

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
Embrapa Solos  
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

# **Manual de Métodos de Análise de Solo**

**3ª edição revista e ampliada**

*Paulo César Teixeira  
Guilherme Kangussu Donagemma  
Ademir Fontana  
Wenceslau Geraldes Teixeira*  
Editores Técnicos

**Embrapa**  
Brasília, DF  
2017

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

**Embrapa Solos**

Endereço: Rua Jardim Botânico, 1024. Jardim Botânico

CEP: 22460-000 - Rio de Janeiro, RJ

Fone: + 55 (21) 2179-4500

Fax: + 55 (21) 2179-5291

<https://www.embrapa.br>

<https://www.embrapa.br/fale-conosco/sac/>

**Unidade responsável pelo conteúdo e edição**

Embrapa Solos

**Comitê de Publicações da Embrapa Solos**

Presidente: *José Carlos Polidoro*

Secretário-Executivo: *Jacqueline Silva Rezende Mattos*

Membros: *Ademar Barros da Silva, Adriana Vieira de C. de Moraes, Alba Leonor da Silva Martins, Enyomara Lourenço Silva, Evaldo de Paiva Lima, Joyce Maria Guimarães Monteiro, Luciana Sampaio de Araujo, Maria Regina Laforet, Maurício Rizzato Coelho, Moema de Almeida Batista, Wenceslau Gerales Teixeira*

Supervisão editorial: *Jacqueline Silva Rezende Mattos*

Normalização bibliográfica: *Luciana Sampaio de Araujo*

Editoração eletrônica: *Jacqueline Silva Rezende Mattos*

Capa: *Eduardo Guedes de Godoy*

Revisão de texto: *André Luiz da Silva Lopes e  
Marcos Antônio Nakayama*

**3ª edição**

Publicação digitalizada (2017)

**Todos os direitos reservados.**

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**

Embrapa Solos

---

Manual de métodos de análise de solo / Paulo César Teixeira ... [et al.], editores técnicos. – 3. ed. rev. e ampl. – Brasília, DF : Embrapa, 2017.

573 p. : il. color.

ISBN 978-85-7035-771-7

1. Análise do solo. 2. Física do solo. 3. Química do solo. 4. Matéria orgânica. 5. Mineralogia. I. Teixeira, Paulo César. II. Donagemma, Guilherme Kangussu. III. Fontana, Ademir. IV. Teixeira, Wenceslau Gerales. V. Embrapa Solos.

CDD 631.40202

## — Capítulo 4 —

# RETENÇÃO DE ÁGUA NO SOLO PELOS MÉTODOS DA MESA DE TENSÃO E DA CÂMARA DE RICHARDS

Wenceslau Gerales Teixeira

Silvio Barge Behring

### 4.1 Introdução

A retenção de água no solo expressa a energia de ligação da água ao solo, sendo consequência da força gravitacional, das forças capilares e das propriedades de superfície das partículas minerais e orgânicas, que apresentam capacidade de adsorção de água.

Os potenciais da água no solo, que podem ser aplicados por sucção (tensão) ou pressão, serão tratados neste capítulo com seus valores em módulos, e são usualmente determinadas em 0 kPa; 1 kPa; 6 kPa; 10 kPa; 33 kPa; 100 kPa; 500 kPa e 1.500 kPa. Com os pares de pontos de potencial e umidade, podem ser ajustadas as curvas características de retenção de umidade do solo e estimados os teores da água disponível. A umidade no potencial de 1.500 kPa é denominada de ponto de murcha permanente (PMP) e, no potencial de 10 kPa ou 33 kPa, de capacidade de campo (CC). A subtração entre CC – PMP resulta na água disponível (AD) para as plantas. A multiplicação da AD por uma espessura de interesse no solo e

pela densidade do solo determina a capacidade de água disponível no solo (CAD).

## **4.2 Determinação da retenção de água em mesa de tensão**

### **4.2.1 Princípio**

A medida da retenção de água em baixo potencial é executada submetendo-se as amostras de solo previamente saturadas a determinados potenciais de tensão, até cessar a drenagem da água retida nos poros com força menor que o potencial aplicado. As amostras de solo perdem água quando o potencial é maior que as forças de retenção. Determina-se então a umidade da amostra por gravimetria. O equilíbrio com cada potencial aplicado às amostras é avaliado por pesagens sucessivas ou pela observação do fim do escoamento (ou quando este se torna desprezível).

O princípio de funcionamento das mesas de tensão se baseia na remoção de água até uma determinada tensão controlada por meio da aplicação de uma diferença de potencial gerada por uma coluna de água pendente ou bomba de vácuo. Para as mesas de tensão de areia-caolin ou para potenciais maiores que 10 kPa, normalmente é utilizada uma bomba de vácuo para se obter o potencial desejado.

Os potenciais ou tensões aplicados às amostras, comumente, são 0 kPa; 1 kPa; 3 kPa; 6 kPa e 10 kPa para as mesas de tensão de areia e 33 kPa e 50 kPa para as mesas de areia-caolin acopladas à bomba de vácuo.

### **4.2.2 Material e Equipamentos**

- Balão volumétrico de 500 mL e 1 L.

- Mesa de tensão de areia e/ou areia-caolin.
- Cilindros metálicos.
- Estufa com ajuste de temperatura para 105 °C.
- Dessecador.
- Balança com precisão de 0,001 g.
- Bandeja de plástico ou metal média ou grande com pelo menos 10 cm de altura de borda.
- Tela de náilon.
- Elástico ou liga.
- Tesoura.

#### 4.2.3 Reagentes e Soluções

- **Solução de  $H_2O_2$  10%.**
- **Solução de  $HCl$  1 mol  $L^{-1}$**  – adicionar 42 mL de  $HCl$  concentrado ( $d = 1,19$  g  $cm^{-3}$  e 37%) em balão volumétrico de 500 mL previamente preenchido até a metade com água destilada ou deionizada. Completar o volume. Homogeneizar.
- **Solução de  $HCl$  0,0045 mol  $L^{-1}$**  – pipetar 4,5 mL da solução de  $HCl$  1 mol  $L^{-1}$ , transferir para balão volumétrico de 1 L e completar o volume com água destilada ou deionizada. Homogeneizar.

#### 4.2.4 Procedimento

- Nas amostras coletadas em cilindros metálicos, são afixadas telas de náilon na parte inferior dos cilindros com elástico. Essa tela não pode ter uma malha muito fina, para não reduzir o fluxo da água, nem ser muito grosseira que permita a perda da massa do solo durante a manipulação

das amostras.

- Colocar as amostras com a tela e elástico em bandejas, adicionar água desaerada à temperatura ambiente até obter a saturação da amostra por capilaridade. Elevar o nível da água lentamente até 0,5 cm do topo do cilindro. A saturação é verificada visualmente pelo brilho da água na superfície da amostra.
- Após a saturação, pesar as amostras, para “estimativa” do conteúdo de água na saturação, com 0 kPa de potencial. Essa pesagem deve ser feita com os cilindros saturados de forma rápida.

Obs.: os dados são uma estimativa, dado a impossibilidade de evitar perdas de água nesse manuseio.

- Colocar as amostras na mesa de tensão e ajustar a coluna de água ao potencial desejado.

Obs.: para as mesas de tensão de areia-caolin, o potencial é ajustado num controlador da bomba de vácuo. Comprimir ligeiramente as amostras na mesa para garantir um bom contato entre a superfície das amostras e a mesa de tensão. O equilíbrio entre o potencial aplicado e a água retida na amostra é estimado por meio do controle do efluxo nos tubos de drenagem e no recipiente de coleta dessa água.

- Após o equilíbrio, verificado pela ausência de saída de água no dreno, realizar a pesagem e anotar o resultado.
- Para avaliações sucessivas em diversos potenciais, colocar novamente a amostra na mesa de tensão e ajustar o potencial para o próximo nível, e assim sucessivamente. Para garantir um bom contato com o material poroso da mesa de tensão, pode ser adicionada uma pequena quantidade de água na superfície da mesa antes de retornar as amostras.

Obs.: a mesa de tensão deve permanecer coberta para reduzir a perda de água por evaporação. Caso ocorra a

germinação de sementes presentes nas amostras, não fazer o arranquio manual, pois esse procedimento pode danificar a estrutura da amostra e causar perda de solo. Nesse caso, deve-se fazer o corte rente ao solo com o auxílio de uma tesoura.

- Ao final das avaliações na mesa de tensão, as amostras podem ser levadas às câmaras de Richards para avaliação em potenciais maiores, ou secas em estufas (105 °C), até peso constante, e pesadas para a determinação da massa de solo seco.

Obs.: para aumento da precisão é necessário determinar com paquímetro o volume exato (duas decimais) de cada cilindro utilizado na avaliação. Se esses cilindros forem identificados de forma permanente, os dados da medição do volume e do peso dos cilindros podem ser recuperados, evitando a repetição dessas operações.

## 4.2.5 Cálculos

### 4.2.5.1 Conteúdo gravimétrico de água

$$CGA_i = \frac{(p_{as} - m_s)}{m_s}$$

Em que:

$CGA_i$  – conteúdo gravimétrico de água a determinado potencial (kPa), em  $kg\ kg^{-1}$  (para a expressão desse valor em umidade percentual, multiplicar os resultados por 100).

$m_s$  – massa da amostra de solo seca a 105 °C até peso constante, em g.

$p_{as}$  – massa de solo + água contida nas amostras após ser submetida ao potencial estudado, em g.

#### 4.2.5.2 Conteúdo volumétrico de água

$$CVA_i = \frac{m_a}{v}$$

Em que:

$CVA_i$  – conteúdo volumétrico de água a determinado potencial (kPa), em  $m^3 m^{-3}$ .

$m_a$  – massa de água contida na amostra após ser submetida a determinado potencial, em g.

$v$  – volume do cilindro da amostra, em  $cm^3$ .

#### 4.2.6 Observações

A massa de água ( $m_a$ ) é obtida pela subtração da massa seca obtida após a secagem em estufa do conjunto (peso do cilindro, peso da tela de náilon e elástico e massa de solo). Desse conjunto, subtrai-se do valor total o peso do cilindro e o peso da tela + elástico. Em casos onde as amostras foram retiradas do cilindro para a secagem, deve ser feito o ajuste para se determinar apenas a massa seca de solo. Nesse cálculo, para a densidade da solução da água contida no solo, assume-se o valor de  $1,00 g cm^{-3}$ .

O uso de amostras com estrutura indeformada apresenta resultados mais próximos da condição de campo para as baixas tensões ( $> 500$  kPa). Acima desse valor, recomenda-se o uso de amostras destorroadas ou coletadas em cilindros com pequena altura (1 cm), para que o equilíbrio da água retida com a tensão aplicada seja atingido em tempo mais reduzido.

A temperatura do laboratório deve ser controlada, evitando-se grandes variações durante o período de determinação.

Sugere-se o uso de amostras de composição granulométrica e mineralógica similar, quando muitas amostras são realizadas simultaneamente, para garantir tempos de equilíbrio semelhantes entre as amostras, especialmente quando o monitoramento do equilíbrio é feito apenas pelo escoamento realizado de forma coletiva de todas as amostras do conjunto.

### **4.3 Determinação da retenção de água em câmaras de Richards com placas porosas de cerâmica**

#### **4.3.1 Princípio**

As amostras de solos são dispostas em um meio poroso (placa de cerâmica) e dessaturadas até o equilíbrio com um potencial aplicado por pressurização. Para manter a pressurização, as amostras são mantidas em câmaras herméticas, sobre placas porosas de cerâmica, previamente saturadas com água desaerada, providas de um sistema de drenagem, sendo a pressurização fornecida por um sistema com compressores, reguladores de pressão e manômetros.

O potencial (pressão) desejado é ajustado e, conseqüentemente, a água retida com forças menores que o potencial aplicado move-se em direção e através da placa cerâmica, passando para o sistema de drenagem. O equilíbrio é determinado quando a drenagem do efluxo cessa e o conteúdo de água é estimado gravimetricamente por pesagem.

#### **4.3.2 Material e Equipamentos**

- Câmaras de Richards.

- Placas porosas de cerâmica de 1 bar, 3 bar, 5 bar e 15 bar (100 kPa, 300 kPa, 500 kPa e 1.500 kPa, respectivamente).
- Compressor e sistema de regulagem e manômetros.
- Dessecador.
- Estufa com regulagem de temperatura para 105 °C.
- Balança semianalítica.
- Espátula de aço inoxidável.
- Anéis de borracha ou PVC, com 5 cm de diâmetro e 1 cm de altura.
- Cilindros metálicos.
- Latas de alumínio para pesagem.
- Elásticos.
- Tela de náilon.
- Tesoura.

#### **4.3.3 Procedimento**

- Os procedimentos para preparo das amostras e para a saturação são os mesmos descritos para as mesas de tensão.
- As avaliações nas câmaras de Richards podem ser feitas em continuação às avaliações na mesa de tensão ou iniciando as determinações nesse equipamento.
- Selecionar as placas de cerâmica de acordo com o potencial a ser estudado. A placa selecionada deve ter um valor igual ou ligeiramente superior ao potencial a ser estudado.
- As amostras são saturadas em bandejas, cujo nível da água

vai se aumentando lentamente, até aproximadamente 0,5 cm abaixo do topo do cilindro (a saturação é verificada visualmente pelo brilho da água na superfície da amostra).

- Colocar as amostras saturadas sobre a placa porosa (previamente saturada).
- Para potenciais elevados, em particular para estimativas do ponto de murcha permanente (1.500 kPa), as amostras de solo deverão ser destorroadas. Colocar anéis de borracha ou de PVC sobre a placa porosa de 1.500 kPa, adicionar, no interior dos anéis, de 20 g a 30 g de TFSA.
- Fazer uma ligeira pressão para garantir um bom contato hidráulico entre a amostra e a placa.
- Posicionar ao redor da placa porosa um anteparo (geralmente um anel de plástico rígido, denominado aqui de anel de saturação) e colocar água desaerada, até que o nível desta fique bem próximo da borda dos anéis que contêm as amostras.

Obs.: para obtenção de água desaerada, ferver ou aplicar vácuo.

- Deixar as amostras nessa condição até a saturação, que é determinada visualmente pelo brilho da água na superfície da amostra.
- Após a saturação, retirar o anel de saturação, inclinar levemente a placa, a fim de eliminar o excesso de água, e colocar na câmara de Richards apropriada para altas tensões.
- Fechar a câmara e apertar os parafusos homoganeamente com torquímetro e abrir os reguladores de pressão gradativamente, até que o manômetro acuse a pressão desejada.

Obs.: as câmaras de Richards de média pressão suportam mais de uma placa porosa, tendo no fundo uma cobertura de

membrana de borracha, com uma saída de drenagem para fora da câmara. Um sistema de compressor, ou garrafas de ar comprimido, é necessário para pressurizar as câmaras.

- Certificar que a linha está pressurizada e os reguladores e manômetros indiquem a pressão desejada.

Obs.: a água deverá ser drenada para fora da câmara pelos tubos de drenagem. O borbulhamento excessivo nos tubos de drenagem pode indicar que a placa não estava saturada ou que havia fissuras na placa porosa e, nesse caso, ela deve ser substituída.

Observar o efluxo no tubo de drenagem até que o volume seja nulo ou desprezível.

- Aliviar a pressão nas câmaras, retirar as placas e transferir as amostras rapidamente para as latas, com o auxílio de uma espátula de aço inoxidável.
- Realizar a pesagem o mais rapidamente possível. Preparar previamente uma quantidade de latas de alumínio numeradas e de peso conhecido, igual ao número de amostras.
- Após a pesagem e anotações, colocar as amostras em estufa a 105 °C, até peso constante, normalmente atingido em 24 horas.
- Retirar as amostras, deixar esfriar e pesar novamente.

#### 4.3.4 Cálculos

##### 4.3.4.1 *Conteúdo gravimétrico de água*

$$CGA_i = \frac{(p_{as} - m_s)}{m_s}$$

Em que:

$CGA_i$  – conteúdo gravimétrico de água a determinado potencial (kPa), em  $kg\ kg^{-1}$  (para expressão desse valor em umidade percentual, multiplicar os resultados por 100).

$m_a$  – massa de solo seco a 105 °C após atingir peso constante, em g.

$p_a$  – massa de solo + água da amostra após ser submetida ao potencial estudado, em g.

#### **4.3.4.2 Conteúdo volumétrico de água**

$$CVA_i = \frac{m_{ag}}{V}$$

Em que:

$CVA_i$  – conteúdo volumétrico de água a determinado potencial (kPa), em  $m^3\ m^{-3}$ .

$m_{ag}$  – massa de água contida na amostra após equilíbrio hidráulico a determinado potencial, em g.

$V$  – volume do cilindro da amostra, em  $cm^{-3}$ .

#### **4.3.4.3 Conteúdo gravimétrico de água no potencial de 1.500 kPa**

$$PMP = \frac{(a - b)}{b}$$

Em que:

PMP – ponto de murcha permanente (conteúdo gravimétrico de água no potencial de 1.500 kPa), em  $kg\ kg^{-1}$ .

$a$  – massa da amostra de solo após ser equilibrada no

potencial de 1.500 kPa, em g.

b – massa de solo seco a 105 °C após atingir peso constante, em g.

#### 4.3.5 Observações

As placas porosas devem ser limpas periodicamente, utilizando-se uma solução de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 10% para destruição de resíduos orgânicos e uma solução de 0,0045 mol L<sup>-1</sup> de HCl para remoção de depósitos de carbonatos, especialmente em regiões onde se analisam muitos solos com carbonatos. Uma bucha de cerdas duras deve ser friccionada com vigor sobre a placa para a remoção dos detritos que entopem os poros e reduzem a permeabilidade das placas.

Assegurar que a pressão nas câmaras de Richards esteja zerada antes de desapertar os parafusos da câmara. Recomenda-se o uso de um torquímetro para o aperto e desaperto homogêneo dos parafusos.

Sugere-se o uso de amostras de composição granulométrica e mineralógica similar em cada bateria de análise para garantir tempos de equilíbrio semelhantes entre as amostras, especialmente quando o monitoramento do equilíbrio é feito apenas pelo escoamento realizado de forma coletiva de todas as amostras do conjunto.

Para conversão do conteúdo de água gravimétrico (kg kg<sup>-1</sup>) para o conteúdo de água volumétrico (m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>), os valores gravimétricos deverão ser multiplicados pelos valores da densidade do solo (kg dm<sup>-3</sup> ou g cm<sup>-3</sup>).

A massa de água (m<sub>a</sub>) é obtida pela subtração da massa seca obtida após a secagem em estudo do conjunto (peso do cilindro, peso da tela de náilon e elástico e massa de solo). Desse conjunto se subtrai do valor total o peso do cilindro e peso da tela + elástico. Caso as amostras tenham sido retiradas do cilindro para a secagem, deve ser feito o ajuste para se determinar apenas a massa seca de solo. Nesse

cálculo, para a densidade da solução da água contida no solo, assume-se o valor de  $1,00 \text{ g cm}^{-3}$ .

As câmaras de Richards não são apropriadas para potenciais maiores que 100 kPa, sendo que, para esses potenciais, deve ser utilizada preferencialmente a mesa de tensão.

#### 4.4 Literatura recomendada

CARTER, M. R. (Ed.). **Soil sampling and methods of analysis**. Boca Raton: Lewis Publishers, 1993. 823 p.

DANE, J. H.; HOPMANS, J. W. Soil water retention and storage. In: DANE, J. H.; TOPP, C. G. (Ed.). **Methods of soil analysis: part 4: physical methods**. Madison: Soil Science Society of America, 2002. p. 671-720.

OLIVEIRA, L. B. de (Coord.). **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SNLCS, 1979.

RICHARDS, L. A. Physical conditions of water in soil. In: BLACK, C. A.; EVANS, D. D.; ESNMINGER, L. E.; CLARK, F. E. (Ed.). **Methods of soil analysis: part 1: physical and mineralogical properties**. Madison: American Society of Agronomy, 1965. p. 128-152.

RICHARDS, L. A. Pressure-membrane apparatus, construction and use. **Agricultural Engineering**, v. 28, p. 451-454, 1947.

RICHARDS, L. A.; WEAVER, L. R. Fitten-atmosphere percentage as related to the permanent wilting percentage. **Soil Science**, v. 56, n. 5, p. 331-340, 1943.

SMITH, K. A.; MULLINS, C. E. (Ed.). **Soil analysis: physical methods**. New York: M. Dekker, 1993. 620 p.