

REVISTA DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

VOLUME XXIV

NÚMERO 3 E 4

JUL./DEZ. 2001

SOCIEDADE PORTUGUESA DA CIÊNCIA DO SOLO
UNIVERSIDADE DE ÉVORA
INSTITUTO SUPERIOR DE AGRONOMIA

ENCONTRO ANUAL DA SPCS «USO DO SOLO E DA ÁGUA»

Universidade de Évora
15, 16 e 17 de Junho de 2000

EDIÇÃO ESPECIAL

SOCIEDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS DE PORTUGAL

Fundada em 1903

Lisboa — Portugal

ÍNDICE

Comissão Organizadora, Comissão Científica e Comissão Editorial	3
Apoios institucionais do Encontro	4
Índice	5
Nota Editorial	9
1 — GÉNESE, CLASSIFICAÇÃO E CARTOGRAFIA DE SOLOS	
Informação preliminar acerca dos solos do Parque Natural das Lagoas de Cufada na Guiné-Bissau	13
<i>F. A. Milho da Conceição</i>	
Mineralogia da fracção argilosa de Solos Mediterrâneos Pardos de Materiais não Calcários da região do Alentejo	22
<i>M. Fonseca, A. F. A. Furtado, F. Monteiro & M. Madeira</i>	
Carbono orgânico nos solos de Angola. Alguns números curiosos	31
<i>E. P. C. Franco, R. P. Ricardo & J. A. Raposo</i>	
Ocorrência e proporção relativa de hematite e de goethite em solos do Complexo Polimetamórfico de Bragança	39
<i>F. Monteiro, M. Madeira & E. Sousa</i>	
Características e classificação dos Andossolos da Ilha do Pico (Arquipélago dos Açores)	48
<i>Jorge Pinheiro, Manuel Madeira, Fernando Monteiro & João Medina</i>	
A avaliação da aptidão e o planeamento do uso da terra. O caso da área do Empreendimento de Fins Múltiplos do Alqueva	61
<i>L. Reis</i>	
2 — FÍSICA DO SOLO	
Comparação de dois métodos de determinação da textura do solo: sedimentometria por raios X vs. método da pipeta	73
<i>C. Alexandre, J. R. Marques da Silva & A. G. Ferreira</i>	
Emergência do girassol (<i>Helianthus annuus</i> L.) em dois tipos de solos, a diferentes temperaturas e teores de humidade	82
<i>J. Andrade, F. Abreu & A. St.Aubyn</i>	
Comparação do efeito de diferentes polímeros sobre a taxa de infiltração de um Solo Mediterrâneo Pardo, de Materiais Não Calcários, Normal, de xistos ou grauvaques (Px)	94
<i>P. Fernandez, A. G. Ferreira & J. Bordado</i>	
Avaliação da condutividade eléctrica aparente e do teor de água do solo por TDR	105
<i>M. C. Gonçalves, J. C. Martins & A. R. Gonçalves</i>	
3 — QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO	
Cation and anion exchange properties of some andisols of the Azores, Portugal, by compulsive exchange method. Comparison with other methods	121
<i>E. Auxtero, E. Sousa, M. Madeira & J. Pinheiro</i>	
Comportamento do cobre e do zinco num solo calcário degradado	134
<i>M. A. Castelo Branco & J. M. Vieira e Silva</i>	
Influência da aplicação de cinza de biomassa florestal na produção de plantas forrageiras e nas características do solo	144
<i>N. Cortez, M. Madeira, P. Marques & M. C. Araújo</i>	

COMPARAÇÃO DE DOIS MÉTODOS DE DETERMINAÇÃO DA TEXTURA DO SOLO: SEDIMENTOMETRIA POR RAIOS X VS. MÉTODO DA PIPETA

COMPARISON OF TWO METHODS FOR SOIL TEXTURE DETERMINATION: X RAY SEDIMENTOMETRY VS. PIPETTE METHOD

POR

C. ALEXANDRE¹, J. R. MARQUES DA SILVA² & A. G. FERREIRA²

RESUMO

A textura é uma das características mais importantes do solo, sendo a sua análise uma das mais frequentes apesar da morosidade do método padrão — a análise mecânica, que envolve a determinação das fracções de limo e de argila por sedimentação/pipetagem e da areia fina por sedimentação/decantação. Diversos métodos alternativos de determinação da granulometria de partículas submilimétricas, mais rápidos e detalhados, têm sido desenvolvidos e aplicados em diversas áreas da indústria. Alguns foram testados para a determinação granulométrica de sedimentos e argilas, mas é ainda muito reduzida a sua aplicação aos solos. Neste artigo apresenta-se um método que permite efectuar a determinação da curva granulométrica das partículas <100 µm num aparelho de transmissão de raios X (Sedigraph) em substituição das fases de sedimentação/pipetagem e de sedimentação/decantação da análise

se mecânica, mantendo-se as restantes etapas do método padrão. As etapas substituídas envolvem um tempo de execução de cerca de 2 dias para um conjunto de 6-7 amostras, com o Sedigraph esse tempo é reduzido para cerca de 2 h. Para além da redução do tempo de análise, o Sedigraph permite ainda obter curvas granulométricas das partículas <100 µm com um detalhe impraticável pelo método de sedimentação/pipetagem e reduzir o erro das análises devidos ao operador. Neste artigo o método da análise granulométrica pelo Sedigraph é testado com o método padrão da análise mecânica, comparando os resultados da textura obtidos por ambos os métodos em amostras homogéneas de mais de 20 famílias de solos da classificação portuguesa. Dessa comparação destaca-se a tendência para uma ligeira redução do teor de areia fina e de um ligeiro aumento dos teores de limo e argila medidos pelo Sedigraph relativamente aos obtidos pelo método de sedimentação/pipetagem. Apresentam-

¹ Dep. de Geociências, Universidade de Évora, Apartado 94, 7002-554 Évora; e-mail: cal@uevora.pt

² Dep. de Engenharia Rural, Universidade de Évora, Apartado 94, 7002-554 Évora

-se ainda rectas de regressão entre os valores de areia fina, limo e argila medidos pelos dois métodos, (todas com $r^2 > 0,9$) e que permitam a conversão de valores entre ambos os métodos.

ABSTRACT

Texture is one of the most important soil properties and its determination is one of the most frequent soil analyses. However, the standard method for soil particle size determination, usually named mechanical analysis, is a very laborious and slow method, with several steps, namely, the pipette method for silt and clay determination and a sedimentation/decantation process for fine sand quantification. More efficient and accurate methods for particle size analysis are being used extensively in several industry fields for some years. One of them is X-ray sedimentometry (with Sedigraph) which are becoming one of the standard methods for sediment analysis, however its application to soil particle analysis is still limited. This article presents a comparison for soil texture determined by pipette method and Sedigraph method. Both methods have equal sample treatment and they just differ for particles less than 100 μm . Soil samples represent surface horizon of more than 20 families of Portuguese soil classification. Comparison for clay, silt and fine sand, show an overestimate of clay and silt content (and consequently an underestimate of fine sand) determined by the Sedigraph method relative to the pipette method. Regression analysis for clay, silt and fine sand determined by the two methods gave correlation coefficients similar to previous reported studies ($r^2 > 0,9$). For the soils tested regression equations can be used for values conversion between both methods.

INTRODUÇÃO

A composição granulométrica, também designada por textura, é uma das características mais importantes do solo, nomeadamente pela sua influência no regime hídrico, no regime térmico, no comportamento mecânico e no comportamento dos nutrientes no solo. A determinação da textura é uma das análises mais frequentes aos solos apesar da morosidade da *análise mecânica* — normalmente considerado o método padrão. Diversos métodos alternativos de determinação da granulometria de partículas submilimétricas, mais rápidos e precisos, têm sido desenvolvidos e aplicados principalmente em diversas áreas da indústria (Orr, 1988). Alguns métodos têm sido testados em solos, nomeadamente a sedimentometria por difracção de raios laser (Buurman et al., 1997; Muggler et al., 1997), a sedimentometria por raios X (Berezin & Voronin, 1982; Gerzabek, 1992; Buchan et al., 1993; Watts et al., 2000) e a sedimentometria por atenuação de raios gama (Oliveira, 1997; Vaz et al., 1999). Este artigo tem dois objectivos principais: fazer um levantamento breve da aplicação do método de sedimentometria por raios X, com o equipamento Sedigraph 5100 (Micromeritics Instrument Corporation) à análise da textura do solo e apresentar resultados comparativos deste método com o método da pipeta obtidos para os horizontes superficiais de 24 famílias da classificação portuguesa de solos.

O Sedigraph tem já uma aplicação relativamente generalizada no estudo de sedimentos (Duck, 1994; Woolfe & Duck, 1996) sendo mesmo recomendada a sua adopção pelo U.S. Geological Survey como um dos métodos padrão para a análise granulométrica de sedimentos (Lara & Matthes, 1986).

O Sedigraph permite efectuar a determinação da curva granulométrica das partículas <300 μm (segundo dados do construtor)

Comparação de dois métodos de determinação da textura do solo: sedimentometria por raios X vs. método da pipeta

Comparison of two methods for soil texture determination: X ray sedimentometry vs. pipette method

C. Alexandre¹, J. R. Marques da Silva² & A. G. Ferreira²

¹*Dep. de Geociências, Universidade de Évora, Apartado 94, 7002-554 Évora;
e-mail: cal@uevora.pt*

²*Dep. de Engenharia Rural, Universidade de Évora, Apartado 94, 7002-554 Évora*

RESUMO

A textura é uma das características mais importantes do solo, sendo a sua análise uma das mais frequentes apesar da morosidade do método padrão – a análise mecânica, que envolve a determinação das fracções de limo e de argila por sedimentação/pipetagem e da areia fina por sedimentação/decantação. Diversos métodos alternativos de determinação da granulometria de partículas submilimétricas, mais rápidos e detalhados, têm sido desenvolvidos e aplicados em diversas áreas da indústria. Alguns foram testados para a determinação granulométrica de sedimentos e argilas, mas é ainda muito reduzida a sua aplicação aos solos. Neste artigo apresenta-se um método que permite efectuar a determinação da curva granulométrica das partículas <100 µm num aparelho de transmissão de raios X (Sedigraph) em substituição das fases de sedimentação/pipetagem e de sedimentação/decantação da análise mecânica, mantendo-se as restantes etapas do método padrão. As etapas substituídas envolvem um tempo de execução de cerca de 2 dias para um conjunto de 6-7 amostras, com o Sedigraph esse tempo é reduzido para cerca de 2 h. Para além da redução do tempo de análise, o Sedigraph permite ainda obter curvas granulométricas das partículas <100 µm com um detalhe impraticável pelo método de sedimentação/pipetagem e reduzir o erro das análises devidos ao operador. Neste artigo o método da análise granulométrica pelo Sedigraph é testado com o método padrão da análise mecânica, comparando os resultados da textura obtidos por ambos os métodos em amostras homogéneas de mais de 20 famílias de solos da classificação portuguesa. Dessa comparação destaca-se a

tendência para uma ligeira redução do teor de areia fina e de um ligeiro aumento dos teores de limo e argila medidos pelo Sedigraph relativamente aos obtidos pelo método de sedimentação/pipetagem. Apresentam-se ainda rectas de regressão entre os valores de areia fina, limo e argila medidos pelos dois métodos, (todas com $r^2 > 0,9$) e que permitem a conversão de valores entre ambos os métodos.

ABSTRACT

Texture is one of the most important soil properties and its determination is one of the most frequent soil analyses. However, the standard method for soil particle size determination, usually named mechanical analysis, is a very laborious and slow method, with several steps, namely, the pipette method for silt and clay determination and a sedimentation/decantation process for fine sand quantification. More efficient and accurate methods for particle size analysis are being used extensively in several industry fields for some years. One of them is X-ray sedimentometry (with Sedigraph) which are becoming one of the standard methods for sediment analysis, however its application to soil particle analysis is still limited. This article presents a comparison for soil texture determined by pipette method and Sedigraph method. Both methods have equal sample treatment and they just differ for particles less than 100 μm . Soil samples represent surface horizon of more than 20 families of Portuguese soil classification. Comparison for clay, silt and fine sand, show an overestimate of clay and silt content (and consequently an underestimate of fine sand) determined by the Sedigraph method relative to the pipette method. Regression analysis for clay, silt and fine sand determined by the two methods gave correlation coefficients similar to previous reported studies ($r^2 > 0,9$). For the soils tested regression equations can be used for values conversion between both methods.

INTRODUÇÃO

A composição granulométrica, também designada por textura, é uma das características mais importantes do solo, nomeadamente pela sua influência no regime hídrico, no regime térmico, no comportamento mecânico e no comportamento dos

nutrientes no solo. A determinação da textura é uma das análises mais frequentes aos solos apesar da morosidade da *análise mecânica* – normalmente considerado o método padrão. Diversos métodos alternativos de determinação da granulometria de partículas submilimétricas, mais rápidos e precisos, têm sido desenvolvidos e aplicados principalmente em diversas áreas da indústria, (Orr, 1988). Alguns métodos têm sido testados em solos, nomeadamente a sedimentometria por difracção de raios laser (Buurman et al., 1997; Muggler et al., 1997), a sedimentometria por raios X (Berezin e Voronin, 1982; Gerzabek, 1992; Buchan et al., 1993; Watts et al., 2000) e a sedimentometria por atenuação de raios gama (Oliveira, 1997; Vaz et al., 1999). Este artigo tem dois objectivos principais: fazer um levantamento breve da aplicação do método de sedimentometria por raios X, com o equipamento Sedigraph 5100 (Micromeritics Instrument Corporation) à análise da textura do solo e apresentar resultados comparativos deste método com o método da pipeta obtidos para os horizontes superficiais de 24 famílias da classificação portuguesa de solos.

O Sedigraph tem já uma aplicação relativamente generalizada no estudo de sedimentos (Duck, 1994; Woolfe & Duck, 1996) sendo mesmo recomendada a sua adopção pelo U.S. Geological Survey como um dos métodos padrão para a análise granulométrica de sedimentos (Lara & Matthes, 1986).

O Sedigraph permite efectuar a determinação da curva granulométrica das partículas <300 μm (segundo dados do construtor) substituindo as fases de sedimentação/pipetagem e de sedimentação/decantação da análise mecânica. Webb e Orr (1997) descrevem os princípios físicos e o funcionamento geral do equipamento. De forma sucinta o Sedigraph consiste num circuito hidráulico fechado e accionado por bombas peristálticas que permitem homogeneizar e transportar a suspensão de partículas até uma célula de sedimentação. É adoptada a lei de Stokes para, em cada momento, estimar o diâmetro máximo das partículas presentes numa dada profundidade da célula de sedimentação. Este método difere do método da pipeta principalmente pelo facto da concentração de partículas presentes numa dada profundidade ser medida pela intensidade dum feixe de raios X que consegue atravessar a célula de sedimentação. Todo o sistema é controlado por computador, sendo o processo de análise muito mais rápido pelo facto do conjunto emissor e detector de raios X se deslocar desde a base até

ao topo da célula, permitindo assim determinar a concentração de partículas com diâmetros progressivamente menores.

Podem-se apontar diversas vantagens do Sedigraph relativamente ao método tradicional da análise mecânica:

- Maior rapidez: um conjunto de 6-7 amostras é analisado em cerca de 2 h (15-20 min/amostra) em vez dos 2 dias necessários pela sedimentação/pipetagem e sedimentação/decantação.
- Obtenção de curvas da distribuição granulométricas com um detalhe impraticável pela sedimentação/pipetagem.
- Redução dos erros devidos ao operador.
- Aplicável a amostras pequenas (<1g): com interesse, por exemplo, para análise de sedimentos em estudos de simulação de erosão.

Dum modo geral estas vantagens traduzem-se numa maior eficiência e maior reprodutibilidade das análises quando efectuadas nas condições adequadas. No entanto existem ainda alguns problemas que têm contribuído para retardar a adopção deste método:

- O facto do método da pipeta ser internacionalmente considerado como método padrão para a análise da textura do solo e da maior parte dos dados existentes sobre a granulometria dos solos terem sido obtidos por esse método.
- A incerteza quanto à correlação entre os resultados obtidos pelo Sedigraph e pela análise mecânica, em especial por se verificar que geralmente não há uma correspondência de 1:1 entre as classes de partículas mais importantes (argila, limo e areia fina) determinadas pelos dois métodos.
- O elevado custo do equipamento.

Entre as três razões apontadas a segunda é certamente a que mais contribui para uma ideia de incerteza e indefinição quanto ao interesse deste método (Baize, 1993). Com efeito, diversos estudos referem existir uma tendência do Sedigraph para sobrestimar em cerca de 5 a 10% a proporção de partículas mais finas, principalmente argila e limo, relativamente aos valores obtidos pelo método de sedimentação/pipetagem (Lara & Matthes, 1986; Buchan et al., 1993; Watts et al., 2000). Entre as hipóteses explicativas para este facto são de salientar o efeito da concentração de ferro na superfície dos minerais de argila e o retardamento da

velocidade de deposição das partículas devido à maior concentração da suspensão nas análises pelo Sedigraph.

Relativamente à primeira hipótese, verifica-se que a diferença do teor de argila medido pelo Sedigraph e pelo método da pipeta tende a ser maior quanto maior o teor de ferro no solo, o que pode ser devido à maior concentração do Fe na fracção argilosa e à maior absorção de raios X por parte do Fe (Buchan et al., 1993; Watts et al., 2000).

Quanto à segunda hipótese, a maior concentração da suspensão pode originar uma certa redução na velocidade de deposição, em especial das partículas mais grosseiras, que consequentemente farão aumentar a atenuação de raios X, levando a maiores estimativas de concentração de partículas (Watts et al., 2000). Os mesmos autores verificaram que este efeito pode actuar no caso de argilas montmoriloníticas dispersas (saturadas com Li e Na) para concentrações superiores a 20g/l mas, em contrapartida, já não parece relevante com o mesmo tipo de argila floculada (saturadas com Ca) até concentrações superiores a 40g/l.

MATERIAIS E MÉTODOS

Utilizaram-se amostras homogeneizadas dos horizontes superficiais de 24 solos, em representação de igual número de famílias da classificação portuguesa (Cardoso, 1965), com a seguinte gama de variação nas classes de partículas de areia, limo e argila:

Teor de areia:	26 – 91 %
Teor de limo:	3 – 36 %
Teor de argila:	6 – 45 %

Para cada amostra de solo efectuou-se a determinação da textura em 6 subamostras: 3 pela análise mecânica e 3 por sedimentometria de raios X.

O procedimento adoptado para as análises envolve uma primeira parte que é comum aos dois métodos testados e uma segunda parte específica de cada método. A parte comum corresponde ao procedimento padrão para a análise mecânica (Póvoas & Barral, 1992), que envolve:

- Separação da terra fina e dos elementos grosseiros por crivagem do solo seco ao ar, (crivo com malha de 2 mm).
- Destruição da matéria orgânica utilizando amostras equivalentes a 40g de terra fina seca a 105°C, numa primeira fase em banho-maria e posteriormente em

bicos de Bunsen, em ebulição fraca, com adição periódica de fracções de 30 ml de água oxigenada a 60%.

- Dispersão das partículas por agitação mecânica durante 15 minutos num agitador de hélice, juntamente com 20 ml de solução dispersante (37,5g de hexametáfosfato de sódio e 7.94g de carbonato de sódio por 1000 ml).
- Determinação da areia grossa (2-0,2 mm) por crivagem.

Os dois métodos testados diferem fundamentalmente no procedimento adoptado para a análise granulométrica das partículas inferiores a 200 μm . Na análise mecânica prosseguiu-se de acordo com o procedimento tradicional (Póvoas & Barral, 1992):

- 1ª sedimentação/pipetagem que permite recolher uma amostra de limo e argila.
- 2ª sedimentação/pipetagem com recolha de uma amostra de argila.
- sucessivas fases de sedimentação/decantação para eliminar o limo e a argila até ficar apenas com a areia fina.

Na sedimentometria por raios X o procedimento que se seguiu implicou ainda:

- Separação da fracção 200-100 μm utilizando um crivo com malha de 100 μm . Deste modo só a fracção <100 μm foi efectivamente submetida à análise de sedimentometria por raios X¹.
- Recolha da suspensão de partículas <100 μm num copo de vidro de 600 ml de onde são extraídas as amostras para análise no sedimentómetro. Para garantir uma amostra representativa das partículas <100 μm utilizou-se um agitador magnético, tendo o cuidado de seleccionar uma intensidade adequada para evitar a acumulação de sedimentos no fundo do copo. Com a agitação estabilizada retira-se uma amostra de 35 ml da suspensão usando uma seringa inserida na zona entre a parede do copo e o vórtice formado no centro. Essa amostra é transferida para o sedimentómetro onde deverá ser diluída de modo a não ultrapassar a concentração de 4%.
- Análise da fracção <100 μm num aparelho Sedigraph 5100, de acordo com o procedimento descrito em Micromeritics (1988). Obtém-se a composição granulométrica das partículas por classes definidas previamente pelo operador.

¹ De acordo com o construtor, o Sedigraph 5100 permite a análise de partículas <300 μm , no entanto, verificou-se em testes prévios com sedimentos <300 μm muito pobres em argila e limo que as leituras se podem tornar instáveis, razão pela qual optámos por usar um limite superior mais baixo.

É fundamental repetir a análise da mesma amostra de modo a verificar se não ocorrem alterações nas curvas granulométricas obtidas.

Para determinar a textura do solo a partir dos dados obtidos com o Sedigraph temos que ter presente que, atendendo ao procedimento adoptado, esses dados se referem apenas ao lote de partículas <100 µm sendo necessário converter essas percentagens em relação ao total da amostra de terra fina. Na realidade o Sedigraph indica por vezes a presença de algumas partículas >100 µm o que pode resultar de diferenças entre o método de crivagem (pelo crivo de 100 µm) e a sedimentometria por raios X. Como regra considerou-se que essa percentagem de partículas acima de 100 µm fica incluída no lote da areia fina (200-20µm).

As percentagens de areia grossa (P_{AG}), areia fina (P_{AF}), limo (P_L) e argila (P_A) são dadas por:

$$P_{AG} = P_{(>200)}$$

$$P_{AF} = P_{(200 - 100)} + P_{(<100)} \times (P'_{(>100)} + P'_{(100-20)})$$

$$P_L = P_{(<100)} \times P'_{(20-2)}$$

$$P_A = P_{(<100)} \times P'_{(<2)}$$

Em que:

$P_{(>200)}$, $P_{(200 - 100)}$ e $P_{(<100)}$ correspondem respectivamente às percentagens das classes de partículas >200, 200-100 e <100 µm na terra fina.

$P'_{(>100)}$, $P'_{(100-20)}$, $P'_{(20-2)}$ e $P'_{(<2)}$ são respectivamente as percentagens das classes de partículas >100, 100-20, 20-2 e <2 µm, obtidas na análise do Sedigraph, ou seja expressas em relação à fracção <100 µm.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Apresentam-se na Tabela 1 os resultados obtidos para as classes de partículas da terra fina determinadas pelo método da análise mecânica e pelo Sedigraph. Os gráficos das Figuras 1, 2 e 3 relacionam os resultados obtidos pelos dois métodos respectivamente para a areia fina, limo e argila.

Tabela 1 - Análise percentual da textura pelos métodos da pipeta e do sedimentómetro

Unidades Solo	PIPETA				SEDIMENTÓMETRO				M.O. (%)
	AG	AF	Limo	Argila	AG	AF	Limo	Argila	
1-Pm	32.58	31.12	12.16	24.15	32.58	25.13	14.30	28.00	1.38
2-Bp	21.93	27.53	16.78	33.77	21.93	20.55	18.68	38.86	1.59
3-Pv	23.43	23.98	17.10	35.49	23.43	16.90	18.92	40.76	1.17
4-Bvc	7.23	18.45	35.49	38.83	7.23	11.19	37.39	44.20	0.91
5-Rg	28.80	62.32	2.51	6.38	28.80	61.17	4.13	5.91	1.23
6-Bpc	12.30	22.98	19.50	45.22	12.30	15.38	20.93	51.39	1.03
7-Ppg	55.28	25.72	9.32	9.69	55.28	21.91	12.13	10.69	0.79
8-Par	44.80	31.79	10.14	13.27	44.80	27.48	12.70	15.03	1.36
9-Pc	15.18	32.34	20.65	31.83	15.18	25.44	22.77	36.62	1.79
10-Vc	13.53	19.84	30.03	36.61	13.53	12.66	32.02	41.80	1.30
11-Pag	22.13	45.75	8.88	23.24	22.13	40.20	10.80	26.88	1.33
12-Px	20.25	18.18	22.75	38.82	20.25	10.97	24.48	44.31	1.51
13-Vt	31.68	35.77	9.34	23.21	31.68	30.07	11.32	26.94	1.20
14-Sr	18.25	28.77	23.45	29.53	18.25	22.02	25.79	33.95	3.90
15-Pmg	56.43	24.09	7.32	12.17	56.43	19.87	9.73	13.98	1.01
16-Ps	24.08	29.65	18.93	27.35	24.08	23.15	21.24	31.53	1.30
17-Cb	21.83	33.13	13.44	31.60	21.83	26.36	15.32	36.50	0.92
18-Ex	38.15	25.86	20.16	15.82	38.15	20.45	23.45	17.95	1.86
19-A	10.15	26.49	21.03	42.33	10.15	18.95	22.62	48.29	1.63
20-Pg	50.75	32.45	8.39	8.41	50.75	29.33	11.03	8.90	1.14
21-Pcz	24.62	42.41	8.85	24.13	24.62	36.69	10.75	27.95	0.95
22-Ca	17.98	35.33	20.02	26.67	17.98	28.92	22.41	30.70	2.05
23-Vx	33.06	23.10	18.26	25.58	33.06	16.73	20.69	29.58	2.57
24-Vcm	20.25	18.37	26.79	34.59	20.25	11.32	28.87	39.58	1.18

As regressões lineares incluídas nos gráficos correspondem às equações 1, 2 e 3 obtidas com o programa STATISTICA, (1995):

Areia Fina :

$$y = 7.157 + 1.0360 x \quad r^2 = 0.902 \quad (1)$$

Limo :

$$y = -2.074 + 0.9573 x \quad r^2 = 0.968 \quad (2)$$

Argila :

$$y = -3.159 + 0.9149 x \quad r^2 = 0.934 \quad (3)$$

em que o valor “x” representa a percentagem da classe de partículas determinada pelo método do sedimentómetro e o valor de “y” a percentagem da classe de partículas determinada pelo método da pipeta. A areia grossa foi determinada por crivagem em ambos os métodos.

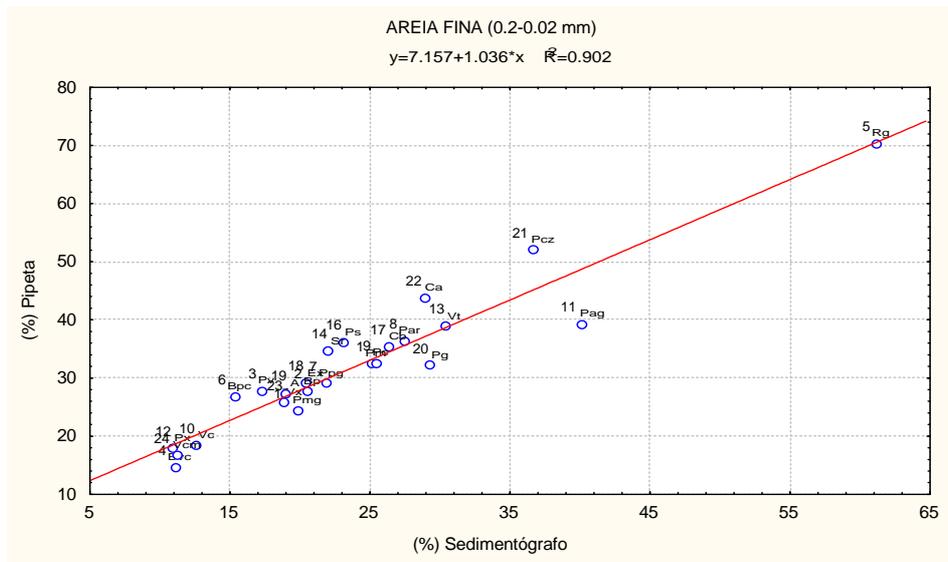


Figura 1 – Relação entre as percentagens de areia fina obtidas pelo método da pipeta e pelo método do sedimentómetro

A observação dos gráficos e as expressões das rectas de regressão permitem verificar facilmente duas tendências opostas: uma ligeira redução do teor de areia fina e um ligeiro aumento dos teores de limo e argila medidos pelo Sedigraph relativamente aos obtidos pelo método de sedimentação/pipetagem. Verifica-se também que as rectas de regressão entre os valores de areia fina, limo e argila, obtidos pelos dois métodos, apresentam coeficientes de correlação elevados ($r^2 > 0.9$), correspondendo o valor mais alto à regressão para o limo ($r^2 = 0.968$) e o mais baixo para a areia fina ($r^2 = 0.902$). A regressão para a argila ($r^2 = 0.934$) apresenta um coeficiente de correlação equiparável aos apresentados por Buchan (1993).

Os declives das rectas de regressão para a argila e o limo apresentam valores < 1 , o que parece confirmar a tendência para o Sedigraph sobrestimar as classes de partículas mais finas, também verificada por outros autores (Lara & Matthes, 1986; Buchan et al.,

1993; Watts et al., 2000) e já referida na Introdução – no caso da argila o declive obtido é igual aos apresentados por Buchan (1993), se arredondados às centésimas.

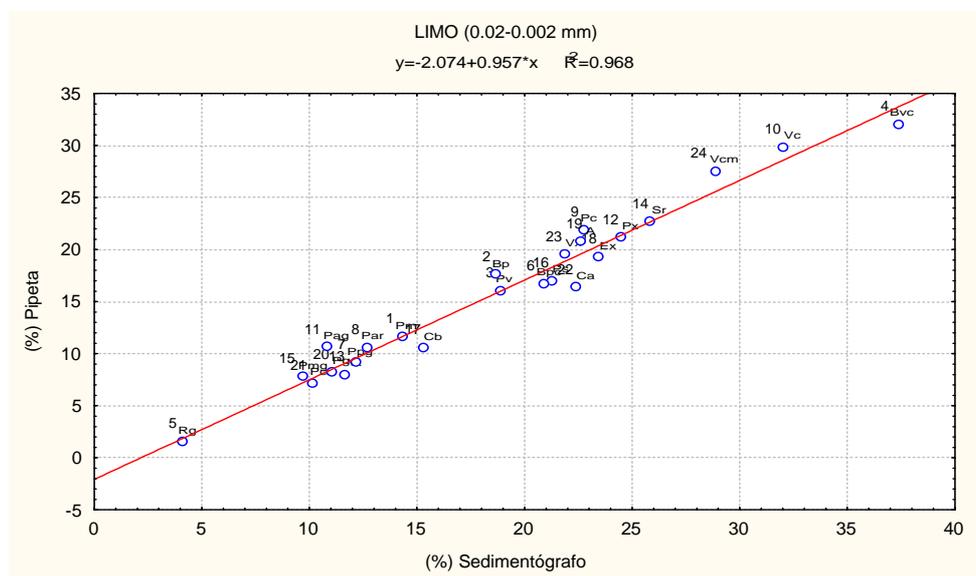


Figura 2 - Relação entre as percentagens de limo obtidas pelo método da pipeta e pelo método do sedimentómetro

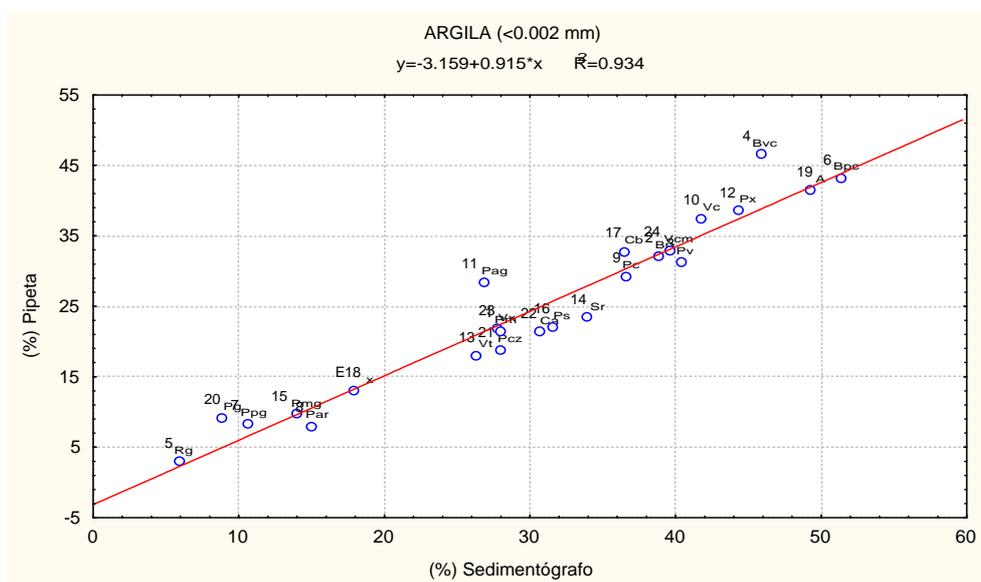


Figura 3 - Relação entre as percentagens de argila obtidas pelo método da pipeta e pelo método do sedimentómetro

Apenas com estes dados não é possível tirar conclusões definitivas acerca das hipóteses explicativas para este facto, no entanto, é de salientar que a diferença entre a argila determinada pelo Sedigraph e pelo método da pipeta representa entre 13 e 16% do

valor obtido pelo método da pipeta em todos os solos estudados com 3 exceções que correspondem aos solos com um teor de argila inferior a 10% (pelo método da pipeta) – solos identificados por Rg, Pg e Ppg. No caso dos solos estudados, qualquer que tenha sido a causa da estimativa exagerada da argila pelo Sedigraph relativamente ao método da pipeta, aumentou rapidamente para teores de argila até aos 10% e a partir daí manifestou uma assinalável uniformidade de influência.

CONCLUSÕES

- Para a generalidade dos solos estudados é possível converter os resultados do Sedigraph para valores da análise mecânica sem grandes erros, conforme provam as boas correlações obtidas entre os dois métodos ($r^2 > 0,90$).
- O Sedigraph sobrestima as classes do limo e da argila relativamente à análise mecânica, o que confirma os resultados obtidos por outros autores.
- São necessários mais estudos comparativos entre os dois métodos, para aumentar a diversidade de solos analisados, incluir horizontes subsuperficiais e procurar correlações por grupos de solos com maior afinidade mineralógica.
- A credibilidade dos resultados obtidos com ambos os métodos insere-se na problemática mais geral das análises de solos, sendo para isso indispensável a comparação dos resultados de análises efectuadas aos mesmos solos em diferentes laboratórios e a constituição de amostras de referência.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a colaboração do Eng. João Luís Afonso dos Reis, da Eng.^a Margarida Baptista e da D. Maria Beatriz Célio Antas Castor, na realização da parte laboratorial deste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Baize, Denis. 1993. *Soil Science Analyses. A Guide to Current Use*. John Wiley & Sons. Chichester.
- Berezin, P.N. & Voronin, A.D. 1982. Use of a Sedigraph for the particle-size analysis of soils. *Soviet Soil Science*, 13: 101-109.

- Buchan, G.D.; Grewal, K.S.; Claydon, J.J. & McPherson, R.J. 1993. A comparison of Sedigraph and pipette methods for soil particle-size analysis. *Australian Journal of Soil Research*, 31 (4): 407-417.
- Buurman, P.; Pape, Th. & Muggler, C.C. 1997. Lase grain-size determination in soil genetic studies. 1. Practical problems. *Soil Science*, 162 (3): 211-218.
- Cardoso, J.V.J.C. 1965. *Os Solos de Portugal. Sua classificação, caracterização e génese. 1 - A sul do rio Tejo*. Direcção-Geral dos Serviços Agrícolas. Secretaria de Estado da Agricultura. Lisboa.
- Duck, R.W. 1994. Application of the QDa-Md method of environmental discrimination to particle size analyses of fine sediments by pipette and SediGraph methods; a comparative study. *Earth Surface Processes and Landforms*, 19 (6): 525-529.
- Gerzabek, M.H. 1992. Determination of soil texture using the Sedigraph 5100 and Master Tech automatic sampler. OEFZS -Berichte. No. 4649.
- Lara, O.G. & Matthes, W.J. 1986. Sedigraph as an Alternative Method to the Pipette. In: *Proceedings of the Fourth Federal Interagency Sedimentation Conference*, March 24-27, 1986. Las Vegas, Nevada. Vol. I, pp. 1-12.
- Micromeritics (1988); SediGraph 5100, *Particle Size Analysis System*. Operators manual. Micromeritics Instrument Corporation. Norcross
- Muggler, C.C.; Pape, Th. & Buurman, P. 1997. Lase grain-size determination in soil genetic studies. 2. Clay content, clay formation, and aggregation in some Brazilian Oxisols. *Soil Science*, 162 (3): 219-228.
- Oliveira, J.C.M.; Vaz, C.M.P.; Reichardt, K. & Swartzendruber, D. 1997. Improved soil particle-size analysis through gamma-ray attenuation. *Soil Sc. Soc. A.J.* 60: 23-26.
- Orr, C. 1988. Determination of particle size. In: Becher, P. (Ed.) *Encyclopaedia of emulsion technology*, Vol. 3. Marcel Dekker, Inc. New York. P.137-169.
- Póvoas, I. & Barral, M.F. 1992. *Métodos de Análise de Solos*. Comunicações do IICT, Série de Ciências Agrárias nº. 10. Lisboa.
- STATISTICA. 1995. *General Conventions and Statistics*. Vol. 1, Statsoft.
- Vaz, C.M.P.; Naime, J.M. & Macedo, A. 1999. Soil particle size fractions determined by gamma-ray attenuation. *Soil Science*, 164 (6): 403-410.
- Watts, C.W.; Whalley, W.R.; Bird, N.R.A. & Ashman, M.R. 2000. The effect of iron concentration, hindered settling, saturation cation and aggregate density of clays on the size distribution determined by gravitation X-ray sedimentometry. *European J. Soil Sci.*, 51: 305-311.
- Webb, P. A. & Orr, C. 1997. *Analytical methods in fine particle technology*. Micromeritics Instrument Corporation, Norcross, USA.
- Woolfe, K.J. & Duck, R.W. 1996. Application of the QDa-Md method of environmental discrimination to particle size analysis of fine sediments; discussion and reply. *Earth Surface Processes and Landforms*, 21 (5): 477-481.