

*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 7 —

DENSIDADE DO SOLO

Brivaldo Gomes de Almeida

João Herbert Moreira Viana

Wenceslau Gerales Teixeira

Guilherme Kangussu Donagemma

7.1 Introdução

O método de determinação da densidade do solo visa medir a densidade média de um volume conhecido de solo, estando a densidade relacionada com a porosidade total e com a composição orgânica e mineralógica média do solo.

7.2 Princípio

A determinação da densidade do solo envolve duas etapas, sendo a obtenção da massa da amostra por pesagem e a determinação de seu volume. O volume pode ser obtido por meio da coleta de amostra com cilindro de volume conhecido ou por meio da medição do volume de um fragmento (torrão ou monolito), adequadamente amostrado com sua estrutura preservada.

A massa da amostra é obtida por meio de sua pesagem após secagem em estufa, e o volume, por meio da medida do volume interno do cilindro metálico utilizado na coleta ou por meio da medida do volume do líquido deslocado pelo torrão parafinado ou monolito impermeabilizado.

7.3 Métodos

7.3.1 Método do cilindro volumétrico

7.3.1.1 Princípio

Obtenção da massa por pesagem e do volume pela coleta de amostras de solo com estrutura indeformada por meio de um cilindro de volume interno conhecido.

7.3.1.2 Material e Equipamentos

- Cilindro (anel) volumétrico de 100 cm³.
- Lata de alumínio ou outro com no mínimo 150 cm³ de volume.
- Paquímetro.
- Balança com capacidade para 200 g e com precisão de 0,01 g.
- Estufa com ajuste de temperatura para 105 °C.

7.3.1.3 Procedimento

- Coletar a amostra com o uso de cilindro metálico. A amostragem deve ser feita com cuidado, evitando-se a compactação do solo no interior do cilindro, por meio da escavação do solo ao redor do cilindro, na medida em que ele é inserido no solo.
- Medir e anotar em triplicata as dimensões do cilindro que contém a amostra usando um paquímetro. Com esses dados, calcular o volume do cilindro.

- Remover a amostra do cilindro e transferir para o recipiente numerado e de massa conhecida.
- Secar em estufa a 105 °C por 48 horas, retirar, deixar esfriar em dessecador e pesar.

7.3.1.4 Cálculo

$$D_s = \frac{m_a}{V}$$

Em que:

D_s – densidade do solo, em kg dm^{-3} (equivalente a g cm^{-3}).

m_a – massa da amostra de solo seco a 105 °C até peso constante, em g.

V – volume do cilindro, em cm^3 .

7.3.1.5 Observações

Em geral, o método é adequado para solos bem estruturados.

É conveniente amostrar com solo úmido (friável). Solos muito secos poderão ser umedecidos para uma coleta mais adequada, se a umidade atual não for de interesse. Para alguns solos (expansíveis), é recomendado descrever a umidade ou potencial do solo no momento da coleta.

Os cilindros deverão ter um corte em bixel para facilitar sua penetração no solo e evitar a compactação das amostras dentro do cilindro. A inserção do cilindro no solo se faz por percussão ou com o uso de macacos hidráulicos.

7.3.2 Método da proveta

7.3.2.1 *Princípio*

Obtenção da massa por pesagem após compactação da amostra de solo em uma proveta até o volume pré-determinado.

7.3.2.2 *Material e Equipamentos*

- Balança com precisão de 0,01 g.
- Proveta graduada de 100 mL.
- Manta de borracha de 5 mm de espessura.
- Estufa com ajuste de temperatura para 105 °C.
- Dessecador.

7.3.2.3 *Procedimento*

- Pesar uma proveta de 100 mL.
- Determinar a umidade da amostra em base gravimétrica.
- Encher a proveta com solo, colocando, de cada vez, aproximadamente 35 mL, deixando cair de uma só vez e em seguida compactar o solo batendo a proveta 10 vezes sobre manta de borracha de 5 mm de espessura, com altura de queda de cerca de 10 cm.
- Repetir essa operação por mais duas vezes, até que o nível da amostra fique nivelado com o traço do aferimento da proveta.
- Pesar o solo da proveta com a amostra e calcular a densidade.

7.3.2.4 Cálculo

$$D_s = \frac{m \times f}{V}$$

Em que:

D_s – densidade do solo, em kg dm^{-3} (equivalente a g cm^{-3}).

m – massa da amostra de solo (TFSA), em g.

V – volume de solo na proveta, em cm^3 .

f – fator de correção de umidade da amostra (item 3.5).

7.3.2.5 Observação

Essa determinação só apresenta resultados comparáveis aos obtidos pelo método do cilindro para solos arenosos, não sendo recomendável para solos de granulometria mais fina.

7.3.3 Método do torrão parafinado

7.3.3.1 Princípio

Obtenção da massa por pesagem e do volume pelo deslocamento de líquido após a impermeabilização de um torrão com parafina fundida.

7.3.3.2 Material e Equipamentos

- Parafina sólida.
- Balança com precisão de 0,01 g.
- Placa aquecedora.

- Termômetro.
- Béquer graduado de 1 L.
- Recipiente de metal ou vidro temperado para fusão da parafina.
- Estufa com ajuste de temperatura para 105 °C.
- Dessecador.

7.3.3.3 Procedimento

- Pesar o torrão seco ao ar, que deverá ter de 4 cm a 7 cm de diâmetro.
- Mergulhar o torrão em parafina fundida (60 °C – 65 °C), cuidando para que seja completamente recoberto por ela. O uso de um laço de fio amarrado ao torrão auxilia este passo e o seguinte.
- Remover o torrão, escorrer o excesso de parafina e deixar esfriar.
- Pesar o torrão impermeabilizado após o resfriamento.
- Colocar um béquer graduado de tamanho suficiente para que o torrão parafinado se situe abaixo da marca graduada máxima sobre a balança e zerá-la. Encher o béquer com água até a marca graduada máxima. Medir a massa e a temperatura da água. Esvaziar e secar o béquer. Introduzir o torrão parafinado no béquer e zerar a balança. Completar o béquer com água até a marca graduada máxima. Anotar o peso obtido.
- Retirar o torrão, partir com uma faca e transferir uma parte dele, sem resíduos da parafina, para uma lata de alumínio, para determinar a umidade por secagem em estufa a 105 °C até peso constante.

7.3.3.4 Cálculos

$$P_{\text{tor}} = \left(\frac{m_{\text{tu}}}{1 + b} \right)$$

$$P_{\text{parafina}} = (m_{\text{tp}} - m_{\text{tor}})$$

$$V_{\text{parafina}} = \frac{P_{\text{parafina}}}{0,9}$$

$$V_{\text{tor}} = ((V_a - V_{\text{at}}) - V_{\text{parafina}})$$

$$DS = \frac{P_{\text{tor}}}{V_{\text{tor}}}$$

Em que:

P_{tor} – massa do torrão seco a 105 °C, em kg.

m_{tu} – massa do torrão úmido, em kg.

b – umidade da subamostra, em kg kg^{-1} .

P_{parafina} – massa da parafina, em kg.

V_{parafina} – volume da parafina, em dm^3 .

m_{tp} – massa do torrão parafinado, em kg.

m_{tor} – massa do torrão seco ao ar, em kg.

V_{tor} – volume do torrão, em dm^3 .

V_a – volume total de água do béquer, em dm^3 .

V_{at} – volume de água adicionado ao béquer com o torrão, em dm^3 .

V_{parafina} – volume da parafina, em dm^3 .

Valor 0,9 – densidade da parafina comercial (0,89 a 0,93 g cm⁻³).

D_s – densidade do solo, em kg dm⁻³ (equivalente a g cm⁻³).

P_{tor} – massa do torrão seco a 105 °C até peso constante, em kg.

b – volume do torrão, em dm³.

7.3.4 Método do monolito

7.3.4.1 Princípio

Obtenção da massa por pesagem e do volume pelo deslocamento de líquido após a impermeabilização do monolito com resina ou verniz.

7.3.4.2 Material e Equipamentos

- Balança com capacidade para 15 kg e sensibilidade de 0,5 g.
- Balde ou recipiente similar de 10 L.
- Espátula.
- Pincel macio.
- Bandeja de plástico.
- Estufa.

7.3.4.3 Reagentes

- Cola branca de PVA.
- Resina acrílica ou verniz.
- Álcool etílico hidratado.

7.3.4.4 Procedimento

- Esculpir o monolito na trincheira, com o auxílio de martelo pedológico, espátula ou similar. Aplicar a cola branca diluída em água e álcool na proporção 5:4:1 (água:cola:álcool) em toda a superfície exposta do monolito. Deixá-lo secar ao ar. Se necessário, em caso de ameaça de chuva, cobrir com proteção plástica.
- Remover o monolito do local, quebrando-o na base, inverter, colocar em bandeja de tamanho adequado e impregnar a base do monolito com a cola branca diluída em água e álcool. Deixá-lo secar ao ar.
- Aplicar a resina acrílica ou o verniz, com o auxílio de um pincel macio, em toda a superfície do monolito. Aplicar uma segunda mão, se necessário (o verniz deve formar um filme contínuo e sem falhas ou pontos onde a água possa penetrar). Deixar secar completamente ao ar.
- Pesar o monolito impregnado.
- Colocar um recipiente de tamanho suficiente para caber o monolito sobre uma balança e tarar. Encher o recipiente com água até a marca superior. Pesar a massa de água e esvaziar o recipiente.
- Colocar o monolito no recipiente e zerar a balança. Completar com água até a marca superior e pesar.
- Remover o monolito, partir ao meio e coletar uma amostra (torrão) de seu interior e levar para estufa para determinação da umidade.

7.3.4.5 Cálculos

$$P_{\text{mon}} = \left(\frac{a}{1 + b} \right)$$

$$V_{\text{mon}} = (a - b)$$

$$D_s = \frac{P_{\text{mon}}}{V_{\text{mon}}}$$

Em que:

P_{mon} – massa seca do monolito, em kg.

a – massa do torrão úmido, em kg (assume-se que a densidade da água é igual a $1,0 \text{ kg m}^{-3}$).

b – conteúdo gravimétrico de água da subamostra, em kg kg^{-1} .

V_{mon} – volume do monolito, em dm^3 .

a – volume total de água do recipiente, em dm^3 .

b – volume de água adicionado ao recipiente com o monolito, em dm^3 .

D_s – densidade do solo, em kg dm^{-3} (equivalente a g cm^{-3}).

P_{mon} – massa do monolito seco a $105 \text{ }^\circ\text{C}$, em kg.

V_{mon} – volume do monolito, em dm^3 .

7.3.4.5 Observação

Esse método foi desenvolvido para solos cascalhentos, nos quais não é possível obter torrões para impregnação. Pode ser usado para qualquer solo, desde que amostrado um volume mínimo representativo (VIANA, 2009).

7.4 Referências

VIANA, J. H. M. **Determinação da densidade de solos e de horizontes cascalhentos**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2009. (Embrapa Milho e Sorgo. Comunicado técnico, 154).

7.5 Literatura recomendada

ALMEIDA, B. G. de; DONAGEMMA, G. K.; RUIZ, H. A.; BRAIDA, J. A.; VIANA, J. H. M.; REICHERT, J. M. M.; OLIVEIRA, L. B.; CEDDIA, M. B.; WADT, P. G. S.; FERNANDES, R. B. A.; PASSOS, R. R.; DECHEN, S. C. F.; KLEIN, V. A.; TEIXEIRA, W. G. **Padronização de métodos para análise granulométrica no Brasil**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2012. 11 p. (Embrapa Solos. Comunicado técnico, 66).

BLAKE, G. R.; HARTGE, K. H. Bulk density. In: KLUTE, A. (Ed.). **Methods of soil analysis: part 1: physical and mineralogical methods**. 2nd ed. Madison: Soil Science Society of America, 1986. p. 363-375.

CLAESSEN, M. E. C. (Org.). **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. rev. e atual. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, 1997. 212 p. (EMBRAPA-CNPS. Documentos, 1).

KLUTE, A. (Ed.). **Methods of soil analysis: part 1: physical and mineralogical methods**. 2nd ed. Madison: Soil Science Society of America, 1986. 1188 p.

VETTORI, L. **Métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura-EPFS, 1969. 24 p. (Brasil. Ministério da Agricultura-EPFS. Boletim técnico, 7).