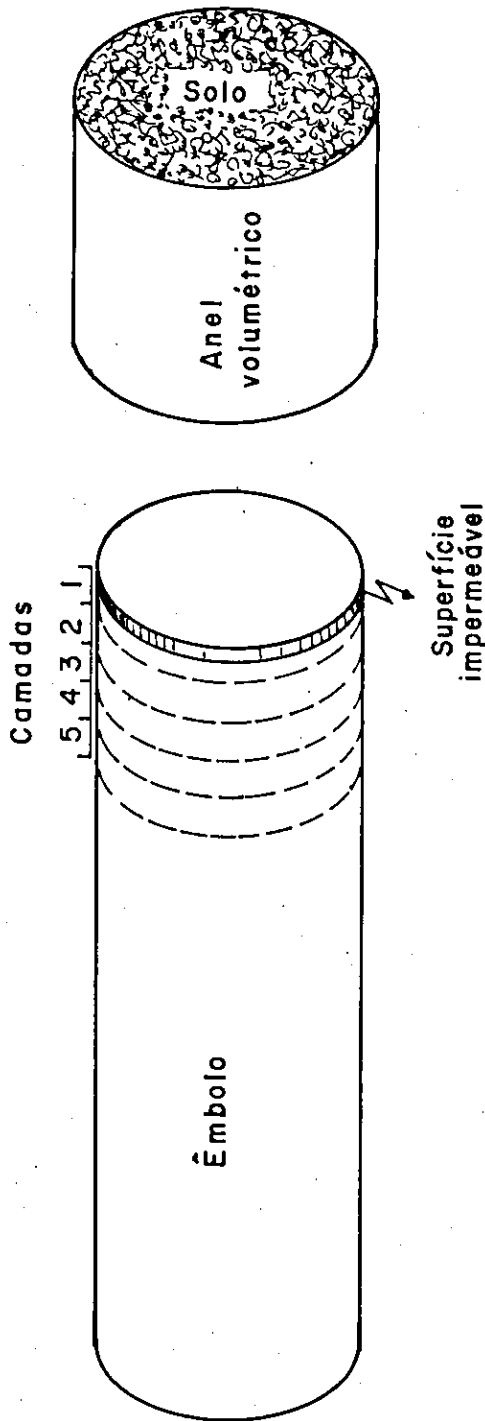


FIG. 3. Ilustração do êmbolo e anel volumétrico utilizados.

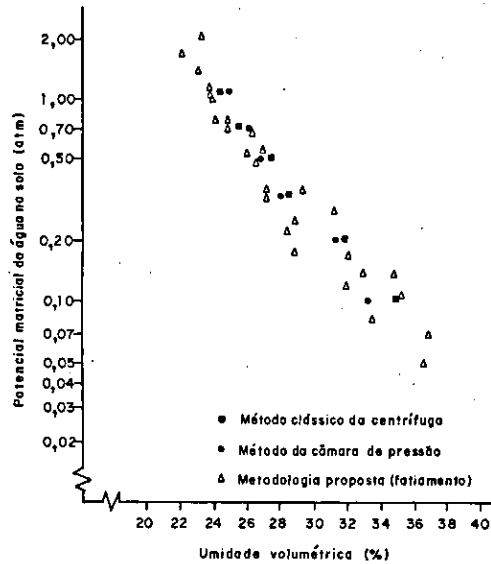


FIG. 4. Valores de umidade volumétrica obtidos para diferentes potenciais matriciais nos três métodos testados.

c) o processo envolve uma única saturação, minimizando os efeitos da histerese (Silva 1980). No método da câmara de pressão, após atingido o equilíbrio a uma dada pressão, pesa-se a amostra e retorna-se à placa, exigindo uma adição de água, pelo menos para o reestabelecimento do contato amostra-placa, o que contribui para a histerese.

Citam-se como desvantagens a presença de grumos que dificulta e pode limitar o fatiamento da amostra, e a compactação, que, para este solo, começou a ocorrer entre 2369 e 3339 rpm. O problema da compactação pode ser contornado calculando-se os novos potenciais decorrentes das novas dimensões da amostra.

CONCLUSÕES

1. A utilização do fatiamento de amostras centrifugadas é viável para a determinação de curvas de retenção de água do solo, em rotina de laboratório.

2. A eq. 11, desenvolvida neste trabalho, é genérica e permite calcular o potencial matricial médio em qualquer segmento considerado da amostra centrifugada a uma dada rotação.

3. É possível a determinação de uma curva de retenção sem esperar que o tempo de equilíbrio seja atingido, uma vez conhecidas as curvas de estabilização do solo estudado.

REFERÊNCIAS

- ALEMI, M.H.; NIELSEN, D.R. & BIGGAR, J.W. Determining the hydraulic conductivity of soil cores by centrifugation. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 40:212-8, 1976.
- BRIGGS, L.J. & MCLANE, J.W. The moisture equivalents of soils. Washington, USDA, 1907. (USDA. Bureau of Soils. Bulletin, 45).
- BRIGGS, L.J. & MCLANE, J.W. Moisture equivalent determinations and their application. *Proc. Am. Soc. Agron.*, 2:138-47, 1910.
- PANINGBATAN JUNIOR, E.P. Determination of soil moisture characteristics and hydraulic conductivity using a centrifuge. Davis, University of California, 1980. 198p. Tese Ph.D.
- RICHARDS, L.A. & FIREMAN, M. Pressure plate apparatus for measuring moisture sorption and transmission by soils. *Soil Sci.*, 56:395-404, 1943.
- RUSSELL, M.B. & RICHARDS, L.A. The determination of soil moisture energy relations by centrifugation. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 3:65-9, 1938.
- SILVA, E.M. da. A test of the independent domain theory for predicting moisture hysteretic paths. Davis, University of California, 1980. 165p. Tese Mestrado.
- THOMAS, M.D. & HARRIS, K. The moisture equivalent of soils. *Soil Sci.*, 26(6):411-24, 1925.
- VEIHMEYER, F.H.; ISRAELSEN, O.W. & CONRAD, J. P. The moisture equivalent as influenced by the amount of soil used in its determination. Berkeley, Univ. California Printing Office, 1924. (Univ. California, College of Agriculture. Agric. Exp. Stn. Technical Paper, 16).