

VARIABILIDADE ESPACIAL DE ALGUMAS PROPRIEDADES QUÍMICAS E FÍSICAS DE UM SOLO SUBMETIDO A DIFERENTES SUCESSÕES DE CULTIVO⁽¹⁾

O. S. CARVALHO⁽²⁾, J. M. GASCÓ⁽³⁾, F. G. LOPÉZ⁽³⁾ & A. S. REQUEJO⁽³⁾

RESUMO

O presente trabalho foi realizado na Estação Experimental "La Poveda", em Arganda del Rey (Madri) com as seguintes coordenadas geográficas: latitude 40° 19' N; longitude 3° 19' W Gr e altitude de 550 m. O objetivo principal foi estudar a variabilidade espacial de algumas propriedades químicas e físicas de um Typic Xerofluent submetido a três sistemas de cultivo. Para estudar a variabilidade espacial, a amostragem foi realizada de acordo com um desenho apropriado para a análise geoestatística, em duas direções. Foi observada correlação espacial para o conteúdo de matéria orgânica nos três sistemas estudados. O alcance para o monocultivo da cevada foi de 3 m, enquanto para os sistemas ervilhaca-aveia/girassol e pastagem/ervilhaca-aveia foi de 2 m. Houve menor variação para as propriedades físicas em relação às propriedades químicas, com exceção do conteúdo de areia grossa no monocultivo da cevada. O sistema pastagem/ervilhaca-aveia apresentou-se menos variável com relação ao teor de matéria orgânica.

Termos de indexação: matéria orgânica, geoestatística, semivariograma.

SUMMARY: *SPATIAL VARIABILITY OF CHEMICAL AND PHYSICAL PROPERTIES FOR A SOIL UNDER DIFFERENT CULTIVATION SYSTEMS*

This study was carried out at the Experimental Station "La Poveda" in Arganda del Rey (Madrid), with the following geographical coordinates: latitude 40° 19' N; longitude 3° 19' W Gr; and altitude 550 m. The main objective was to study the spatial variability of

⁽¹⁾ Parte da Tese de Doutorado do primeiro autor, apresentada à Universidad. Politécnica de Madrid/UPM, Madrid. Recebido para publicação em julho de 1997 e aprovado em maio de 1998.

⁽²⁾ Pesquisador da EMBRAPA-Centro Nacional de Pesquisa de Algodão (CNP). Caixa Postal. 174, CEP 58107-720 Campina Grande (PB).

⁽³⁾ Professor do Departamento de Edafología, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos, Universidad Politécnica de Madrid, Avenida Complutense S/N, 28040 - Madrid.

chemical and physical properties of a Typic Xerofluvent under three cultivation systems. Sampling for the study of spatial variability was performed according to an appropriate geo-statistical analysis in two directions. Spatial variability was observed with respect to organic matter content in the three systems studied. The reach was set at 3 m in the barley system and 2 m for the vetch-oat/sunflower and prairie/vetch-oat systems. Physical properties studied presented less variability than chemical properties, with the exception of coarse sand content in the barley system. Organic matter content in the prairie/vetch-oat system had the smallest variability.

Index terms: organic matter; geoestatics, semivariogram.

INTRODUÇÃO

Pela própria natureza dos fatores responsáveis pela sua formação, o solo apresenta heterogeneidade, tanto vertical como horizontalmente. Em condições de campo, a única heterogeneidade considerada é na direção da profundidade, segundo uma coordenada z, diferenciando-se camadas ou horizontes com diferentes propriedades (Reichardt et al., 1986).

Segundo os princípios básicos da experimentação, a variabilidade do solo ocorre de forma aleatória; no entanto, vários estudos relatam que a variabilidade das propriedades químicas e físicas do solo apresenta correlação ou dependência espacial (Reichardt, 1985; Upchurch & Edmonds, 1991; Souza, 1992).

No estudo da variabilidade, pode-se utilizar dois enfoques que diferem, basicamente, na forma de análise dos dados. Os métodos estatísticos classicamente aplicados às amostras de populações exigem a validade de algumas hipóteses básicas, como independência entre as observações e a distribuição normal dos dados, ao passo que a geoestatística, que vem apresentando aplicação crescente na avaliação da variabilidade espacial de parâmetros de interesse em ciências agrárias, permite a interpretação dos resultados com base na estrutura da sua variabilidade natural, considerando a existência de dependência espacial dentro do espaço de amostragem (Carvalho, 1991).

O estudo da variabilidade espacial das propriedades químicas e físicas dos solos é particularmente importante em áreas onde o solo está submetido a diferentes manejos, pois a análise geoestatística pode indicar alternativas de manejo não só para reduzir os efeitos da variabilidade do solo na produção das culturas (Trangmar et al., 1985), mas também para aumentar a possibilidade de se estimarem respostas dos atributos do solo em função de determinadas práticas de manejo (Ovalles & Rey, 1994). Além disso, a eficácia das estratégias de amostragem do solo pode ser aumentada com a incorporação de um modelo de variabilidade espacial (Brus, 1993).

A geoestatística, ou teoria das variáveis regionalizadas, desenvolveu-se a partir dos trabalhos realizados por Matheron (1969, 1971) dirigidos para a estimativa de reservas de minério. A partir daí, foi estendendo seu campo de aplicação para outras áreas de pesquisa, como o estudo de propriedades geoquímicas e edafológicas.

A geoestatística tem a sua base conceitual na interpretação da distribuição espacial de uma variável regionalizada $Z(x)$ como realização particular de uma função aleatória $Z(x)$. Essa função aleatória está caracterizada por seus dois primeiros momentos e por sua função de distribuição (Pardo Iguzquiza & Chica Olmo, 1989).

Uma variável aleatória é uma medida de particularidades que se espera variar de acordo com alguma lei de distribuição de probabilidade, sendo caracterizada por parâmetros da distribuição, tais como média e variância da distribuição normal. A variável aleatória, quando assume diferentes valores em função da localização onde é amostrada no campo, caracteriza-se uma variável regionalizada e, considerando-se o conjunto de todas as possíveis realizações da variável aleatória, em todos os locais do campo, tem-se uma função aleatória (Trangmar et al., 1985).

A teoria das variáveis regionalizadas dispõe de diferentes métodos de análise da variação espacial; um deles, o semivariograma, pressupõe a estacionariedade da hipótese intrínseca e pode ser definido como:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2} E\{Z(x_1) - Z(x_1 + h)\}^2$$

e estimado por:

$$\gamma^*(h) = \frac{1}{2} \frac{1}{N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} \{Z(x_i) - Z(x_i + h)\}^2$$

em que $\gamma^*(h)$ é o semivariograma experimental, $Z(x_i)$ são os valores experimentais nos pontos x_i , nos quais se dispõe de dados tanto em x_i como em $x_i + h$, e $N(h)$ é o número de pares experimentais de dados separados por uma distância h (Vieira et al., 1983; Samper & Carrera, 1990). O semivariograma ajuda a interpretar a variabilidade do fenômeno no espaço.

Graficamente, o semivariograma consiste na representação dos valores de $\gamma^*(h)$ no eixo das ordenadas versus valores da distância entre os pontos experimentais (h) no eixo das abscissas, sendo habitual indicar a variância amostral por meio de uma linha paralela ao eixo das abscissas.

As variações de parâmetros do solo são devidas às distintas intensidades de atuação dos processos de sua formação e à intervenção antrópica. O estudo dessa variabilidade espacial - através da geoestatística, de propriedades químicas, físicas e biológicas dos solos - é relativamente recente e tem a vantagem de informar a respeito da estabilidade do esquema de sucessões de culturas adotado em determinada área de cultivo.

O objetivo principal deste trabalho foi estudar a variabilidade de algumas propriedades químicas e físicas em um solo submetido a diferentes manejos, utilizando-se o método da estatística clássica, bem como avaliar a variabilidade espacial das propriedades, com a finalidade de orientar futuros esquemas de amostragem que, mantendo a representatividade da área, possibilitem uma redução no número de amostras.

MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi realizado na Estação Experimental "La Poveda", em Arganda del Rey (Madri), com as seguintes coordenadas geográficas: latitude 40° 19' N, longitude 3° 19' W Gr e altitude de 550 m. A temperatura média anual é de 13,1°C, com precipitação média anual de 464,3 mm e evapotranspiração média anual de 737 mm.

O relevo da área experimental é plano e os solos foram classificados como Typic Xerofluent (Espanha, 1990). As amostras de material do solo foram retiradas no horizonte superficial, a uma profundidade de 20 cm em cada um dos três sistemas de cultivo (Rotação I: correspondendo a uma área com onze anos de rotação, envolvendo as culturas da cevada/ervilhaca-aveia/trigo, cultivadas nos anos de 1992/93 e 1993/94, com a sucessão cevada/cevada; Rotação II: correspondendo a uma área com onze anos de rotação, envolvendo as culturas de milho/cevada/ervilhaca-cevada/ervilhaca-aveia/girassol, cultivadas nos anos de 1992/93 e 1993/94, com a sucessão ervilhaca-aveia/girassol; Rotação III: correspondendo a uma área com pastagem submetida a pastoreio durante dez anos com uma carga animal de 50 ovelhas/ha, sendo substituída, no ano de 1993/94, pelo cultivo de ervilhaca-aveia). As amostras foram retiradas em duas direções: 15 amostras distanciadas de 1 m na direção 0° paralela ao eixo fluvial do Rio Jarama e 21 amostras espaçadas de 1 m na direção perpendicular à anterior. Em cada ponto, foram retiradas duas

amostras de material de solo espaçadas de 20 cm perpendiculares ao eixo de amostragem. As duas subamostras foram misturadas e homogeneizadas, efetuando-se as determinações analíticas com três repetições.

A condutividade elétrica e o pH foram determinados no extrato 1:2,5, depois de ser agitado por 5 minutos e permanecer em repouso por uma noite. A matéria orgânica oxidável foi determinada pelo método de oxidação por via úmida (Espanha, 1986). Na análise granulométrica, foi utilizado o método densimétrico de Bouyoucos (1962).

Os dados obtidos foram analisados estatisticamente pela forma clássica, calculando-se média, variância, desvio-padrão, coeficiente de variação, mínimo, máximo, assimetria e curtose, sem levar em conta a posição de cada observação, e por meio de semivariogramas, através de um programa em linguagem Basic, baseado em um listado de Pardo Iguzquiza & Chica Olmo (1989) e modificado por Saa (1991). Os semivariogramas observados foram ajustados a modelos teóricos, segundo o método descrito por Cuchí et al. (1990) e Samper & Carrera (1990) que consiste em ajustar o modelo escolhido com os primeiros pontos do semivariograma observado e o patamar escolhido com a variância amostral.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nos quadros 1 a 3, apresentam-se os parâmetros estatísticos das propriedades físicas e químicas avaliadas nas três rotações. Observa-se que, para a maioria das características avaliadas, os coeficientes de variação mantiveram-se abaixo de 10%, valor que confere ao ensaio alta precisão, por serem os coeficientes de variação inferiores a 10% considerados baixos (Gomes, 1984). Com relação ao conteúdo de areia grossa, propriedade que apresentou a maior variabilidade na Rotação I (Quadro 1), observa-se forte gradiente de variação, tanto na direção paralela como na direção perpendicular ao eixo principal de sedimentação.

Analisando-se os coeficientes de assimetria das propriedades físicas e químicas na Rotação I (Quadro 1), verifica-se ausência de simetria para as variáveis argila, areia fina, areia grossa, condutividade elétrica e matéria orgânica, enquanto as outras propriedades avaliadas apresentaram simetria.

Na Rotação II, de maneira semelhante ao observado na Rotação I, o maior coeficiente de variação obtido foi para o conteúdo de areia grossa (Quadro 2). Nesse sistema de cultivo, as variáveis conteúdo de argila, areia fina, areias (USDA), silte (USDA), silte International Soil Science Society (ISSS), pH e matéria orgânica mostraram menor variabilidade que a condutividade elétrica e a areia grossa.

Quadro 1. Parâmetros estatísticos das propriedades físicas e químicas avaliadas no sistema de cultivo cevada/cevada (Rotação I)

Atributo ⁽¹⁾	Mínimo	Máximo	Média	DESVPAD ⁽²⁾	CV (%) ⁽³⁾	Assimetria ⁽⁴⁾	Curtose ⁽⁴⁾
Argila	11,20	14,75	13,48	0,9112	6,8	-0,4727*	-0,8161*
ARF	46,26	63,38	57,43	3,6173	6,3	-0,8942**	0,4592 ^{ns}
ARG	3,42	22,91	10,41	4,1928	40,3	0,9362**	0,7657*
ARU	43,55	53,39	48,63	2,6621	5,5	-0,1789 ^{ns}	-1,2557**
SUSDA	33,13	42,48	37,89	2,5078	6,6	-0,1256 ^{ns}	-1,0623**
Silte ISSS	14,73	21,26	18,68	1,5480	8,3	-0,2843 ^{ns}	-0,6279 ^{ns}
pH	7,50	8,10	7,78	0,1120	1,4	-0,0969 ^{ns}	-0,3288 ^{ns}
CE	200,00	520,00	314,63	68,8616	21,9	0,9535**	0,7923*
MO	0,52	2,09	1,30	0,2410	18,5	0,4976*	1,2431*

⁽¹⁾ ARF - Porcentagem de areia fina, ARG - Porcentagem de areia grossa, ARU - Porcentagem de areias USDA, SUSDA - Porcentagem de silte USDA, ISSS - International Soil Science Society, CE - Condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) a 25°C, MO - Porcentagem de matéria orgânica. ⁽²⁾ DESVPAD - Desvio-padrão. ⁽³⁾ CV (%) - Coeficiente de variação. ⁽⁴⁾ ^{ns} não-significativo. * significativo a 5%. ** significativo a 1%.

Quadro 2. Parâmetros estatísticos das propriedades físicas e químicas avaliadas no sistema de cultivo ervilhaca-aveia/girassol (Rotação II)

Atributo ⁽¹⁾	Mínimo	Máximo	Média	DESVPAD ⁽²⁾	CV (%) ⁽³⁾	Assimetria ⁽⁴⁾	Curtose ⁽⁴⁾
Argila	18,62	20,50	19,80	0,4340	2,2	-0,5143*	0,2137 ^{ns}
ARF	50,35	58,32	53,85	1,4408	2,7	-0,0716 ^{ns}	0,1833 ^{ns}
ARG	1,86	6,62	4,30	1,2728	29,6	-0,3780*	-0,9651**
ARU	36,94	42,24	40,22	1,1855	2,9	-0,8870**	0,5848 ^{ns}
SUSDA	37,57	43,50	39,98	1,2170	3,0	0,6465**	0,1061 ^{ns}
Silte ISSS	17,96	26,26	22,05	2,0083	9,1	-0,0541 ^{ns}	-1,0079**
pH	7,40	7,80	7,58	0,0794	1,0	-0,1867 ^{ns}	0,1661 ^{ns}
CE	305,00	610,00	442,96	59,4839	13,4	0,1224 ^{ns}	0,4753 ^{ns}
MO	1,91	2,90	2,34	0,2053	8,8	0,2725 ^{ns}	-0,2416 ^{ns}

⁽¹⁾ ARF - Porcentagem de areia fina, ARG - Porcentagem de areia grossa, ARU - Porcentagem de areias USDA, SUSDA - Porcentagem de silte USDA, ISSS - International Soil Science Society, CE - Condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) a 25°C, MO - Porcentagem de matéria orgânica. ⁽²⁾ DESVPAD - Desvio-padrão. ⁽³⁾ CV (%) - Coeficiente de variação. ⁽⁴⁾ ^{ns} não-significativo. * significativo a 5%. ** significativo a 1%.

Na Rotação III, foram encontrados menores coeficientes de variação, todos menores de 20% (Quadro 3). Com base nos coeficientes de assimetria para as propriedades físicas e químicas nesse sistema de cultivo, observa-se falta de simetria para as variáveis areia fina, areia grossa, silte (ISSS) e condutividade elétrica, bem como simetria para as demais propriedades avaliadas.

Os dados relativos à maioria das propriedades avaliadas aproximaram-se de uma distribuição normal, de maneira semelhante ao observado por Souza (1992).

Para as propriedades químicas (pH, condutividade elétrica e matéria orgânica), os maiores coeficientes de variação (cv) foram obtidos na Rotação I, porém com valores muito mais baixos que aqueles

mencionados por Vauclin (1982), com um cv de 263% para a condutividade elétrica.

No estudo da variabilidade espacial para o conteúdo de matéria orgânica na Rotação I, foi observada a existência de dependência espacial, com o ajuste de um modelo exponencial ao semivariograma experimental médio, com alcance de 3,00 m e patamar igual à variância dos dados (Quadro 4 e Figura 1 - I a,b). Na Rotação II, foi observada a existência de uma anisotropia geométrica (Cressie, 1991) que é a mais comum nos estudos de solo (Trangmar et al., 1985; Carvalho, 1991). Ao semivariograma experimental médio foi ajustado um modelo exponencial com alcance de 2,00 m e patamar igual à variância dos dados (Quadro 4 e Figura 1 - II a,b). Na Rotação III, observa-se uma anisotropia

Quadro 3. Parâmetros estatísticos das propriedades físicas e químicas avaliadas no sistema de cultivo pastagem/ervilhaca-aveia (Rotação III)

Atributo ⁽¹⁾	Mínimo	Máximo	Média	DESVPAD ⁽²⁾	CV (%) ⁽³⁾	Assimetria ⁽⁴⁾	Curtose ⁽⁴⁾
Argila	19,54	22,89	20,85	0,7069	3,4	0,2600 ^{ns}	0,4387 ^{ns}
ARF	47,67	55,14	50,53	1,3512	2,7	0,4768*	0,3140 ^{ns}
ARG	1,83	3,73	2,63	0,4187	15,9	0,3787*	-0,3488 ^{ns}
ARU	32,63	41,15	36,96	1,9655	5,3	-0,0050 ^{ns}	-0,5041 ^{ns}
SUSDA	38,11	46,96	42,19	1,7809	4,2	-0,2776 ^{ns}	-0,2441 ^{ns}
Silte ISSS	23,20	28,36	25,99	1,4251	5,5	-0,3870*	-0,9346**
pH	7,60	8,00	7,80	0,1036	1,3	0,2004 ^{ns}	-0,3791 ^{ns}
CE	310,00	560,00	387,78	66,5060	17,2	1,0375**	0,0267 ^{ns}
MO	1,85	2,72	2,28	0,1758	7,7	-0,3277 ^{ns}	-0,0608 ^{ns}

⁽¹⁾ ARF - Porcentagem de areia fina, ARG - Porcentagem de areia grossa, ARU - Porcentagem de areias USDA, SUSDA - Porcentagem de silte USDA, ISSS - International Soil Science Society, CE - Condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) a 25°C, MO - Porcentagem de matéria orgânica. ⁽²⁾ DESVPAD - Desvio-padrão. ⁽³⁾ CV (%) - Coeficiente de variação. ⁽⁴⁾ ^{ns} não-significativo. * significativo a 5%. ** significativo a 1%.

Quadro 4. Parâmetros dos modelos dos semivariogramas ajustados aos dados de variabilidade do solo avaliados nos sistemas de cultivo cevada/cevada (Rotação I), ervilhaca-aveia/girassol (Rotação II) e pastagem/ervilhaca-aveia (Rotação III)

Atributo ⁽¹⁾	Parâmetros dos modelos dos semivariogramas ⁽²⁾											
	Rotação I (cevada/cevada)				Rotação II (ervilhaca-aveia/girassol)				Rotação III (pastagem/ervilhaca-aveia)			
	C ₀	C ₀ + C ₁	Alcance	Modelo	C ₀	C ₀ + C ₁	Alcance	Modelo	C ₀	C ₀ + C ₁	Alcance	Modelo
			m				m				m	
Argila	-	0,823	8,50	Esférico	-	0,186	1,00	Exponencial	0,23	0,495	8,00	Gaussiano
ARF	-	12,964	5,00	Gaussiano	-	2,056	1,00	Exponencial	-	1,809	2,50	Exponencial
ARG	-	17,417	5,00	Gaussiano	-	1,605	4,00	Exponencial	-	0,174	2,00	Exponencial
ARU	2,50	7,023	8,00	Exponencial	-	1,394	3,00	Exponencial	-	3,828	3,00	Exponencial
SUSDA	-	6,231	1,50	Exponencial	-	1,467	2,00	Exponencial	-	3,143	3,00	Exponencial
Silte ISSS	-	2,374	2,00	Exponencial	-	3,996	3,00	Exponencial	-	2,012	3,00	Exponencial
pH	0,012	0,012	-	-	0,006	0,006	-	-	0,011	0,011	0,50	-
CE	4698	4698	-	-	3506	3506	-	-	-	4382	3,00	Exponencial
MO	-	0,058	3,00	Exponencial	-	0,042	2,00	Exponencial	-	0,031	2,00	Exponencial

⁽¹⁾ ARF - Porcentagem de areia fina, ARG - Porcentagem de areia grossa, ARU - Porcentagem de areias USDA, SUSDA - Porcentagem de silte USDA, ISSS - International Soil Science Society, CE - Condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) a 25°C, MO - Porcentagem de matéria orgânica. ⁽²⁾ C₀ - Variância aleatória, C₀ + C₁ - representam o patamar do semivariograma.

zonal, com variabilidade maior na direção paralela ao eixo principal de sedimentação. Um modelo exponencial foi ajustado ao semivariograma experimental médio, com alcance de 2,00 m e patamar igual à variância dos dados (Quadro 4 e Figura 1-III a, b).

Souza (1992) verificou correlação espacial para o conteúdo de matéria orgânica em diferentes sistemas de manejo do solo, com alcance de 2,60 m, no sistema de plantio direto, e 3,80 m, no sistema de preparo convencional, realizando a amostragem em uma malha quadrada com 40 pontos, espaçados de 1 m. De maneira semelhante, neste estudo, foram obtidos

alcances de 2,00 m para as rotações ervilhaca-aveia/girassol (Rotação II) e pastagem/ervilhaca-aveia (Rotação III) e de 3,00 m para o monocultivo da cevada. Segundo o autor, os maiores coeficientes de variação e menores alcances foram observados no plantio direto, indicando maior variabilidade nesse sistema de manejo, o que não está de acordo com os resultados obtidos neste trabalho, onde os menores alcances, observados nas Rotações II e III, também corresponderam aos menores coeficientes de variação, indicando maior estabilidade da matéria orgânica nesses dois sistemas de cultivo.

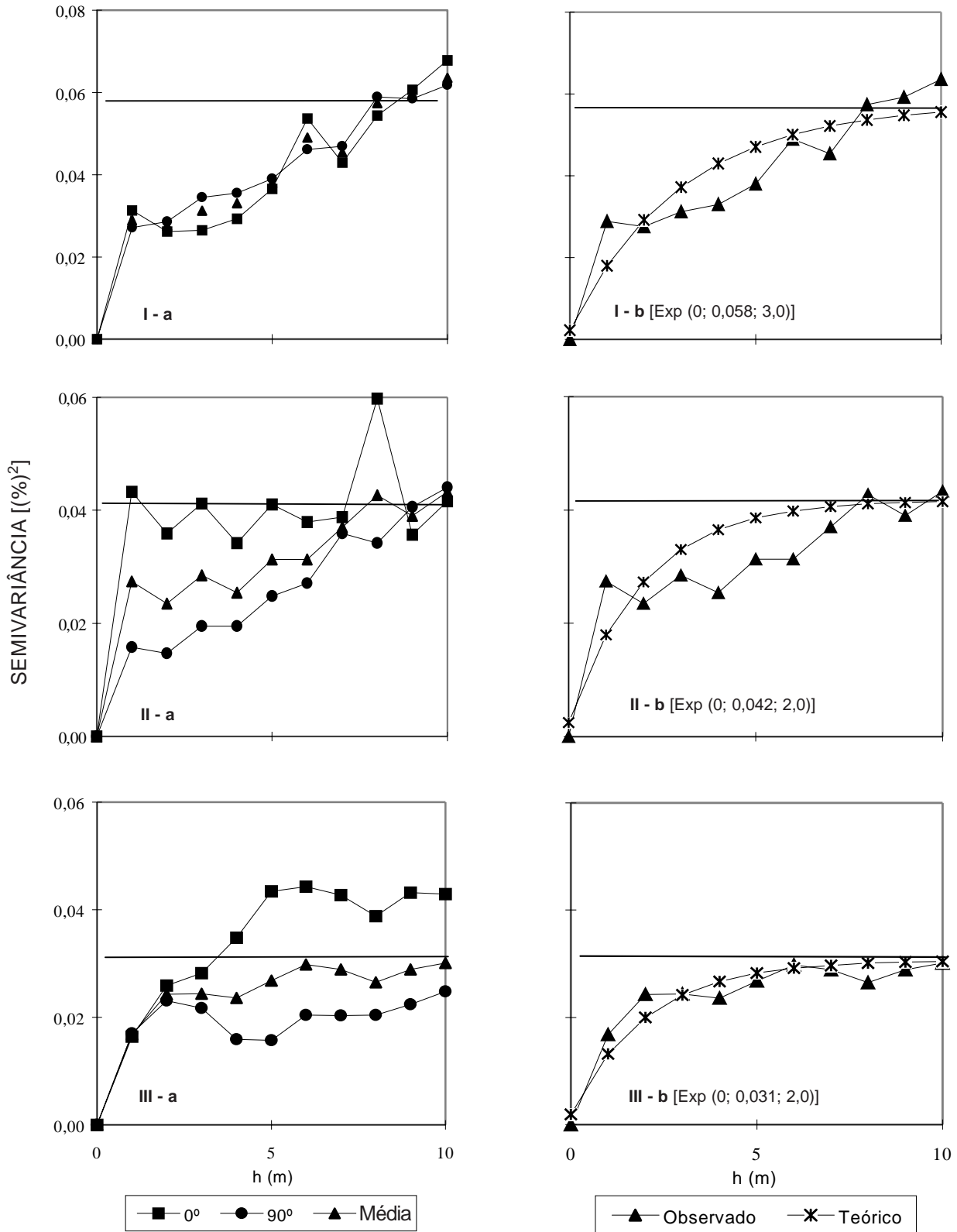


Figura 1. Semivariogramas direcionais e semivariograma médio para o conteúdo de matéria orgânica nos sistemas de cultivo cevada/cevada (Rotação I); ervilhaca-aveia/girassol (Rotação II), e pastagem/ervilhaca-aveia (Rotação III), Madri, 1993. a) Semivariogramas a 0° e 90° e direção média nos sistemas de cultivo I, II e III. b) Semivariogramas (observado e teórico) na direção média nos sistemas de cultivo I, II e III.

O alcance é um parâmetro de distribuição espacial muito importante, visto que não só pode orientar a distância que deve separar as parcelas experimentais, para que estas sejam independentes, mas também determinar a distância mínima entre pontos de amostragem, para que não exista correlação entre os valores da variável em estudo. Para garantir a independência entre os pontos amostrais, tal intervalo deve ser, no mínimo, duas vezes o alcance conhecido para determinada variável.

Em função dos distintos alcances determinados para os semivariogramas teóricos ajustados aos semivariogramas experimentais médios para o conteúdo de matéria orgânica, é possível estabelecer, para as três rotações, a distância de 6,00 m como limite da dependência espacial entre pontos de amostragem (Samper & Carrera, 1990).

CONCLUSÕES

1. Foi observada correlação espacial para o conteúdo de matéria orgânica nos três sistemas estudados.

2. O alcance para o monocultivo da cevada foi de 3,00 m e para os sistemas ervilhaca-aveia/girassol e pastagem/ervilhaca-aveia foi de 2,00 m.

3. Ao semivariograma experimental médio para o teor de matéria orgânica foi ajustado um modelo exponencial nos três sistemas de cultivo.

4. Houve menor variação para as propriedades físicas em relação às propriedades químicas, com exceção do conteúdo de areia grossa no monocultivo da cevada.

5. O sistema pastagem/ervilhaca-aveia apresentou-se menos variável com relação ao teor de matéria orgânica.

LITERATURA CITADA

- BOUYOUCOS, G.J. Hydrometer method improved for making particle size analysis of soil. *Agron. J.*, 54:464-465, 1962.
- BRUS, D. Incorporating models of spatial variation in sampling strategies for soil. Wageningen, Agricultural University, 1993. 211p. (Tese de Doutorado)
- CARVALHO, T.M. Variabilidade espacial de propriedades físico-hídricas de um Latossolo Vermelho-Amarelo através da Geostatística. Lavras, Escola Superior de Agricultura de Lavras, 1991. 84p. (Tese de Mestrado)
- CUCHI, J.C.; PÉREZ, P.J.; VILLAR, P. & VILLAR, J.M. Distribución espacial de la evapotranspiración de referencia en la zona de Lérida y Huesca. *ITEA*, 86:94-114, 1990.
- CRESSIE, N.A.C. *Statistics for spatial data*. New York, USA John Wiley & Sons, 1991. 379p.
- GOMES, F.P. A estatística moderna na pesquisa agropecuária. Piracicaba, Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1984. 160p.
- ESPANHA. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Mapa de asociaciones de suelos de la Comunidad de Madrid. Madrid, 1990. 71p.
- ESPANHA. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Métodos oficiales de análisis. Madrid, 1986. 532p.
- MATHERON, G. *Le krigeage universel*. Fontainebleau, Cahiers Centre Morphol. Mathém, 1969. 83p.
- MATHERON, G. The theory of regionalized variables and its applications. Fontainebleau, Cahiers Centre Morphol. Mathém, 1971. 211p.
- OVALLES, F. & REY, J. Variabilidad interna de unidades de fertilidad en suelos de la depresión del Lago de Valencia. *Agron. Trop.*, 44:41-65, 1994.
- PARDO IGUZQUIZA, E. & CHICA OLMO, M. Vario2D. Programa de ordenador para análisis variográfico en el plano. *B. Geol. Miner.*, 100:674-687, 1989.
- REICHARDT, K. *Processos de transferência no sistema solo-planta-atmosfera*. Campinas, Fundação Cargill, 1985. 445p.
- REICHARDT, K.; VIEIRA, S.R. & LIBARDI, P.L. Variabilidade espacial de solos e experimentação de campo. *R. Bras. Ci. Solo*, 10:1-6, 1986.
- SAA, A. R. Modelo de distribución espacial y de frecuencia de la precipitación en la Península Ibérica. Madrid, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, 1991. 188p. (Tese de Doutorado)
- SAMPER, F.J. & CARRERA, J.R. *Geoestadística. Aplicaciones a la hidrología subterránea*. Barcelona, 1990. 484p.
- SOUZA, L. Variabilidade espacial do solo em sistemas de manejo. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1992. 162p. (Tese de Doutorado)
- TRANGMAR, B.B.; YOST, R.S. & UEHARA, G. Application of geostatistics to spatial studies of soil properties. *Adv. Agron.*, 38:45-94, 1985.
- UPCHURCH, D.R. & EDMONDS, W.J. Statistical procedures for specific objectives. In: *Spatial of soils and landforms*. Soil Sci. Soc. of America. Special publication, nº 28, p.49-71. 1991.
- VAUCLIN, M. Méthodes d'étude de la variabilité spatiale des propriétés d'un sol. Avignon, INRA, 1982. 9-43p. (Les Colloques de l'INRA, 15)
- VIEIRA, S.R.; HATFIELD, J.L.; NIELSEN, D.R. & BIGGAR, J.W. Geostatistical theory and application to variability some agronomical properties. *Hilgardia*, 51:1-75. 1983.