

Cálculo de alguns parâmetros físicos do solo

Prof. Quirijn de Jong van Lier
LEB/ESALQ/USP

Introdução

Entre os parâmetros físicos do solo distinguem-se aqueles que dizem respeito à sua composição (características físicas) e aqueles que se referem ao seu comportamento frente a fatores externos (propriedades físicas).

Composição física (características físicas do solo)

A composição física dos solos é muito complexa e variável, resultado da interação e mistura não-homogênea dos seus componentes. O solo é composto por três frações físicas: os sólidos (a matriz do solo), os líquidos (a solução do solo) e os gases (o ar do solo).

- **Sólidos**

Os sólidos formam a matriz do solo. O espaço entre os sólidos é chamado de espaço poroso, ou poros. O tamanho e forma dos poros é diretamente determinado pelo tamanho, forma e arranjo dos sólidos do solo.

Entre os sólidos estão aqueles de origem mineral (minerais primários e secundários) e os de origem orgânica (matéria orgânica). A densidade dos minerais varia entre 2500 e 2900 kg m⁻³. Como valor médio considera-se normalmente 2700 kg m⁻³ para solos argilosos, e 2750 kg m⁻³ para solos arenosos ou de textura média.

A matéria orgânica presente no solo é composta por resíduos de plantas e animais, bem como por organismos vivos. A densidade da fração orgânica é entre 1200 e 1500 kg m⁻³, sendo a sua média estimada normalmente em 1400 kg m⁻³.

A presença de matéria orgânica pode ter uma grande influência na densidade da fração sólida de um solo. No entanto, normalmente a fração de matéria orgânica é pequena quando comparada com a dos minerais, e estima-se a densidade dos sólidos com teores normais de matéria orgânica em 2650 kg m⁻³. Porém, em solos com altos teores de matéria orgânica (>50 g / kg), a densidade dos sólidos não pode ser estimada com confiança, e deve ser medida.

- **Líquidos**

A solução do solo, frequentemente chamado de “água do solo” consiste de água com sais minerais e substâncias orgânicas dissolvidos.

- **Gases**

A composição da fração gasosa, também chamada de “ar do solo” é, de grosso modo, igual à da atmosfera, porém, ela contém mais CO₂ e menos O₂, além de apresentar uma umidade relativa sempre próxima a 100%. A água e os gases ocupam o espaço poroso, os vazios entre os sólidos.

Definições iniciais

Para se ter uma noção da ordem de grandeza dos volumes ocupados no solo pelas três frações, pode-se tomar como base que a metade do volume do solo é ocupada pelos sólidos. A outra metade, o espaço poroso, é preenchida pela água e pelos gases: quanto mais água, menos ar, e vice-versa. Os teores de água e ar num solo podem variar em curto prazo. Essa variação é de grande importância agrônômica.

A caracterização da composição física de um solo consiste na quantificação dos teores, tanto em massa como em volume, dos componentes nele contidos, e no cálculo de alguns parâmetros derivados. Estudos quanto à caracterização da composição física de um solo podem ser feitos em amostras indeformadas ou deformadas.

Em amostras indeformadas, idealmente, o arranjo dos sólidos é igual ao no campo e a amostra ocupa, portanto, o mesmo volume que ocupava no campo. Ao coletar tais amostras, normalmente em *aneis volumétricos*¹, cuidados especiais devem ser tomados a fim de garantir a não deformação da amostra. Amostras indeformadas servem para a determinação de praticamente todos os parâmetros da caracterização da composição física de um solo, por representarem exatamente uma camada do solo em estudo.

Em amostras deformadas o arranjo dos sólidos é alterado. São amostras retiradas, por exemplo, com a ajuda de um trado. A coleta de tais amostras é muito mais fácil e rápida que a de amostras indeformadas, porém, elas não permitem o cálculo de parâmetros físicos densimétricos e volumétricos, uma vez que esses envolvem o conhecimento do volume original da amostra.

Índices gravimétricos

A massa total de uma amostra de solo (m , kg) é dada pela massa dos seus componentes: massa dos sólidos (m_s , kg), massa da água (m_a , kg) e massa do ar (m_{ar} , kg). Como a densidade do ar é muito menor que a dos demais componentes do solo (aproximadamente 1000 vezes menor que a da água), a sua massa é normalmente desprezada². Assim:

$$m = m_s + m_a + m_{ar} \approx m_s + m_a \quad (1)$$

A massa m de uma amostra é obtida em laboratório através da pesagem da mesma. Para obtenção da massa dos sólidos m_s retira-se a água da amostra, colocando-a, por convenção, numa estufa entre 105 °C e 110 °C, até a sua massa não diminuir mais (na prática: 24 a 48 h). A diferença entre m e m_s é, conforme equação 1, a massa da água m_a .

• Umidade gravimétrica (U)

A umidade gravimétrica (U , kg kg⁻¹) de uma amostra de solo é a relação entre a massa da água e a dos sólidos nela contidos:

$$U = \frac{m_a}{m_s} \quad (2)$$

¹anel volumétrico: anel cilíndrico de volume conhecido, tipicamente com altura de alguns centímetros e diâmetro entre 5 e 15 cm.

²Justificando: em uma amostra de solo de 100 cm³, onde os sólidos ocupam 50% e água e ar ambos 25% do volume, $m_s \approx 0,133$ kg, $m_a \approx 0,025$ kg e $m_{ar} \approx 0,000033$ kg.

donde pode-se deduzir que

$$U = \frac{m}{m_s} - 1 \quad (3^*)$$

Índices densimétricos

O volume total V ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) de uma amostra de solo, coletada num anel volumétrico, é dado por $\pi r^2 h$, onde r é o raio e h a altura do anel, ambos em metros. Esse volume pode ser subdividido nas frações do volume ocupadas pelos sólidos (V_s , $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$), pela água (V_a , $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) e pelo ar (V_{ar} , $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$), sendo que o conjunto dos volumes de água e ar é chamado também de volume de poros (V_p , $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$):

$$V_p = V_a + V_{ar} \quad (4)$$

$$V = V_s + V_a + V_{ar} = V_s + V_p \quad (5)$$

As densidades da água (ρ_a , kg m^{-3}) e do ar (ρ_{ar} , kg m^{-3}) do solo são mais ou menos fixos: 1000 kg m^{-3} e $1,3 \text{ kg m}^{-3}$ aproximadamente. A densidade dos sólidos (ρ_s , kg m^{-3}) e a do solo (ρ , kg m^{-3}) podem variar, de solo para solo, e são parâmetros importantes por refletirem indiretamente outras características do solo como porosidade e grau de compactação. Elas são calculadas pelas seguintes equações:

$$\rho_s = \frac{m_s}{V_s} \quad (6)$$

$$\rho = \frac{m_s}{V} \quad (7)$$

Índices volumétricos

- **Umidade volumétrica (θ)**

A umidade volumétrica (θ , $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) é a relação entre o volume de água numa amostra do solo, e o volume total da amostra:

$$\theta = \frac{V_a}{V} \quad (8)$$

Deduz-se facilmente que a relação entre a umidade volumétrica θ e a gravimétrica U é dada pela equação

$$\theta = U \cdot \frac{\rho}{\rho_a} \quad (9^*)$$

- **Porosidade (α)**

Entende-se como porosidade de uma amostra de solo (α , $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) a fração do seu volume ocupada por água e ar:

$$\alpha = \frac{V_a + V_{ar}}{V} = \frac{V_p}{V} \quad (10)$$

* A dedução das equações marcadas com * encontra-se no final deste documento.

Conhecendo-se a densidade do solo e a densidade dos sólidos, pode-se calcular α através da equação

$$\alpha = 1 - \frac{\rho}{\rho_s} \quad (11^*)$$

- **Porosidade livre de água ou Porosidade de aeração (β)**

A porosidade livre de água, também chamada de porosidade de aeração (β , $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) é a fração do volume de uma amostra ocupada por ar:

$$\beta = \frac{V_{ar}}{V} \quad (12)$$

Na prática, determina-se θ através da equação 8 e α através da equação 11, determinando β por diferença:

$$\beta = \alpha - \theta \quad (13^*)$$

Demonstração da dedução das equações marcadas com *

equação 3:

$$U = \frac{m_a}{m_s} = \frac{m - m_s}{m_s} = \frac{m}{m_s} - 1$$

equação 11:

$$\alpha = \frac{V_p}{V} = \frac{V - V_s}{V} = 1 - \frac{V_s}{V} = 1 - \frac{m_s / \rho_s}{m_s / \rho} = 1 - \frac{\rho}{\rho_s}$$

equação 9:

$$\theta = \frac{V_a}{V} = \frac{m_a / \rho_a}{m_s / \rho} = \frac{m_a}{m_s} \cdot \frac{\rho}{\rho_a} = U \cdot \frac{\rho}{\rho_a}$$

equação 13:

$$\beta = \frac{V_{ar}}{V} = \frac{V_{ar} + V_a}{V} - \frac{V_a}{V} = \frac{V_p}{V} - \frac{V_a}{V} = \alpha - \theta$$

Comportamento físico (propriedades físicas do solo)

As propriedades físicas do solo dizem respeito ao seu comportamento frente a fatores externos, tais como a água (retenção, condutividade hidráulica, infiltração), o ar (condutividade gasosa), o calor (condutividade térmica, capacidade térmica), a luz (cor), pressão exercida por máquinas (compactabilidade), etc.

Ascensão capilar e retenção da água no solo

Devido a forças de atração entre as moléculas de água e sólidos ocorrem os fenômenos de ascensão capilar e retenção de água no solo. Quanto menor o raio do poro, maior a ascensão capilar e mais forte a retenção de água no poro. A ascensão capilar (h , m) é, como pode ser deduzido teoricamente, dada pela equação de Laplace, que, na sua forma simplificada, se escreve como:

$$h = \frac{2 \cdot \sigma \cdot \cos \alpha}{\rho \cdot g \cdot r} \quad (14)$$

onde σ (N m^{-1}) é a tensão superficial do líquido, α (rad) é o ângulo de contato entre líquido e sólido, ρ (kg m^{-3}) é a densidade do líquido, g (m s^{-2}) é a aceleração da gravidade e r (m) é o raio do poro. No caso de água em capilares de vidro à temperatura de aproximadamente 298 K podemos usar $\sigma = 0,072 \text{ N m}^{-1}$, $\alpha = 0 \text{ rad}$, $\rho = 1000 \text{ kg m}^{-3}$ e $g = 9,81 \text{ m s}^{-2}$, e a equação 14 se torna

$$h = \frac{1}{68125 \cdot r} \quad (15)$$

A equação 15 é uma equação hiperbólica que pode ser representada, graficamente, por uma reta em escala log-log, conforme a figura 1 a seguir.

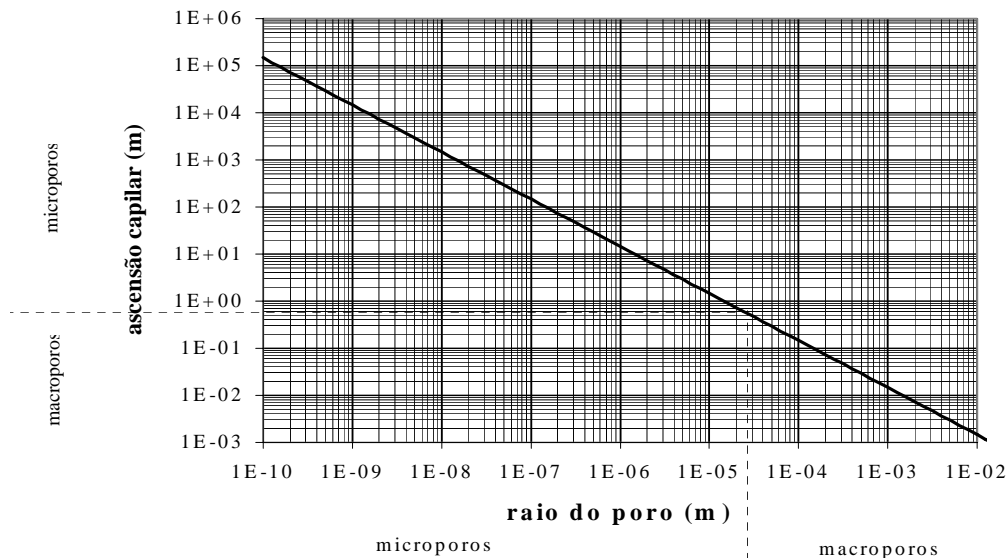


Figura 1 - Relação entre o raio do poro de vidro e a ascensão capilar de água na superfície terrestre à temperatura de 298 K.

- **Classificação de poros em função da retenção de água**

Os poros de um solo podem ser subdivididos em diferentes classes quanto à retenção de água e função na distribuição e armazenagem de água. A classificação mais grosseira que existe é aquela que distingue apenas entre *macroporos* e *microporos*. Nesta classificação, macroporos

são aqueles poros que, em condições normais de campo, não contêm água e que servem para a aeração do perfil de solo e para a distribuição rápida de água. Microporos servem para armazenar água no solo e contêm água frequentemente, sendo que os maiores podem, em função da secagem do solo, perder essa água. Como limite entre micro- e macroporos estabeleceu-se o tamanho de poro equivalente a uma ascensão capilar de 0,6 m que, como verifica-se na equação 15, equivale a um raio de poro de aproximadamente 25 μm . Determinam-se a macroporosidade (α_{ma} , $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) e a microporosidade (α_{mi} , $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) em uma amostra indeformada de solo, submetendo-a a uma sucção de 0,6 mca. Após estabelecido o equilíbrio, a umidade dessa amostra ($\theta_{0,6}$, $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) torna-se igual à sua microporosidade:

$$\alpha_{mi} = \theta_{0,6} \quad (16)$$

Como

$$\alpha = \alpha_{ma} + \alpha_{mi} \Rightarrow \alpha_{ma} = \alpha - \alpha_{mi} \quad (17)$$

conhecendo-se o valor de α (através da equação 11, por exemplo) e de α_{mi} , calcula-se α_{ma} pela equação 17.

Uma classificação mais completa dos tamanhos dos poros, que pode ser vista na tabela 1, distingue entre macro-, meso-, micro- e criptoporos.

Tabela 1 - Características de diferentes classes de poros

<i>tipo de poro</i>	<i>ascensão (m)</i>	<i>raio (μm)</i>	<i>função</i>
macroporos	< 0,6	> 25	aeração e distribuição rápida de água
mesoporos	0,6 - 10	1,5 - 25	armazenagem de água facilmente disponível às plantas e aeração
microporos	10 - 150	0,1 - 1,5	armazenagem de água dificilmente disponível às plantas
criptoporos	> 150	< 0,1	armazenagem de água não disponível às plantas