

# Apontamentos sobre a Constituição e Propriedades do Solo

Por

Manuel A. V. Madeira & Rui Pinto Ricardo  
2012/2013

## 2 - MATÉRIA MINERAL DO SOLO

### 2.1. Granulometria

A *granulometria* diz respeito à dimensão da totalidade das partículas individuais ou elementares que se podem distinguir na matéria mineral do solo, exprimindo a proporção relativa em que se encontram no solo lotes de partículas com diâmetros compreendidos entre determinados limites.

O solo, do ponto de vista granulométrico, compreende desde partículas minerais muitíssimo pequenas (microscópicas) até partículas de grandes dimensões. Há uma variação contínua ou quase contínua do tamanho das partículas elementares, mas não é prático definir nessa base a granulometria do solo. Por isso considera-se a matéria mineral constituída por *lotes de partículas* (ou *fracções*) de diversos tamanhos, variando as respectivas dimensões entre limites determinados.

Um limite que interessa começar por referir é o de 2 mm, em virtude dele estabelecer a separação entre dois grandes conjuntos de partículas que se convencionou distinguir no solo: a *terra fina* e os *elementos grosseiros*. A terra fina é, então, o conjunto de partículas com diâmetro inferior a 2 mm. Os *elementos grosseiros* correspondem ao conjunto de partículas com diâmetro superior a esse valor. Para a sua separação recorre-se normalmente a um crivo com orifícios circulares de 2 mm de diâmetro, passando a terra fina através deles e ficando retidos no crivo os elementos grosseiros.

As partículas elementares, sobretudo as mais pequenas, em geral não se encontram individualizadas no solo mas sim associadas em conjuntos de variadas dimensões, com maior ou menor estabilidade, designados *agregados* ou *pedes*. Assim, a crivagem para separar a terra fina dos elementos grosseiros (feita em amostras de solo secas ao ar) terá que ser conduzida de modo a destruir os agregados mas sem fragmentar as partículas minerais elementares.

#### 2.1.1 Elementos grosseiros

No que respeita aos elementos grosseiros, tal como se verifica para a terra fina, pode também definir-se maior ou menor variedade de lotes de partículas (quer em número e designações, quer quanto aos limites das respectivas dimensões). No nosso País é frequente considerar os elementos grosseiros ( $\varnothing > 2$  mm) subdivididos em:

- SAIBRO .....	2 – 5 mm $\varnothing$
- CASCALHO .....	5 – 20 mm $\varnothing$ (0,5 - 2 cm)
- PEDRAS .....	2 – 10 cm $\varnothing$
- CALHAUS .....	10 – 20 cm $\varnothing$
- BLOCOS .....	> 20 cm $\varnothing$

Os elementos grosseiros, dadas as dimensões das suas partículas, representam, como é óbvio, material praticamente inerte, tanto do ponto de vista físico como do ponto de vista químico. Em geral os elementos grosseiros existentes em amostras de solos são quantificados globalmente, por crivagem, usando para o efeito o crivo com orifícios de 2 mm de diâmetro a que se recorre para o isolamento da terra fina. Caso haja interesse em conhecer a proporção de cada um dos lotes que os constituem (saibro, cascalho, pedras, calhaus), ter-se-á então que dispor de um conjunto de crivos com orifícios de diâmetro adequados (0,5 cm, 2 cm, 10 cm) para a sua separação.

### 2.1.2 Terra fina

Havendo uma variação praticamente contínua da dimensão das partículas minerais do solo, é compreensível que possa diferir bastante o número de lotes a considerar na terra fina, bem como os valores adoptados para os limites correspondentes. Com efeito, os lotes que se distinguem e os limites para eles escolhidos variam de país para país e, frequentemente, inclusive entre diferentes instituições de um mesmo país, o que implica a classificação das partículas do solo segundo diversos *sistemas* ou *escalas*.

O sistema mais usado em Portugal é o recomendado pela *International Union of Soil Sciences*, o qual se baseia na *Escala de Atterberg*. Além deste, também é seguido com alguma frequência o sistema adoptado pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos da América do Norte (USDA).

Na *Escala de Atterberg*, considera-se a terra fina constituída pelos quatro seguintes lotes de partículas:

- AREIA GROSSA .....	2 – 0,2 mm Ø (2000 - 200 µm)
- AREIA FINA .....	0,2 – 0,02 mm Ø (200 - 20 µm)
- LIMO .....	0,02 – 0,002 mm Ø (20 - 2 µm)
- ARGILA .....	< 0,002 mm Ø (< 2 µm)

No *sistema USDA*, diferentemente, distinguem-se os sete lotes seguintes:

- AREIA MUITO GROSSA .....	2 – 1 mm Ø (2000 - 1000 µm)
- AREIA GROSSA .....	1 – 0,5 mm Ø (1000 - 500 µm)
- AREIA MÉDIA .....	0,5 – 0,25 mm Ø (500 - 250 µm)
- AREIA FINA .....	0,25 – 0,10 mm Ø (250 - 100 µm)
- AREIA MUITO FINA .....	0,10 – 0,05 mm Ø (100 - 50 µm)
- LIMO .....	0,05 – 0,002 mm Ø (50 - 2 µm)
- ARGILA .....	< 0,002 mm Ø (< 2 µm)

Comparando os dois sistemas, verifica-se que os limites da terra fina (2 mm) e da argila (2 µm) são iguais. As diferenças entre eles situam-se assim na areia e no limo:

- Enquanto na *Escala de Atterberg* se consideram para a areia (2-0,02 mm) duas fracções, no *Sistema USDA* o lote de areia (2-0,05 mm) é subdividido em cinco fracções;
- O limite areia-limo situa-se nos 20 µm (*Escala de Atterberg*) ou nos 50 µm (*Sistema USDA*). Isto quer dizer que o lote limo do sistema americano inclui uma parte do lote de areia fina da *Escala de Atterberg*.

Em muitos casos o *Sistema USDA* pode conjugar-se com a *Escala de Atterberg*, subdividindo o limo do *Sistema USDA* em duas fracções: limo grosseiro (50 - 20 µm) e limo fino (20 - 2 µm).

**União Internacional das Ciências do Solo**

<b>AREIA</b>		<b>LIMO</b>	<b>ARGILA</b>
<b>GROSSA</b>	<b>FINA</b>		
<b>2000 µm</b>	<b>200 µm</b>	<b>20 µm</b>	<b>2 µm</b>

<b>2000 µm</b>	<b>1000 µm</b>	<b>500 µm</b>	<b>250 µm</b>	<b>100 µm</b>	<b>50 µm</b>	<b>2 µm</b>
<b>M.<sup>to</sup> GROSSA</b>	<b>GROSSA</b>	<b>MÉDIA</b>	<b>FINA</b>	<b>M.<sup>to</sup> FINA</b>	<b>LIMO</b>	<b>ARGILA</b>
<b>AREIA</b>						

**Departamento de Agricultura do Estados Unidos**

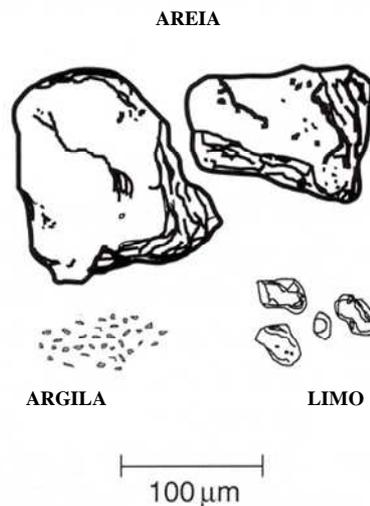
Como se pode concluir do exposto, é evidente que os lotes distinguidos na terra fina, bem como os limites que os definem, são convencionais, o que explica a existência de vários sistemas para a classificação granulométrica das partículas elementares do solo - os dois referidos e muitos outros mais. De acordo com os princípios apresentados, é óbvio que a terra fina de uma amostra de solo ficará tanto mais perfeitamente caracterizada quanto maior for o número de lotes considerados, tanto na areia, como no limo e, inclusive, na argila. Conclui-se assim que, deste ponto de vista, o *Sistema USDA* terá manifesta vantagem em relação à *Escala de Atterberg*.

Os sistemas conhecidos têm em comum, com frequência, apenas dois de tais limites: os que separam a terra fina dos elementos grosseiros (2 mm) e o limo da argila (2 µm). O primeiro, apesar de arbitrário, tem sido o limite geralmente convencionado para semelhante separação; o segundo é como regra considerado devido ao significado científico preciso que se admite ter, pois ele procura distinguir no solo as *partículas minerais coloidais* (argila) daquelas que não se encontram em tal estado.

Embora a natureza coloidal seja típica da argila (considerando-a como a fracção de partículas com diâmetro menor do que 2 µm), geralmente observa-se que as propriedades coloidais só se começam a manifestar com perfeita nitidez para as partículas de diâmetro à volta de 1 µm e se acentuam especialmente para as de diâmetro inferior a 0,1 µm. Deste modo é ainda usual fraccionar a argila, com vista a estudos aprofundados, distinguindo-se normalmente três subfracções:

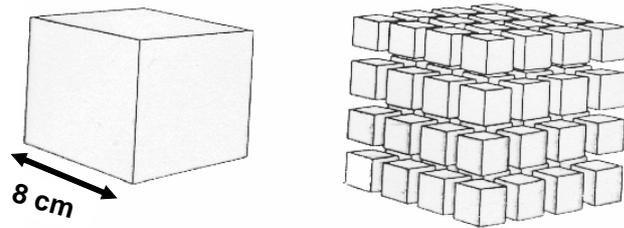
- Argila grosseira: 2 - 1  $\mu\text{m}$ ;
- Argila média: 1 - 0,1  $\mu\text{m}$ ;
- Argila fina: <0,1  $\mu\text{m}$ .

De uma maneira genérica pode dizer-se que existem no solo três lotes ou fracções principais constituintes da terra fina: *areia*, *limo* e *argila* (Fig 2.1). A cada uma dessas fracções corresponderão naturalmente características e propriedades gerais específicas.



**Figura 2.1** - Representação esquemática das fracções areia, limo e argila (adaptado de Hillel, 1998)

As propriedades correspondentes aos diferentes lotes deverão ser especificadas numa perspectiva geral, principalmente nas diferenças de intensidade com que elas se manifestam, entre areia grossa e areia fina e, bem assim, entre limo grosseiro e limo fino, por exemplo. Essas diferenças estão em correspondência com o aumento de área superficial da mesma massa de partículas à medida que a sua dimensão diminui, tal como é esquematizado na Figura 2.2. Com efeito, a partir desta figura constata-se que a área total de um cubo com 8 cm de aresta ( $384 \text{ cm}^2$ ) aumenta quatro vezes quando o mesmo é subdividido em cubos com 2 cm de aresta ( $1536 \text{ cm}^2$ ); mas se o fraccionamento for de ordem a obter cubos com 0,2 cm de aresta, então a área total será de  $15360 \text{ cm}^2$  (40 vezes maior). Similarmente, como as partículas de argila são muito pequenas (e em geral platiformes) a sua superfície específica é muito maior do que a da mesma massa de partículas de areia.



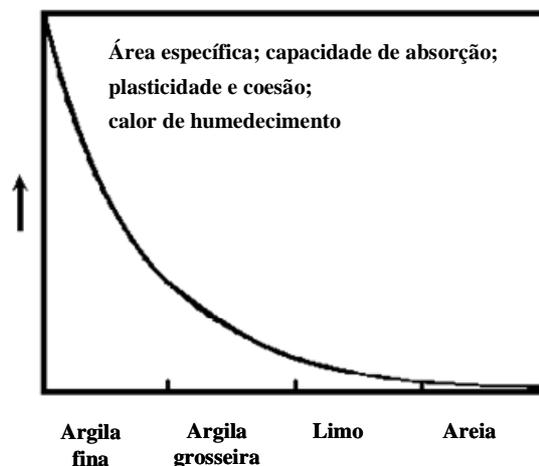
**Figura 2.2** - Relação entre a superfície específica e a dimensão das partículas (adaptado de Brady & Weil, 1999)

Como se trata de propriedades de superfície, logo a sua intensidade variará com certa regularidade da areia grossa até à argila, sentido em que aumenta a superfície específica das respectivas partículas (Quadro 2.1).

Quadro 2.1 - Superfície específica média de vários lotes da terra fina (adaptado de White, 1987)

Lote	Superfície específica ( $\text{m}^2 \text{g}^{-1}$ )
Areia grossa	0,01
Areia fina	0,1
Limo	1,0
Argila	75,0

Dado que a variação granulométrica é praticamente contínua, é assim de esperar que a plasticidade, a adesividade, a tenacidade e o poder de retenção para a água aumentem de uma forma gradual ao passar-se da areia grossa, para a areia fina, para o limo e, por fim, para a argila (Figura. 2.3). Feitas estas considerações genéricas, consideram-se as características gerais dos lotes granulométricos em apreço.



**Figura 2.3** – Manifestação de características do solo em função da dimensão das partículas do mesmo (adaptado de Brady & Weil, 1999).

**Areia** – É praticamente destituída de consistência; não evidencia plasticidade, nem adesividade; quando seca é mesmo solta e incoerente. Tem fraco poder de retenção para a água; é muito permeável à água e ao ar. Do ponto de vista químico é praticamente inerte.

**Limo** - Já possui plasticidade, mas não manifesta adesividade; é um tanto tenaz quando seco. Apresenta considerável poder de retenção para a água e dificulta a permeabilidade à água e ao ar. Quanto ao aspecto químico, é ainda relativamente inerte.

**Argila** - As propriedades físicas apresentam nesta fracção o grau mais elevado, sendo evidentes, nela, a plasticidade, a adesividade e a tenacidade; possui o mais forte poder de retenção para a água e, por outro lado, contraria a permeabilidade à água e ao ar. É a fracção do solo quimicamente activa, o que se deve ao estado coloidal em que se encontra.

## **2.2 Textura do solo**

### **2.2.1. Considerações gerais**

Só em raríssimos casos a terra fina será exclusivamente constituída por areia, por limo ou por argila; como regra, corresponde a uma mistura das três fracções, em proporções bastante variadas. A terra fina apresentará, assim, propriedades intermédias às dessas fracções, aproximando-se mais o seu comportamento do respeitante à areia, ao limo ou à argila, consoante o lote que predominar.

É por conseguinte importante, para se poder prever o comportamento geral do solo, conhecer a quantidade relativa de areia, limo e argila existente na terra fina, isto é, conhecer a textura do solo. Por *textura do solo* entender-se-á, então, a proporção em que se encontram na terra fina lotes de partículas minerais elementares cujas dimensões variam dentro de certos limites, ou seja a proporção de areia, de limo e de argila dentro da terra fina.

A textura do solo só pode ser conhecida através de análise adequada no laboratório: a *análise granulométrica* (também designada *análise mecânica*). No campo, recorrendo a ensaio expedito, pode-se conseguir também informação sobre a textura, mas apenas de uma forma aproximada.

### **2.2.2 Análise granulométrica do solo**

A *análise granulométrica* ou *análise mecânica* do solo (protocolo analítico descrito no Anexo 3) consiste na determinação das proporções em que se encontram, na terra fina,

certos lotes ou fracções de partículas minerais, com diâmetros compreendidos entre limites padronizados na avaliação da **textura do solo**, após a separação prévia dos *elementos grosseiros* e remoção da *matéria orgânica*.

Para fazer a determinação das proporções de cada um destes lotes (**areia grossa, areia fina, limo e argila**), torna-se necessário garantir a individualização de todas as partículas de terra fina, o que é conseguido através de um processo de *dispersão*. Este processo pode ser condicionado pela existência, no solo, de materiais que contribuem para a agregação entre as partículas, nomeadamente matéria orgânica ou calcário, os quais implicam tratamentos prévios das amostras, com água oxigenada ou ácido clorídrico, respectivamente. Após esse tratamento, a dispersão é conseguida através de agitação mecânica da amostra diluída em água, juntamente com um agente químico dispersante. Para este efeito, utilizam-se, geralmente, sais de sódio, para que o ião  $\text{Na}^+$  seja adsorvido na superfície das partículas de argila, em substituição de outros catiões de carácter flocculante (nomeadamente  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ ), contribuindo assim para o desenvolvimento de repulsões entre essas partículas, e, portanto, para a dispersão do solo. O reagente dispersante mais utilizado é o hexametáfosfato de sódio.

Uma vez conseguida a dispersão da amostra de solo, ela é sucessivamente submetida a uma série de métodos de separação de partículas, de modo a permitir a quantificação de cada uma das fracções atrás referidas.

Assim, em primeiro lugar será feita uma **crivagem**, através de um crivo com uma malha cujo diâmetro deverá corresponder ao limite da fracção *areia grossa* (0,2mm), o que permitirá fazer a separação completa dessa fracção da amostra.

Em seguida através do método da **pipetagem**, são feitas quantificações, por amostragem, das fracções *limo* e *argila*, para, finalmente, através de um processo de **sedimentação e decantação**, fazer a separação da totalidade de *areia fina* existente na amostra. Estes métodos baseiam-se no cálculo da velocidade de sedimentação das partículas terrosas dentro de água, o qual é feito, aproximadamente, através da aplicação da *Lei de Stokes*.

A *Lei de Stokes* estabelece que a velocidade de sedimentação de partículas sólidas, esféricas, lisas e suficientemente pequenas, num meio fluido de viscosidade conhecida, é directamente proporcional ao quadrado do diâmetro das partículas, à aceleração da gravidade e à diferença entre a massa volúmica das partículas e do líquido, e inversamente proporcional à viscosidade deste. Esta lei exprime-se pela fórmula:

$$v = g \frac{\rho_1 - \rho_2}{18\eta} D^2,$$

em que:

- $v$  é a velocidade de sedimentação das partículas ( $\text{m s}^{-1}$ );
- $D$  é o diâmetro efectivo das partículas (m);
- $g$  é a força gravítica ( $\text{N kg}^{-1}$ );
- $\rho_1$  é a massa volúmica das partículas ( $\text{kg m}^{-3}$ );
- $\rho_2$  é a massa volúmica do meio em que se dá a sedimentação ( $\text{kg m}^{-3}$ ); e
- $\eta$  é a viscosidade desse meio ( $\text{N s m}^{-2}$ ).

Uma vez que a força gravítica se pode considerar invariável para um determinado lugar, que a massa volúmica da água, bem como a sua viscosidade, são apenas função da temperatura, e que a massa volúmica das partículas do solo é, em geral, muito próxima de  $2,65 \text{ kg m}^{-3}$ , pode-se considerar:

$$g \frac{\rho_1 - \rho_2}{18\eta} = K ,$$

em que  $K$  é uma constante de proporcionalidade cujo valor depende somente da temperatura.

A *Lei de Stokes* exprime-se assim, simplificada, pela equação:

$$v = KD^2 ,$$

podendo o valor de  $K$  ser calculado separadamente para facilitar a aplicação da equação.

A aplicação desta lei às partículas minerais do solo envolve, contudo, algumas limitações, uma vez que estas têm formas muito variadas e não são lisas. Contudo, tomando certos cuidados analíticos e considerando como diâmetro das partículas o que se designa por “diâmetro equivalente” ou “diâmetro efectivo”, que é o diâmetro das esferas do mesmo material que sedimentariam com velocidade igual à das partículas em questão, os resultados obtidos são suficientemente rigorosos.

A *Lei de Stokes* é usualmente aplicada nos métodos da *pipetagem* e da *sedimentação e decantação*, para calcular os tempos de sedimentação necessários para que todas as partículas de areia fina, ou todas as partículas de limo e areia fina, percorram uma determinada distância, correspondente à profundidade à qual será feita a *pipetagem* ou a *decantação*, respectivamente.

Atendendo a que a velocidade de sedimentação pode ser dada pela expressão:

$$v = \frac{e}{t},$$

em que  $e$  é a distância (m) percorrida pelas partículas de diâmetro  $D$ , no intervalo de tempo  $t$  (s), podemos calcular, então, profundidades de colheita ou tempos de sedimentação, conforme for mais conveniente.

**Quadro 2.2.** Tempos de sedimentação (calculados para Lisboa) para amostragem das fracções de argila e de limo+argila à profundidade de 10 cm, e profundidades de amostragem para tempos de sedimentação de 8 horas (argila) e 4 minutos e 48 segundos (limo+argila), em função da temperatura da suspensão.

Temperatura	Tempos de sedimentação para amostragem a 10 cm de profundidade				Profundidades de amostragem para tempos de 8h (argila) e 4 min. 48 seg. (limo+argila)	Temperatura
	Argila		Limo+Argila			
°C	horas	minutos	minutos	segundos	cm	°C
10	10	23	6	14	7,7	10
11	10	06	6	03	7,9	11
12	9	49	5	54	8,1	12
13	9	43	5	44	8,4	13
14	9	19	5	35	8,6	14
15	9	05	5	27	8,8	15
16	8	51	5	19	9,0	16
17	8	37	5	10	9,3	17
18	8	24	5	03	9,5	18
19	8	12	4	55	9,8	19
20	8	00	4	48	10,0	20
21	7	48	4	41	10,3	21
22	7	37	4	34	10,5	22
23	7	26	4	28	10,8	23
24	7	16	4	22	11,0	24
25	7	06	4	15	11,3	25
26	6	56	4	10	11,5	26
27	6	47	4	04	11,8	27
28	6	38	3	59	12,1	28
29	6	29	3	54	12,3	29
30	6	21	3	48	12,6	30

Para facilitar o cálculo dos tempos de sedimentação existem tabelas de aplicação da *Lei de Stokes* adaptadas a cada lugar da Terra (Quadro 2.2). Recorrendo a esta Tabela, podemos fixar uma profundidade de pipetagem de 0,1 m (10 cm) e determinar o tempo de sedimentação necessário para fazer as colheitas desejadas, ou podemos fixar um tempo de sedimentação de 8 horas (para colheita da amostra de argila) ou de 4 minutos e 48 segundos (para colheita da amostra de limo+argila) e determinar a profundidade à qual deverá se feita uma pipetagem.

Para mais fácil percepção do comportamento geral do solo atendendo à sua textura, reconhece-se haver toda a conveniência em adoptar designações específicas que transmitam adequada ideia sobre a correspondente constituição textural. Para o efeito consideram-se as

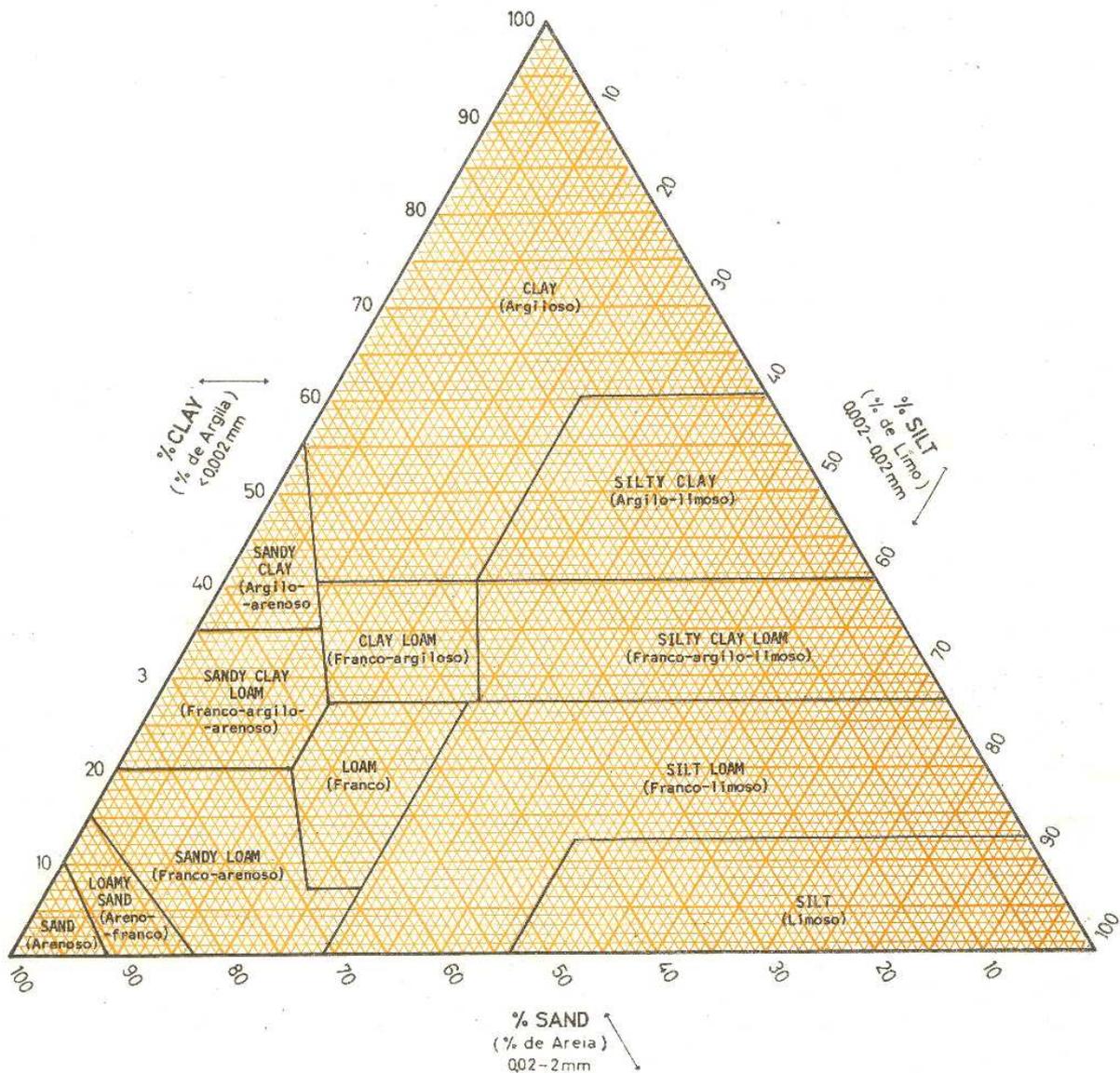
chamadas classes de textura, que se podem definir como conjuntos de texturas em que as proporções dos respectivos lotes de partículas variam entre limites relativamente estreitos, implicando que solos duma classe apresentem afinidade de comportamento geral físico e químico, desde que o tipo de argila e a estrutura sejam semelhantes.

As classes de textura mais frequentemente consideradas são as doze referidas no diagrama triangular da Figura 2.4, em que as designações adoptadas procuram ser conotativas dos três principais lotes constituintes da terra fina (areia, limo e argila).

Para maior simplificação da apreciação dos solos do ponto de vista textural, é ainda comum agrupar as doze classes de textura em três grandes conjuntos principais (*texturas grosseiras*, *texturas médias* e *texturas finas*), subdividindo por seu turno o grupo das texturas médias em *texturas francas* e *texturas limosas* (Fig. 2.4). Os solos com texturas grosseiras, limosas ou finas aproximam-se, nas suas características e propriedades gerais, das inerentes aos lotes de partículas que exercem acção dominante (areia, limo e argila, respectivamente), exibindo assim as correspondentes limitações e qualidades; pelo contrário, os solos com texturas francas são solos texturalmente equilibrados, em virtude de haver um adequado equilíbrio na proporção das fracções areia, limo e argila.

Atendendo às características da argila, é compreensível que os solos de texturas finas tendam a apresentar reduzida permeabilidade à água e ao ar. Todavia, se forem solos com boa agregação (para a qual a argila pode concorrer), então eles mostrar-se-ão permeáveis à água e suficientemente arejados, ao mesmo tempo que se caracterizam por reterem quantidades elevadas de água.

Os solos com texturas limosas, diferentemente, são sempre pouco adequados do ponto de vista físico, uma vez que o predomínio do limo contraria o desenvolvimento de conveniente agregação dos solos, por conseguinte com tendência para encharcarem (resultante da fraca permeabilidade à água) e, como tal, com um arejamento muito deficiente.



**Figura 2.4.** Diagrama triangular para a classificação da textura do solo, adaptado aos limites das fracções da escala de Atterberg (segundo Gomes & Silva, 1962)

### 2.2.3. Textura de campo

Quando se faz a descrição de um perfil de solo, no campo, pode estimar-se, de forma aproximada, a classe textural correspondente a cada um dos horizontes, a partir das propriedades físicas de cada uma delas. Para isso, observam-se pequenas porções do respectivo material, na palma da mão e esfregam-se entre os dedos, para verificar se são ásperas, sedosas ou macias ao tacto. Em seguida humedecem-se, amassam-se, e procura-se moldá-las em filamento, que depois se tenta curvar em argola, o que permite averiguar se os materiais são mais ou menos plásticos e pegajosos. Faz-se, assim, uma apreciação daquilo que se designa por *textura de campo*, e que corresponde à determinação aproximada da classe

textural. No Quadro 2.3 resumem-se os critérios a seguir para a apreciação da *textura de campo*.

Quadro 2.3 – Características de algumas classes texturais do solo no estado seco e no estado húmido

<b>Características no estado seco</b>	<b>Características no estado húmido</b>	<b>Classe textural</b>
Áspero, formado quase exclusivamente por areia	Não pode moldar-se em filamento; não é pegajosa	<b>ARENOSA</b>
Com elementos ásperos (de areia e, em menor proporção, elementos macios)	Fendilha quando se tenta moldar em filamento que só pode formar-se com muita dificuldade; não é pegajosa	<b>FRANCO-ARENOSA</b>
Heterogénea, com maior proporção de materiais macios do que de ásperos; pode apresentar agregados que se esboroam facilmente	Pode moldar-se em filamento mas com certa dificuldade; fendilha quando se tenta curvar em argola; não é pegajosa	<b>FRANCA</b>
Caracteres intermédios entre a anterior e a seguinte	Caracteres intermédios entre a anterior e a seguinte	<b>FRANCO-ARGILOSA</b>
Formada exclusivamente (ou quase) por materiais macios; pode ter agregados que é difícil ou impossível esboroar entre os dedos	Facilmente moldável em filamento alongado, que com facilidade se pode curvar em argola; pegajosa	<b>ARGILOSA</b>
Caracteres intermédios entre a anterior e a seguinte	Caracteres intermédios entre a anterior e a seguinte	<b>ARGILO-LIMOSA</b>
Formada exclusivamente (ou quase) por materiais macios (sedosos)	Facilmente moldável em filamento alongado, que com facilidade se pode curvar em argola; pouco pegajosa	<b>LIMOSA</b>

Os casos intermédios de textura entre *franca* e *limosa* correspondem a *franco-limosa*. Casos intermédios entre *franco-argilosa* e *argilo-limosa* correspondem a *franco-argilo-limosa*. Casos intermédios entre *arenosa* e *argilosa* com proporção sensivelmente igual dos elementos dominantes em cada uma destas duas texturas, e fraca proporção de limo, correspondem a *argilo-arenosa*.

#### 2.2.4. Textura do solo e consistência

O termo consistência do solo utiliza-se para descrever a resistência deste à acção de forças mecânicas ou à sua manipulação a diferentes teores de humidade. Refere-se, portanto, à manifestação das forças físicas de coesão e adesão que nele actuam para vários teores de água, nomeadamente a resistência que o material do solo oferece à deformação e à rotura. As formas de consistência que o solo normalmente apresenta são a *tenacidade* ou *dureza* (no estado seco), a *friabilidade* (no estado húmido) e a *plasticidade* e a *adesividade* (nos estados muito húmido ou molhado).

Com baixo teor de humidade, o solo é duro e coerente (excepto quando a sua textura é demasiado grosseira), devido à forte ligação que existe entre as partículas terrosas, manifestando-se por isso a sua *tenacidade* ou *dureza*. Porém, à medida que o teor de humidade aumenta, as moléculas de água adsorvidas na superfície das partículas reduzem a coesão destas ao mínimo compatível com a sua natureza, e o solo torna-se *friável*. Neste estado, a massa do solo esboroa-se com relativa facilidade e os seus agregados tendem a individualizar-se.

Com um aumento subsequente do teor de água do solo, a ligação entre as partículas terrosas passa a depender quase exclusivamente da coesão das películas de água que as circundam. Estas películas permitem que as partículas do solo se movam sem perder a sua coesão, ao mesmo tempo que facilitam esse movimento ao agirem como um lubrificante que reduz o atrito entre as partículas. Nestas condições, o solo é susceptível de se deformar por acção de forças que lhe sejam aplicadas, retendo a forma entretanto adquirida quando cessa a actuação daquelas forças. Tal comportamento corresponde à manifestação de *plasticidade*.

A *adesividade* manifesta-se através da facilidade com que o material do solo adere a outros objectos. Em alguns casos esta forma de consistência verifica-se para teores de humidade situados no intervalo em que o solo tem um comportamento plástico; noutros, porém, ela apenas se manifesta quando o solo está a atingir o estado viscoso.

A forma platiforme das partículas dos minerais de argila, juntamente com a sua grande superfície específica, permite que as mesmas tenham um papel preponderante na plasticidade do solo. Com efeito, quando a quantidade de água no solo atinge o limite a partir do qual as partículas dos minerais de argila passam a estar completamente envolvidas por películas aquosas, a aplicação de forças ao solo tende a orientá-las paralelamente, aumentando a superfície de contacto entre elas; por outro lado, a tensão superficial das películas aquosas existentes à sua volta mantém-nas ligadas entre si, conferindo coesão ao

solo. A aplicação de uma pequena força ao solo leva a que as partículas deslizem facilmente umas sobre as outras e facilitem o movimento das partículas mais grosseiras, permitindo que a massa do solo mude de forma; porém, ao cessar a actuação da força, as partículas não regressam à posição original, visto que a tensão das películas de água as mantém nas posições entretanto adquiridas. A partir de determinado limite do teor do solo em água o espessamento das películas aquosas acabará por levar à redução da coesão entre as partículas; o solo passa então a um estado mais ou menos fluido, no qual a massa do solo se deforma por acção do seu próprio peso.

As partículas não platiformes, mesmo que de dimensão semelhante à da argila, não têm este comportamento, uma vez que a sua superfície de contacto é menor e que a fricção entre elas é bastante mais elevada; o seu deslizamento é por isso muito mais limitado no espaço.

As formas de consistência plástica e adesiva manifestam-se com muito maior expressão em solos com elevados teores de argila, uma vez que a superfície disponível (superfície específica) para a formação de películas de água é maior quando as partículas são platiformes do que quando apresentam formas granulares (poliédricas). Os solos de textura fina apresentam igualmente grande tenacidade quando secos, uma vez que as partículas de argila apresentam elevada superfície específica e, conseqüentemente, uma maior quantidade de pontos de contacto entre elas.

## **AVALIAÇÃO DA PLASTICIDADE E ADESIVIDADE**

Determina-se para teor de humidade igual ou ligeiramente superior à *capacidade de campo* (conceito que mais adiante será tratado).

### **ADESIVIDADE**

Para a avaliar aperta-se uma porção de material do solo entre o indicador e o polegar e nota-se a sua maior ou menor aderência. Distinguem-se os seguintes graus de adesividade:

- 0 - ***Não pegajoso***: depois de deixar de exercer pressão, praticamente nenhum material adere ao polegar ou ao indicador.
- 1 - ***Pouco pegajoso***: depois de apertado, o material adere aos dedos mas, afastando os dedos um do outro, distende-se pouco e deixa um dos dedos limpo.
- 2 - ***Pegajoso***: o material adere depois de se ter apertado e com o afastamento dos dedos distende-se de modo a ficar dividido pelos dois em lugar de ficar preso a um só.
- 3 - ***Muito pegajoso***: o material distende-se nitidamente quando se afastam os dedos.

## PLASTICIDADE

A sua avaliação faz-se rolando na palma da mão uma porção de material do solo, de modo a formar um filamento. Consideram-se os seguintes graus:

- 0 - **Não plástico**: não é possível formar filamento.
- 1 - **Pouco plástico**: Forma-se filamento e a massa deforma-se sob pressão muito ligeira (um filamento com 40x6 mm suporta o seu peso, mas um com 40x4 mm não).
- 2 - **Plástico**: forma-se filamento e a massa deforma-se sob pressão moderada (um filamento de 40x4 mm suporta o seu peso, mas um de 40x2 mm não).
- 3 - **Muito plástico**: forma-se filamento e a massa deforma-se sob pressão forte (um filamento de 40x2 mm suporta o seu peso).

### 2.3. Especificação e importância da granulometria do solo

A textura e, como tal, a classe de textura, de acordo com os respectivos conceitos, apenas dizem respeito à *terra fina*. Será então preciso entrar em linha de conta com os elementos grosseiros existentes, se interessar conhecer a granulometria geral do solo e, como sucede com frequência, houver necessidade de exprimir em relação à totalidade de terra os resultados analíticos apenas referentes à terra fina - material do solo que é normalmente o utilizado nas análises laboratoriais correntes.

Os elementos grosseiros, sendo material praticamente inerte quanto a propriedades físicas e químicas, determinam como é óbvio uma diluição da terra fina desde que se encontrem a ela associados. Todavia, se presentes em proporção inferior a 5%, não afectam de forma significativa o comportamento geral do solo, não implicando grande afastamento entre os valores dos resultados analíticos que tenham sido expressos em relação à *terra fina* ou à *terra total*. Acima de 5% de elementos grosseiros a situação é bem diferente e em tais condições eles terão que ser obrigatoriamente considerados. Assim, a informação sobre os elementos grosseiros existentes é então necessária, em complemento da especificação apresentada relativamente à textura do solo, devendo pois indicar-se, na medida do possível, a proporção de elementos grosseiros.

A especificação da granulometria geral do solo é como norma feita acrescentando à designação da classe de textura a referida indicação quanto aos elementos grosseiros, desde que, evidentemente, a proporção de terra fina exceda a do material grosseiro. Se este material predominar, então consideram-se em primeiro lugar os elementos grosseiros e só depois

aparece a designação textural; sempre que um lote grosseiro se destaque em relação aos restantes diz-se, de preferência, que o solo é saibrento (ou cascalhento, pedregoso), vindo então a seguir a informação sobre a terra fina, como por exemplo: solo saibrento, com alguma terra fina argilosa.

A granulometria é uma das características do solo mais estáveis, revelando-se como um indicador geral muito útil do comportamento e da aptidão ou qualidade dos solos. Várias propriedades encontram-se dependentes da textura, como a capacidade de retenção de água e nutrientes, a drenagem, a temperatura do solo e o arejamento. Os solos de textura fina têm elevada retenção de nutrientes e água, mas em geral apresentam problemas de drenagem, temperaturas menos favoráveis e deficiente arejamento. Os solos com texturas francas (texturas médias), em associação com a elevada retenção de água e nutrientes têm também boa drenagem, temperaturas mais equilibradas e bom arejamento. Os solos de texturas grosseiras são, de todos, os mais favoráveis dos pontos de vista de infiltração da água, drenagem, temperatura e arejamento. Os solos mais adequados, para fins agrícolas, serão os de texturas finas e médias; para culturas de regadio preferem-se, geralmente, os solos de texturas francas e grosseiras. Os solos argilosos são considerados como “pesados” e os arenosos como solos “ligeiros” (ou “leves”), devido ao esforço que é preciso despender para os mobilizar (muito maior nos argilosos do que nos arenosos).

Os elementos grosseiros têm forte influência na utilização e gestão dos solos. Com o seu aumento há redução da capacidade de retenção para a água e nutrientes; em contrapartida, verifica-se uma melhoria nas condições de drenagem. Por outro lado eles também afectam a maior ou menor facilidade de mobilização, bem como a acção abrasiva exercida pelo solo sobre a maquinaria. A existência de elevada proporção de pedras, calhaus ou blocos cria tão grandes dificuldades aos trabalhos de mobilização do solo, que estes só são tecnicamente possíveis depois de se proceder à sua remoção (“despedrega”).

## Referências

- Brady, N.C. & Weil R. R. 1999 - *The Nature and Properties of Soils*. 12<sup>th</sup> Edition. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey.
- Brady, N.C. & Weil R. R. 2008 - *The Nature and Properties of Soils*. 14<sup>th</sup> Edition revised. Pearson International Edition, Pearson Education, Inc., Upper Saddle River, New Jersey.
- Botelho da Costa, J. 1973 - *Caracterização e Constituição do Solo*. Com revisão e aditamentos de A. L. Azevedo e R. P. Ricardo. Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa.
- Gomes, M. P. & Silva, A. A. 1962 - Um novo diagrama triangular para a classificação básica da textura do solo. *Garcia de Orta* 10(1): 171-179)
- Hillel, D. 2004 - *Introduction to Environmental Soil Physics*. Elsevier Academic Press, Amsterdam.

White, R.E. 1987 - *Introduction to the Principles and Practice of Soil Science*. 2<sup>nd</sup> edition. Blackwell Scientific Publications. Oxford

# ANEXO 1

## AMOSTRAGEM DE SOLOS

Além das características e propriedades observadas e avaliadas no campo, outras há que só podem ser determinadas através de procedimentos laboratoriais. Por essa razão se colhem amostras nos solos sujeitos a estudo. O valor dos resultados analíticos obtidos no laboratório depende estreitamente do cuidado e da técnica seguidos na colheita das amostras. A amostragem deve portanto ser criteriosamente feita, tanto no que diz respeito à escolha do local como à própria colheita do material e ao número de amostras que se devem colher.

**As amostras colhidas podem destinar-se a várias finalidades:** (a) determinar propriedades fundamentais do solo que interessam para a sua caracterização e classificação; (b) definir com mais precisão avaliações já feitas previamente no campo, tais como a textura; (c) avaliar teores de nutrientes disponíveis no solo; (d) medir a variação de certas características ou condições dos solos em sistemas experimentais de campo, com vista a monitorizar os efeitos inerentes, por exemplo, a sistemas de mobilização, à aplicação de fertilizantes e correctivos ou à recuperação de solos.

**As amostras podem ser de natureza variada:** (a) material perturbado colhido nos diversos horizontes do perfil (amostras normais); (b) material não perturbado de cada um dos horizontes; ou (c) material não perturbado de todo o perfil de solo (monólito). As primeiras, que servem para a maioria das análises físicas e químicas, colhem-se dos vários horizontes, desagregando o material que os constitui, com o auxílio de uma ferramenta apropriada; as segundas servem especialmente para a determinação de parâmetros em que é determinante o arranjo natural das partículas (massa volúmica aparente, porosidade, condutividade hidráulica) e para estudos referentes à micromorfologia; as terceiras têm interesse para fins didácticos e de exposição.

### 1. Amostras para caracterização e classificação dos solos

Colhem-se amostras para este fim em trabalhos de reconhecimento e de cartografia de solos. Quando o trabalho de reconhecimento incide sobre uma área da qual nada se conhece em relação aos solos, será conveniente fazer inicialmente uma prospecção muito geral e, logo após, colher algumas amostras representativas dos tipos dominantes de solos. Os resultados da análise destas amostras são de grande utilidade para o reconhecimento mais

pormenorizado que vai seguir-se, esclarecendo pontos fundamentais na classificação dos diversos solos. Posteriormente poderão colher-se novas amostras para uma caracterização mais detalhada e para o esclarecimento de situações dúbias.

### **1.1. Selecção do local da colheita**

Dentro de cada unidade-solo devem ser colhidas amostras em vários locais (consoante a extensão da zona) e bem representativos das condições gerais verificadas. Estes locais devem ser escolhidos criteriosamente e em obediência a várias regras: o perfil escolhido deve representar, em todas as características, a unidade-solo a que diz respeito, tanto em relação às características internas (morfologia), como em relação às características externas (topografia, drenagem, vegetação); isto é, deve corresponder a uma unidade paisagista homogénea.

As amostras devem ser colhidas em perfis recentemente abertos e após a descrição morfológica dos mesmos. Não se devem colher amostras em taludes de estradas ou em cortes naturais expostos durante largos períodos, bem como em locais que se encontrem fortemente perturbados.

### **1.2. Preparação do solo para amostragem**

As covas em que se faz a descrição dos perfis e a colheita das amostras deverão ter cerca de 0,8 m de largura, 1,8 m de comprimento. A profundidade poderá ir até 1,8 a 2,0 m ou menos, até à profundidade em que apareça rocha dura, um impermeável cimentado ou um lençol freático. As covas deverão ser abertas de forma que, pelo menos uma das paredes, em que irá ser feita a descrição do perfil e a colheita das amostras, fique convenientemente limpa e não seja perturbada com o material proveniente da escavação.

### **1.3. Colheita das amostras**

Cada amostra deve ser representativa de um horizonte genético ou camada bem delimitada na descrição morfológica do perfil. Para além disso, no caso de horizontes superficiais, a espessura abrangida por cada amostragem não deve ser superior a 15 cm, enquanto nos horizontes sub-superficiais essa espessura pode ir até 30 cm. Portanto, sempre que as espessuras o justifiquem, poderemos recolher mais do que uma amostra por horizonte ou por camada, correspondendo a sub-divisões verticais.

Quando os limites entre horizontes ou camadas forem graduais ou difusos, as amostras colhidas deverão cingir-se apenas à espessura que esteja tipicamente dentro da camada que a amostra pretende representar. Nestes casos poderão deixar-se espaços entre amostras

consecutivas, nos quais não se faz colheita de material, ou poderá colher-se uma amostra separada referente à zona de transição.

As amostras deverão ser recolhidas, de preferência, de baixo para cima, começando pelas camadas inferiores do perfil e terminando no horizonte superficial, evitando assim a contaminação das amostras de maior profundidade com o material sobrejacente. A quantidade de material a recolher pode variar mas são, em geral, necessários 1 a 2 kg de terra (incluindo também os elementos grosseiros) por amostra.

Para ser transportado para o laboratório, o material amostrado deve ser embalado em sacos de pano ou de plástico, devidamente identificados, sendo usual utilizar-se uma dupla marcação, no exterior do saco e em etiquetas que são colocadas no interior, nas quais se indicam: número do perfil e do horizonte, número da amostra, profundidade, data e identificação do colector.

## **2. Amostras para fornecer indicações sobre correcções e fertilizações**

No caso de situações em que não se dispõe de cartografia pormenorizada dos solos, poderão ser recolhidas amostras destinadas a dar indicações sobre técnicas culturais mais adequadas e necessidades de realização de correcções e/ou fertilizações. Para esse efeito, deverá fazer-se um reconhecimento preliminar atendendo a algumas características facilmente observáveis tais como: cor do solo, reacção do solo, textura, consistência, desenvolvimento de vegetação espontânea e condições topográficas. A partir deste reconhecimento deverão ser delimitadas áreas relativamente homogéneas a respeito dessas características consideradas, com dimensão que justifique a adopção de técnicas diferenciadas. Cada uma das diferentes áreas homogéneas identificadas deverá ser alvo de uma amostragem.

### **2. 1. As amostras a colher podem ser simples ou compostas**

**Amostras simples** – aquelas que são colhidas num local que se considera representativo da parcela e no qual se recolhe a quantidade de material necessária para a realização das análises pretendidas. Recomendável apenas no caso de parcelas muito homogéneas e, mesmo assim, acarretando problemas de generalização dos resultados.

**Amostras compostas** – amostras que se preparam misturando material proveniente de várias amostras simples recolhidas em vários locais de uma mesma parcela que se pretende caracterizar. Por cada parcela deverão ser recolhidas várias amostras simples (parciais) de grandeza semelhante, de forma a obter uma amostra composta representativa.

## 2.2. Regras gerais de colheita das amostras

As amostras recolhidas **não devem estar demasiado secas, nem muito húmidas**, evitando épocas em que se tenham adicionado ao solo quaisquer correctivos ou fertilizantes.

Os **locais de amostragem** não devem situar-se na proximidade de árvores, caminhos, redes de irrigação ou drenagem, locais de armazenamento temporário de correctivos ou fertilizantes, de realização de fogueiras, ou outros que possam a criar diferenciações pontuais nas características do solo.

A **profundidade** até à qual se deve realizar a colheita das amostras varia com a espessura de solo que será explorado pelas raízes das plantas. Fora o caso de espécies arbóreas ou de raízes profundas, em que se poderá considerar a amostragem a maior profundidade, faz-se a colheita de uma amostra de solo até cerca de 20 cm.

As **amostras poderão ser recolhidas** através de sondas, adequadas aos diferentes tipos de solo, ou em pequenas covas abertas especificamente para este efeito, respeitando os mesmos cuidados atrás descritos para as covas de grandes dimensões. No caso de se pretender preparar amostras compostas, o material de cada uma das amostras parciais deve ser esboroado, homogeneizado e espalhado sobre uma superfície limpa e lisa, formando uma camada delgada; constitui-se a amostra composta retirando pequenas porções idênticas de cada uma das amostras simples, até perfazer a quantidade de amostra desejada.

Após a colheita das amostras simples ou a preparação de amostras compostas, estas devem ser embaladas em sacos de plástico ou de pano e identificadas com etiquetas, como já se referiu atrás.

## 3. Amostras monolíticas

As amostras monolíticas são colhidas com o intuito de se constituírem colecções com fins didácticos e de exposição. A colheita deste tipo de amostras não perturbadas exige a recolha uma fatia de solo com cerca de 15 cm de largura e 10 cm de espessura, até uma profundidade de 1,6 m, que será fixada numa caixa de madeira com essas dimensões, utilizando uma resina apropriada, garantindo que as partículas do solo se irão manter, na amostra, na mesma posição relativa em que se encontravam no campo.

#### **4. Amostras especiais**

Amostras de índole especial são colhidas para estudos referentes à estrutura do solo, à determinação da massa volúmica aparente, da porosidade e da permeabilidade, bem como para estudos de caracterização do sistema de porosidade e de micromorfologia do solo.

#### **5. Preparação das amostras para análise**

No caso de estudos em que se recorra à análise de amostras não perturbadas, esta pode ser feita directamente sobre a amostras, tal como ela foi recolhida e sem qualquer preparação adicional (por exemplo, determinação da massa volúmica aparente ou da condutividade hidráulica, em cilindros de solo), ou, pelo contrário, pode ser necessário um tratamento específico que a prepare para métodos especiais de análise ou observação (caso dos estudos de micromorfologia em lâmina delgada).

Para as restantes análises de rotina (por exemplo, determinação de textura, de teores de nutrientes, da capacidade de troca catiónica, do pH), contudo, a preparação das amostras normais de solo envolve a sequência de operações que é apresentada de seguida.

##### **5.1. Secagem**

Muitas vezes, as amostras colhidas apresentam um teor de humidade superior ao correspondente ao estado seco ao ar, iniciando-se a preparação da amostra por uma fase de secagem. Para o efeito espalha-se o material da amostra em camada delgada sobre um tabuleiro, decorrendo a secagem à temperatura ambiente em local seco e bem arejado (para acelerar a secagem poderão ser utilizadas estufas a uma temperatura não superior a 40°C). Durante esta fase recomenda-se que se faça o esboroamento da amostra, não só para acelerar a secagem, mas também para facilitar a operação seguinte de crivagem.

##### **5.2. Crivagem**

Depois de secas, as amostras são submetidas à crivagem que conduzirá à obtenção da chamada “terra fina” (sobre a qual irão incidir as futuras análises) e à separação dos “elementos grosseiros” (material de dimensão superior a 2 mm).

A crivagem pode ser realizada manualmente ou por processos mecânicos. Para isso, é necessário destruir os agregados de dimensões superiores a 2 mm, sem no entanto destruir o material elementar, o que se consegue através de suaves operações em almofariz de porcelana, até que no crivo fique apenas retido material não agregado. No lote de elementos grosseiros, caso interesse, poderá ser feita a separação do saibro e do cascalho, recorrendo a

crivos, respectivamente, de 5 e 20 mm, que poderão ser pesados separadamente (os restantes elementos grosseiros são separados manualmente).

Com base no peso inicial da amostra e nos pesos dos diversos lotes isolados, calcula-se a percentagem global de elementos grosseiros e as percentagens parciais de cada um dos lotes quantificados.

A “terra fina” obtida por crivagem deve ser guardada em frascos de vidro ou de plástico, devidamente tapados, rotulados, numerados e armazenados em boas condições de temperatura e humidade. Faz-se uma listagem das amostras, com referência aos elementos de identificação que constam das respectivas etiquetas de campo.

## **6. Obtenção de sub-amostras para análise**

Da mesma forma que, no campo, se procura obter amostras representativas do solo que se pretende analisar, também, ao proceder à tomada de uma sub-amostra para análise, se deve procurar que ela seja representativa da amostra global. A validade dos resultados obtidos em qualquer determinação analítica, depende, pelo menos em certa medida, de se conseguir atingir esse objectivo.

Uma amostra de terra fina acondicionada dentro de um frasco tem tendência para distribuir-se de maneira heterogénea, pelo que se tornam necessários cuidados especiais, quando dela se pretende tomar uma sub-amostra representativa, o que pode ser conseguido através de métodos manuais ou, preferencialmente, mecânicos.

### **6.1. Processo manual**

Toda a amostra de terra contida no frasco é despejada sobre uma folha de papel liso e, utilizando uma espátula, procede-se à homogeneização do material. Seguidamente espalha-se a amostra de maneira a formar uma camada muito delgada e uniforme. Com a espátula ou uma colher apropriada, retiram-se, então, para o recipiente pretendido, pequenas porções de material, de modo a que os locais de toma se distribuam uniformemente pela superfície do material espalhado na folha de papel, e até se ter tomado a quantidade de sub-amostra desejada.

### **6.2. Processo mecânico**

Este processo exige a utilização de um aparelho muito simples designado por “partidor de amostras” (existente em diversos tamanhos, adequados a diferentes grandezas de sub-amostra a separar). Este equipamento é constituído por uma tremonha de fundo móvel,

sob a qual se dispõem divisórias verticais, delimitando um número par e, em geral, elevado de estreitos corredores, cujos fundos se apresentam inclinados alternadamente para um e outro lado da tremonha. Duas gavetas inferiores, colocadas de cada lado, recebem o material que é obrigado a passar pelos corredores.

Toda a amostra de terra contida no frasco é despejada na tremonha e o material nivelado dentro desta. Abrindo o fundo da tremonha, por meio de alavanca própria, o material cai livremente sobre os corredores, sendo a amostra partida em duas porções equivalentes, que são recolhidas nas duas gavetas. Guarda-se uma das porções dentro do frasco e passa-se a outra de novo para a tremonha, a fim de realizar uma nova operação de partição. Repete-se o processo tantas vezes quantas as necessárias para que a porção obtida numa das gavetas seja de grandeza compatível com a análise a que se destina.

## ANEXO 2

### DETERMINAÇÃO DO TEOR DE HUMIDADE EM AMOSTRAS DE SOLO

A maior parte das análises de solos são realizadas em amostras de terra fina (partículas com diâmetro inferior a 2 mm), as quais, mesmo após a secagem ao ar, mantêm alguma humidade. Uma vez que os resultados dessas análises são expressos, geralmente, em relação à massa de solo seco, importa sempre determinar o teor de humidade das amostras utilizadas.

Por este motivo, a primeira análise a realizar, referente à caracterização dos solos, será a determinação do teor de humidade na terra fina da respectiva amostra. Esta determinação faz-se quantificando, numa pequena sub-amostra, a perda de peso devida à exposição a uma temperatura de 100-105°C durante o tempo suficiente para ela atinja um peso constante.

O teor de humidade do solo deve exprimir-se sob a forma de uma proporção gravimétrica:  $\text{g g}^{-1}$  (gramas de água por grama de solo seco a 105°C). Também pode ser expressa em  $\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$  (gramas de água por 100g de solo seco a 105°C) que se obtém multiplicando por 100 o resultado da expressão atrás indicada, e corresponde, também, ao teor de humidade expresso em percentagem.

Como se disse atrás, quando realizamos a análise de uma amostra de solo, temos que exprimir os resultados relativamente ao peso da amostra seca a 105°C. Para isso, temos que calcular a massa de solo seco a 105°C existente na porção de solo tomada para análise, a partir do teor de humidade anteriormente determinado:

$TS_{ar}$  - Massa da amostra de terra seca ao ar (g),

$H$  - Teor de humidade da amostra ( $\text{g g}^{-1}$ ),

$TS_{105}$  - Massa correspondente de terra seca a 105°C (g), sendo esta massa calculada através da seguinte relação:

$$TS_{105} = \frac{TS_{ar}}{1 + H} .$$

### Protocolo da determinação do teor de humidade de uma amostra

- **Material**

- Caixa de alumínio;

- **Modo operativo**

1. Pesa-se uma caixa de alumínio vazia (**a**);

2. Colocam-se, nessa caixa, cerca de 10g de terra fina seca ao ar e pesa-se rigorosamente (**b**);
3. Coloca-se a caixa com a terra, destapada, na estufa a 105°C, durante, pelo menos 24 horas (tempo suficiente para se atingir peso constante em pequenas amostras como esta);
4. Tapa-se parcialmente a caixa, retira-se da estufa, deixa-se arrefecer num exsiccador e pesa-se de novo (**c**).

- **Cálculos**

*a* - Massa da caixa vazia (g),

*b* - Massa da caixa + terra húmida (g),

*c* - Massa da caixa + terra seca a 105°C (g),

*b* - *c* = Massa da água contida na amostra,

*c* - *a* = Massa da terra seca,

Teor de Humidade (g g<sup>-1</sup>):  $H = \frac{b - c}{c - a}$ .

## ANEXO 3

### PROTOCOLO DA ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

#### 1. Dispersão da Amostra

- **Material e reagentes**

- Agitador de hélice;
- Solução dispersante de hexametáfosfato de sódio.

- **Modo operatório**

1. Pesa-se uma amostra de terra seca ao ar que corresponda, aproximadamente, a 20 g de terra seca a 105°C;
2. Coloca-se a terra no copo do agitador;
3. Junta-se cerca de 250 mL de água destilada;
4. Junta-se 20 mL da solução dispersante (correspondendo à proporção de 1:1, entre o peso de terra, em gramas, e o volume de solução, em mL);
5. Agita-se durante 15 minutos.

Obtém-se, assim, uma dispersão de material terroso em água, em que as partículas se encontrem individualizadas, uma vez que todos os agregados deverão ter sido destruídos; a dispersão também contém naturalmente uma quantidade de sal correspondente ao hexametáfosfato de sódio dissolvido.

#### 2. Separação da Areia Grossa - Método da Crivagem

A crivagem destina-se a separar a totalidade da fracção de areia grossa existente na amostra.

- **Material**

- Crivo de 0,2 mm;
- Funil;
- Proveta de um litro;
- Vareta de borracha;
- Placa de Petri ou vidro de relógio.

- **Modo operatório**

1. Pesa-se o crivo vazio;
2. Passa-se a suspensão anteriormente preparada, através do crivo, que deve ser colocado num funil sobre uma proveta de um litro;
3. Lava-se bem a areia retida no crivo, com água destilada, com a ajuda do pincel;
4. Coloca-se o crivo na placa de Petri a secar na estufa a 105°C, durante, pelo menos, 24 horas;
5. Retira-se o crivo da estufa, coloca-se a arrefecer, num exsiccador, e depois agita-se, sobre uma folha de papel, de modo a recolher alguma areia fina que tenha ficado aderente na parte exterior do fundo do crivo;
6. Pesa-se o crivo com a areia grossa;
7. Adiciona-se a areia fina recolhida na folha de papel, à proveta onde foi vertido o resto da suspensão.

- **Cálculos**

$C$  - Massa do crivo vazio (g),

$C_{AG}$  - Massa do crivo com areia grossa (g),

$AG$  - Massa de areia grossa na amostra =  $C_{AG} - C$  (g),

Teor de **areia grossa** na amostra:  $TAG = \frac{AG}{TS_{105}} \times 1000$  (g kg<sup>-1</sup>).

### 3. Colheita de Limo e Argila - Método da Pipetagem

Este método é utilizado para quantificar, por amostragem na suspensão de terra fina isenta de areia grossa, as proporções relativas de limo e de argila. Para o efeito, dilui-se a suspensão anteriormente preparada e crivada, perfazendo o volume total de um litro da proveta, com água destilada, na qual se irá recolher depois uma amostra, através de uma pipeta de pequeno volume (20 ou 25 mL), a uma profundidade previamente calculada através da *Lei de Stokes*:

Calcula-se o tempo necessário para que todas as partículas com diâmetro superior a 0,002 mm (limite superior da argila) percorram uma determinada distância, correspondente à profundidade à qual será feita a pipetagem, e colheremos, assim, uma amostra representativa da argila, partindo do princípio que, no momento inicial, a suspensão era homogênea e, ao fim desse tempo, a concentração da argila se mantém praticamente inalterada na proveta, à profundidade a que se fará a colheita;

Calcula-se o tempo necessário para que todas as partículas com diâmetro superior a 0,02 mm (limite superior do limo) percorram a distância correspondente à profundidade à qual será feita a pipetagem, e colhe-se, assim, da mesma forma, uma amostra representativa dos lotes de limo e argila;

O valor correspondente à concentração de limo será calculado por diferença entre as duas amostragens realizadas.

Para simplificar o trabalho analítico, recorre-se geralmente a uma *pipeta de Robinson* (pipeta com torneira de 2 vias) montada num suporte especial, que permite a realização de uma pipetagem rápida à profundidade desejada.

#### • Material

- Proveta de um litro, com rolha de borracha;
- Pipeta de Robinson de 25 mL, montada em suporte adequado;
- Caixas de alumínio;
- Termómetro;
- Cronómetro.

#### • Modo operativo

1. Recolhe-se a suspensão de solo, depois da crivagem, na proveta, e completa-se o volume com água destilada até perfazer um litro;
2. Mede-se a temperatura da suspensão, com o termómetro;
3. Tapa-se com a rolha de borracha e agita-se a proveta, por inversões sucessivas;
4. Coloca-se a sedimentar em local plano e seguro, cronometrando o tempo de sedimentação necessário para fazer a amostragem da fracção limo+argila, determinado, em função da temperatura, através da Quadro 2.2;
5. Pesa-se a caixa de alumínio;
6. Cerca de 30 segundos antes de terminar o período de sedimentação, mergulha-se a pipeta na suspensão até à profundidade previamente estabelecida, com a torneira fechada;
7. Cerca de 5 segundos antes de terminar o tempo, abre-se a torneira na posição 1 e inicia-se a aspiração, pelo tubo de borracha, até encher totalmente a pipeta, (a aspiração deverá durar cerca de 10 segundos);
8. Assim que a suspensão aspirada ultrapassar ligeiramente a torneira, fecha-se;
9. Sobe-se a pipeta para a posição inicial, limpa-se exteriormente com papel de filtro e verte-se o conteúdo para a caixa de alumínio, abrindo a torneira pela posição 2 (2ª via);
10. Lava-se 2 ou 3 vezes a pipeta com água destilada, recolhendo as águas de lavagem na mesma caixa;
11. Coloca-se a caixa, destapada, a evaporar e secar na estufa a 105°C, até atingir peso constante;

12. Repete-se o procedimento aguardando, agora, o tempo de sedimentação necessário para se fazer uma amostragem só de argila, a qual será recolhida noutra caixa de alumínio, que será igualmente colocada na estufa;
13. Uma vez terminadas as secagens, retiram-se as caixas da estufa, e colocam-se a arrefecer, num exsiccador;
14. Pesam-se a caixa com os resíduos respectivos, limo+argila e só argila;
15. Paralelamente realiza-se um *ensaio em branco*, só com água e dispersante (sem terra), repetindo a mesma técnica, de modo a determinar a massa de hexametáfosfato de sódio existente em cada pipetagem.

### Cálculos

$T1$  - Massa da caixa vazia (g),

$T1_{LA}$  - Massa da caixa com limo+argila (g),

$LA_d$  - Massa de limo+argila pipetados =  $T1_{LA} - T1$  (g),

$T2$  - Massa da caixa vazia (g),

$T2_A$  - Massa da caixa com argila (g),

$A_d$  - Massa de argila pipetada =  $T2_A - T2$  (g).

As massas assim obtidas,  $LA_d$  e  $A_d$ , incluem também uma pequena porção de dispersante, que se encontrava dissolvido na suspensão e deverá precipitar durante a secagem, pelo deverá ser subtraído o valor do *ensaio em branco* ( $EB$ ).

$L$  - Massa de limo colhido =  $LA_d - A_d$  (g),

$A$  - Massa de argila colhida =  $A_d - EB$  (g),

Teor de Limo na amostra:  $TL = \frac{L \times 40}{TS_{105}} \times 1000$  (g kg<sup>-1</sup>),

Teor de Argila na amostra:  $TA = \frac{A \times 40}{TS_{105}} \times 1000$  (g kg<sup>-1</sup>).

O factor multiplicativo 40, introduzido nas fórmulas de cálculo dos teores de argila e limo na amostra, resulta do facto de não termos feito a separação da totalidade dessas fracções, sendo as massas colhidas ( $L$  e  $A$ ) referentes a pipetagens de 25 mL realizadas numa diluição da amostra inicial num volume de 1000 mL ( $1000/25=40$ ).

## 4. Separação da Areia Fina - Método da Sedimentação e Decantação

Este método é utilizado para separar, na sua totalidade, a fracção de areia fina existente numa amostra de terra dispersa, e baseia-se, tal como o método da pipetagem, na aplicação da *Lei de Stokes*. Neste caso, aguarda-se o tempo necessário para que toda a areia fina sedimente (correspondente ao tempo para a pipetagem da fracção limo+argila; Tabela 2), decantando-se, então o líquido sobrenadante. O processo repete-se, adicionando mais água e repetindo as lavagens da areia fina, até que a água decantada saia limpa.

- **Material**

- Vareta de vidro;
- Copo alto (de 600 a 1000 mL);
- Sifão de borracha;
- Termómetro;
- Copo de 50 mL;
- Cronómetro.

- **Modo operativo**

1. Pesa-se o copo de 50 mL vazio;
2. Passa-se a dispersão, anteriormente crivada e submetida às duas pipetagens, para o copo alto, no qual se fizeram previamente 2 marcas, uma a 2 cm do fundo e outra a 10 cm da primeira;
3. Adiciona-se água destilada até à marca superior, e controla-se a temperatura, com o termómetro;
4. Agita-se com a vareta e deixa-se sedimentar o tempo necessário para que, acima da marca inferior, só se encontrem em suspensão partículas de limo e argila (ver Tabela 2);
5. Decanta-se, então, com auxílio do sifão, a suspensão acima da marca inferior;
6. Repetem-se os passos 3 a 5 tantas vezes quantas as necessárias para que a água decantada deixe de se apresentar turva;
7. Passa-se o resíduo, constituído apenas por areia fina, para o copo de 50 mL e coloca-se a evaporar e secar na estufa a 105°C, até atingir peso constante;
8. Retira-se o copo da estufa e coloca-se a arrefecer num exsiccador;
9. Pesa-se o copo com a areia fina.

### Cálculos

$C'$  - Massa do copo vazio (g),

$C'_{AF}$  - Massa do copo com areia fina (g),

$AF$  - Massa de areia fina na amostra =  $C'_{AF} - C'$  (g),

Teor de Areia Fina na amostra:  $TAF = \frac{AF}{TS_{105}} \times 1000$  (g kg<sup>-1</sup>).

### 5. Cálculos finais para avaliação textura da amostra

O somatório dos teores das fracções minerais obtidas ( $TAG+TAF+TL+TA$ ) deverá ser sempre inferior a 1000 g, ou seja, inferior a 1 kg, uma vez que não foi quantificada a matéria orgânica (MO) existente na amostra inicial, a qual foi destruída durante o tratamento prévio com água oxigenada.

Uma vez determinado o teor de MO da amostra, o somatório  $TAG+TAF+TL+TA+MO$  deverá ser aproximadamente igual a 1000 g, admitindo-se um erro de mais ou menos 2%, ou seja, o resultado desse somatório deverá variar entre 980 e 1020 g. Se o somatório ficar fora deste limite, significa que ocorreram erros durante qualquer das fases do processo analítico que ultrapassam a margem de erro admitida no método, pelo que a análise deverá ser repetida.

O resultado final, contudo, deverá ser expresso indicando a proporção relativa das fracções, em relação apenas à totalidade da matéria mineral. Assim, as proporções deverão ser recalculadas do seguinte modo:

$$\text{Teor de Areia Grossa corrigido } TAG' = \frac{TAG \times 1000}{TAG + TAF + TL + TA} \text{ (g kg}^{-1}\text{)},$$

$$\text{Teor de Areia Fina corrigido } TAF' = \frac{TAF \times 1000}{TAG + TAF + TL + TA} \text{ (g kg}^{-1}\text{)},$$

$$\text{Teor de Limo corrigido } TL' = \frac{TL \times 1000}{TAG + TAF + TL + TA} \text{ (g kg}^{-1}\text{)},$$

$$\text{Teor de Argila corrigido } TA' = \frac{TA \times 1000}{TAG + TAF + TL + TA} \text{ (g kg}^{-1}\text{)}.$$

Verificar-se-á, então, que  $TAG'+TAF'+TL'+TA'=1000$ g e poderemos dizer que a textura da amostra corresponde às proporções assim obtidas.