

Variabilidade espacial de atributos físicos em horizonte antrópico e solo adjacente na Região de Manicoré-AM ⁽¹⁾

Ivanildo Amorim de Oliveira⁽²⁾; Renato Eleotério de Aquino⁽²⁾; José Marques Júnior⁽³⁾; Milton Cesar Costa Campos⁽⁴⁾; Marcelo Dayron Rodrigues Soares⁽⁵⁾

⁽¹⁾ Trabalho executado com recursos de Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado do Amazonas – FAPEAM; ⁽²⁾ Mestrando do Curso de Pós-Graduação em Agronomia - Ciência do Solo – FCAV – UNESP, Jaboticabal, SP. E-mail: ivanildoufam@gmail.com; ⁽³⁾ D.Sc., Prof. do Dep. de Solos e Adubos, FCAV/UNESP, Jaboticabal, SP; ⁽⁴⁾ Professor do Colegiado de Agronomia do IEAA/UFAM, Humaitá – AM; ⁽⁵⁾ Mestrando do Programa Ciência, Inovação e Tecnologia para a Amazônia na Universidade Federal do Acre, UFAC. Rio Branco, AC.

RESUMO: O presente trabalho teve com objetivo avaliar a variabilidade espacial de um horizonte Antrópico com um solo adjacente na região de Manicoré-AM. Foi realizado o mapeamento de duas áreas, uma sob floresta nativa: solo adjacente, e outra sob terra preta arqueológica: horizonte antrópico. Em seguida em cada área foi estabelecido uma malha de 70m x 70 m onde o solo foi amostrado nos pontos de cruzamento da malha, com espaçamentos regulares de 10 em 10 metros, perfazendo um total de 64 pontos amostrais. Foram feitas análises físicas: textura, densidade do solo, macro, micro, porosidade total e estabilidade de agregados. Em seguida foram feitas a estatística descritiva e geoestatística. Concluiu-se que todos os atributos em estudo apresentaram estrutura de dependência espacial com exceção do DMG no horizonte antrópico onde se observou variabilidade diferenciada de um horizonte antrópico em relação ao solo adjacente.

Termos de indexação: terra preta arqueológica, geoestatística, atributos do solo.

INTRODUÇÃO

Apesar da existência de grandes áreas potencialmente agricultáveis, os solos da Amazônia, na sua maior parte, são ácidos, com baixa capacidade de troca catiônica e, conseqüentemente, baixa fertilidade (Moreira & Malavolta, 2002). Dos poucos solos com alta fertilidade, incluem-se a “Terra Preta do Índio” (TPI), denominação dada aos solos de origem antropogênica, existentes na Região Amazônica (Smith, 1980; Woods, 2003).

Devido suas ótimas características para cultivos, as TPA são bastante exploradas para o desenvolvimento da agricultura na região (Centurion et al., 2001) para isso ocorre alterações do ecossistema natural, provocando degradação, proveniente de uso e manejo inadequado dos solos.

Em relação aos atributos físicos do solo as Terras Pretas Arqueológicas apesar de normalmente apresentar a fração areia em maior percentual que o provável solo original, apresenta grande variação

entre os sítios de TPAs com textura variando entre arenosa e muito argilosa (Lima et al., 2002), apresentam horizontes bem drenados com boa disponibilidade de água e baixos valores de densidade do solo, ostentam boas condições de aeração, porosidade e condutividade hidráulica apropriadas para promover a infiltração de água e favorecer as trocas gasosas (Neves Júnior, 2008).

A análise da variabilidade de atributos físicos do solo pode ser realizada por meio da estatística descritiva, entretanto, esta ferramenta não considera a distribuição dos dados no espaço sendo uma ferramenta auxiliar para a geoestatística, que considera a dependência espacial entre as amostras e a sua localização geográfica (Vieira, 2000) e permite a interpretação e a projeção dos resultados com base na estrutura da sua variabilidade natural, podendo indicar alternativas de uso, além de possibilitar melhor compreensão da variabilidade dos atributos (Oliveira, 2007). O presente trabalho teve com objetivo avaliar a variabilidade espacial de um horizonte Antrópico com um solo adjacente na região de Manicoré-AM.

MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo localiza-se na região de Manicoré, sul do Estado do Amazonas, estando situada sob as coordenadas geográficas de 7° 30' 24" S e 63° 04' 56" W. Foi realizado o mapeamento de duas áreas, uma sob floresta nativa: solo adjacente, e outra sob terra preta arqueológica: horizonte antrópico. Em seguida em cada área foi estabelecido uma malha de 70m x 70 m onde o solo foi amostrado nos pontos de cruzamento da malha, com espaçamentos regulares de 10 em 10 metros, perfazendo um total de 64 pontos amostrais. Esses pontos foram georreferenciados e em seguida coletadas amostras de solos na profundidade 0,0-0,20 m.

A análise granulométrica foi realizada pelo método da pipeta, utilizando uma solução de NaOH 0,1 N como dispersante químico e agitação mecânica em aparato de alta rotação por 15 minutos, seguindo metodologia proposta pela Embrapa (1997). A fração argila foi separada por sedimentação, as

areias grossa e fina por tamisação e o silte foi calculado por diferença.

As amostras de solo com estrutura preservada coletadas em anel volumétrico foram saturadas por meio da elevação gradual de uma lâmina de água até atingir cerca de 2/3 da altura do anel. A porosidade total (Pt) foi obtida pela diferença entre a massa do solo saturado e a massa do solo seco em estufa a 105 °C durante 24 h (Embrapa, 1997). A microporosidade do solo foi determinada pelo método da mesa de tensão, segundo metodologia da Embrapa (1997). Pela diferença entre a porosidade total e a microporosidade, obteve-se a macroporosidade. A densidade do solo (Ds) foi calculada pela relação entre a massa seca a 105 °C durante 24 h da amostra de solo do cilindro volumétrico e o volume do mesmo cilindro (Embrapa, 1997).

Em cada ponto amostral, foram coletadas amostras com estrutura preservada para determinação da estabilidade dos agregados do solo. As amostras foram levemente destorroadas para as análises relativas à estabilidade de agregados. A separação e estabilidade dos agregados foram determinadas segundo Kemper & Chepil (1965). Os resultados foram determinados o diâmetro médio geométrico (DMG) e diâmetro médio ponderado (DMP).

A análise da dependência espacial foi feita por meio da geoestatística. Sob teoria da hipótese intrínseca o semivariograma experimental será estimado pela equação:

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

Em que, N(h) é o número de pares de pontos medidos das variáveis regionalizadas Z(xi), Z(xi + h), separadas por um vetor h. O gráfico de $\hat{\gamma}(h)$ contra os valores correspondentes de h, é denominado semivariograma. Do ajuste de um modelo matemático aos valores estimados de $\hat{\gamma}(h)$ são definidos os coeficientes do modelo teórico para o semivariograma (o efeito pepita, C₀; variância estrutural, C₁; patamar, C₀ + C₁; o alcance, a; e coeficiente de determinação, R²), para isto utilizou-se o programa GS+ (Robertson, 1998).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados referentes à análise descritiva para os atributos granulométricos e físico-hídricos para o solo de TPA e solo adjacente são apresentados na tabela 1. Os coeficientes de assimetria e curtose estão próximos de zero, para todas as variáveis nos dois solos estudados, caracterizando distribuição simétrica, justificando os valores de média e mediana próximos, concordando com os valores encontrados por Campos et al. (2007).

Os resultados referentes ao teste Kolmogorov-Smirnov indicou normalidade para as variáveis argila, silte, Pt e DMG estudadas. Apesar da normalidade dos dados não ser uma exigência da geoestatística, é importante que a distribuição não apresente caudas muito alongadas, o que poderia comprometer as estimativas da krigagem, as quais são baseadas nos valores médios (Isaaks & Srivastava, 1989).

Seguindo a classificação do coeficiente de variação (CV) proposta por Warrick & Nielsen (1980), a micro, Ds e DMP para a TPA e Pt e Ds do solo adjacente apresentaram valores baixos de coeficiente de variação (CV), indicando baixa variabilidade dos dados (Tabela 1), corroborando com os resultados encontrados por Grego & Vieira (2005). As demais variáveis apresentaram CV moderado para os dois solos estudados.

Os valores das análises geoestatísticas dos atributos analisados se encontram na Tabela 2. Nota-se que os valores mostraram que quase todos os atributos estudados apresentaram dependência espacial a qual é expressa por meio dos ajustes aos modelos de semivariogramas, com exceção somente do DMG no horizonte antrópico que apresentou efeito pepita puro, ou seja, a geoestatística não pode ser aplicada sendo mais conveniente a estatística clássica.

Os modelos esférico e exponencial se ajustaram as variáveis estudadas (Tabela 2). Para os atributos granulométricos, o modelo esférico melhor se ajustou para as variáveis silte, enquanto que a areia e argila ajustou-se ao modelo exponencial, corroborando com valores encontrados por Souza et al. (2001) e Carvalho et al. (2002).

Para os atributos físico-hídrico no horizonte antrópico se observa que o modelo esférico se ajustou nas variáveis macroporosidade e microporosidade, sendo o modelo exponencial ajustado nas variáveis Pt e Ds. No solo adjacente somente a macro ajustou-se ao modelo exponencial com as demais variáveis ajustando-se ao modelo esférico (Tabela 2). Os modelos esférico e exponencial que se ajustaram aos dados desse estudo concordam com os resultados de pesquisas que indicam esses modelos como os de maior ocorrência para atributos do solo (Souza et al., 2004). Para a estabilidade de agregados, observa-se que o modelo esférico ajustou a variável DMP no horizonte antrópico assim como no solo adjacente o DMG e DMP também ajustaram-se ao modelo esférico.

Para os atributos granulométricos, os valores de areia e argila apresentaram valores de fraca dependência espacial e o silte moderada dependência espacial nos horizontes antrópicos, já no solo adjacente observa-se fraca dependência espacial na areia e moderada no silte e argila (Cambardella et al., 1994). Para os atributos físico-hídricos, observa-se dependência espacial

moderada para as variáveis microporosidade, Pt e Ds com exceção da macroporosidade que apresentou forte dependência espacial nos horizontes antrópicos enquanto que no solo adjacente somente a micro apresentou moderada dependência espacial e as demais apresentaram fraca dependência espacial. Para a estabilidade de agregados no horizonte antrópico, os valores de dependência espacial foram moderados para DMP. Já no solo adjacente é observada dependência espacial fraca, estes dados corroboram com dados encontrados por Souza et al. (2004).

O alcance é uma medida importante no planejamento e na avaliação experimental, já que pode auxiliar na definição de procedimento de amostragem (Mcbratney & Webster, 1983). Este parâmetro representa a distância em que os pontos amostrais estão correlacionados. Os atributos estudados apresentaram diferentes valores de alcance (Tabela 2), e estes foram superiores ao valor de espaçamento utilizado na malha de amostragem para as variáveis, indicando que as amostras estão espacialmente relacionadas e assim, apresentam uma maior continuidade na distribuição espacial das propriedades dos solos do horizonte antrópico e solo adjacente, o que permite que se façam interpolações (Vieira, 2000), corroborando com valores encontrados por Mendes et al. (2008) e Marasca et al. (2011).

CONCLUSÕES

Todos os atributos em estudo apresentaram estrutura de dependência espacial com exceção do DMG no horizonte antrópico.

Observou-se variabilidade diferenciada no horizonte antrópico em relação ao solo adjacente.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a FAPEAM e UFAM pelo fomento e apoio, respectivamente.

REFERÊNCIAS

- CAMBARDELLA, C. A.; MOORMAN, T. B.; NOVAK, J. M.; PARKIN, T. B.; KARLEN, D. L.; TURCO, R. F.; KONOPKA, A. E.; Field-scale variability of soil properties in Central Iowa. *Soil Science Society of American Journal*, 58:1501-1511, 1994.
- CAMPOS, M. C. C.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T.; MONTANARI, R.; SIQUEIRA, D. S.; Variabilidade espacial da textura de solos de diferentes materiais de origem em Pereira Barreto, SP. *Revista Ciência Agronômica*, 38:149-157, 2007.
- CARVALHO, M.; SORATTO, R. P.; FREDDI, O. S.; Variabilidade espacial de atributos físicos em um LATOSSOLOVERMELHO Distrófico sob preparo convencional em Selvíria, Estado de Mato Grosso do Sul. *Acta Scientiarum*, 24:1353-1361, 2002.
- CENTURION, J.F.; CARDOSO, J.P.; NATALE, W. Efeito de formas de manejo em algumas propriedades físicas e químicas de um Latossolo Vermelho em diferentes agroecossistemas. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 5:254-258p, 2001.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo. 1997. 212p.
- GREGO, C. R.; VIEIRA, S.R. Variabilidade espacial de propriedades físicas do solo em uma parcela experimental. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 29:169-177, 2005.
- ISAAKS, E. H.; SRIVASTAVA, R. M.; An introduction to applied geostatistics. New York: Oxford University Press, 1989. 561p.
- KEMPER, W. D.; CHEPIL, W. S. Aggregate stability and size distribution. In: BLACK, C. A. (Ed.) *Methods of soil analysis*. Madison: ASA, 1965.
- LIMA, H. N.; SCHAEGER, C. G. R.; MELLO, J. W. V.; GILKES, R. J.; KER, J. C.; Pedogenesis and pre-Colombian land use of "Terra PretaAnthsol" (Indian black earth) of Western Amazonia. *Geoderma*, 100:1-17, 2002.
- MARASCA, I.; OLIVEIRA, C. A. A.; GUIMARÃES, E. C.; CUNHA, J. P. A. R.; ASSIS, R. L.; PERIN, A.; MENEZES, L. A. S.; Variabilidade espacial da resistência do solo à penetração e teor de água em sistema de plantio direto, na cultura da soja. *Bioscience Journal*, 27:239-246, 2011.
- McBRATNEY, A.B.; WEBSTER, R. How many observations are needed for regional estimation of soil properties? *Soil Science*, 135:177-183, 1983.
- MENDES, A. M. S.; FONTES, R. L. F.; OLIVEIRA, M.; Variabilidade espacial da textura de dois solos do Deserto Salino, no Estado do Rio Grande do Norte. *Revista Ciência Agronômica*, 39:19-27, 2008.
- MOREIRA, A.; MALAVOLTA, E. Variação das propriedades químicas e físicas do solo e na matéria orgânica em agroecossistemas da Amazônia Ocidental (Amazonas). Piracicaba: CENA/USP, 2002. 79p.
- NEVES JUNIOR, A. F. Qualidade física de solos com horizontes antrópicos (Terra Preta de Índio) na Amazônia Central. Escola Superior de Agricultura Luiz Queiroz - Piracicaba, 2008. (tese de doutorado).
- OLIVEIRA, R.B. Mapeamento e correlação de atributos do solo e de plantas de café conilon para fins de agricultura de precisão. 2007. 129 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Federal do Espírito Santo, 2007.
- SMITH, N.J.H. Anthrosol and human carrying capacity in Amazonia. *Annals of the Association of American Geographers*, 70:553-566, 1980.
- SOUZA, Z. M., MARQUES JUNIOR, J.; PEREIRA G. T. Variabilidade espacial da estabilidade de agregados e matéria orgânica em solos de relevos diferentes. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 39:491-499.2004.

SOUZA, Z. M.; SILVA, M. L. S.; GUIMARÃES, G. L.; CAMPOS, D. T. S.; CARVALHO, M. P.; PEREIRA, G. T.; Variabilidade espacial de atributos físicos em um Latossolo Vermelho Distrófico sob semeadura direta em Selvíria, MS. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 25:699-707, 2001.

VIEIRA, S. R.; Geoestatística em estudo da variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R. F. de; ALVAREZ V., V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R. (Ed.) Tópicos ciência do solo Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p.1-54. 2000.

WARRICK, A.W.; NIELSEN, D.R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D. (Ed.). Applications of soil physics. New York: Academic Press, p.319-344, 1980.

WOODS, W.I. Development of antrosol research. In: LEHMANN, J.; KERN, D.C.; GLASER, B.; WOODS, W.I. (Ed.) Amazonian dark earths; origin, properties and management. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, p.3-14. 2003.

Tabela 1 - Estatística descritiva dos atributos físicos na profundidade 0,0 – 0,20 m em áreas de TPA e solo adjacente na região Sul do Amazonas.

Estatística	Argila	Silte	Areia	Macro	Micro	Pt	Ds	DMG	DMP
	g.kg ⁻¹			m ³ m ⁻³		%	kg dm ⁻³	mm	
Horizonte Antrópico									
Média	434,14	444,36	121,50	22,04	28,43	50,47	0,89	1,78	2,57
Mediana	442,48	432,91	120,00	22,80	28,03	50,95	0,88	1,74	2,58
Variância	3461,46	5386,34	1810,01	69,50	10,25	41,45	0,01	0,13	0,07
CV% ²	13,55	16,52	35,01	37,82	11,26	12,76	9,40	20,03	10,03
Curtose	1,85	2,32	0,32	1,08	1,41	4,09	0,99	-0,38	0,40
Assimetria	-1,13	1,16	0,61	0,24	0,85	0,75	-0,43	0,35	-0,37
d ⁽³⁾	0,12*	0,12*	0,09 ^{NS}	0,09 ^{NS}	0,08 ^{NS}	0,14*	0,08 ^{NS}	0,10*	0,07 ^{NS}
Solo Adjacente									
Média	358,81	313,24	327,94	21,43	19,84	41,28	1,30	2,26	2,26
Mediana	355,65	312,47	324,92	21,55	19,76	41,23	1,31	2,34	2,34
Variância	3512,24	3535,86	1727,27	10,40	8,75	9,72	0,00	0,16	0,16
CV% ²	16,52	18,98	12,67	15,05	14,91	7,55	5,98	17,71	17,71
Curtose	8,95	6,48	0,04	1,03	0,53	2,34	0,62	-0,77	-0,77
Assimetria	1,74	-1,23	0,16	-0,16	0,34	0,64	-0,31	0,40	0,40
d ⁽³⁾	0,09 ^{NS}	0,09 ^{NS}	0,06 ^{NS}	0,10*	0,08 ^{NS}	0,10*	0,07 ^{NS}	0,11*	0,11*

⁽¹⁾DP= Desvio Padrão; ⁽²⁾CV= Coeficiente de Variação; ⁽³⁾d= teste de normalidade, *significativo pelo teste de Kolmogorov-Smirnov. Macro = macroporosidade; Micro = microporosidade; Pt = porosidade total; Ds = densidade do solo; DMG = Diâmetro Médio Geométrico; DMP = Diâmetro Médio Ponderado.

Tabela 2 - Modelos e parâmetros estimados dos semivariogramas dos atributos físicos (argila, silte, areia, macroporosidade, microporosidade, porosidade total e densidade do solo) na profundidade 0,0 – 0,20 m em áreas de TPA e solo adjacente na região sul do Amazonas.

Estatística	Argila	Silte	Areia	Macro	Micro	Pt	Ds	DMG	DMP
	Horizonte Antrópico								
Modelo	Exp.	Esf.	Exp.	Esf.	Esf.	Exp.	Exp.	EPP	Esf.
Efeito pepita (C ₀)	306,50	1.117,00	189,00	44,31	4,92	6,36	0,01	-	3,46
Patamar (C ₀ +C ₁)	1.612,00	2.235,00	3.073,00	59,47	9,54	22,86	0,01	-	8,31
Alcance (a)	19,80	30,60	31,20	30,68	28,10	23,70	58,02	-	17,92
¹ [C ₀ /(C ₀ +C ₁)]x100	0,99	0,50	0,94	0,25	0,48	0,72	0,49	-	0,58
² R ²	0,95	0,83	0,89	0,81	0,88	0,87	0,90	-	0,96
Solo Adjacente									
Modelo	Exp.	Esf.	Exp.	⁴ Exp.	³ Esf.	Esf.	⁵ Esf.	Esf.	Esf.
Efeito pepita (C ₀)	0,00	0,03	0,00	2,27	1,67	1,22	0,00	0,04	0,00
Patamar (C ₀ +C ₁)	0,01	0,10	0,02	13,31	3,62	9,91	0,01	0,18	0,03
Alcance (a)	17,30	44,56	18,90	18,30	52,30	18,00	29,70	15,90	18,80
¹ [C ₀ /(C ₀ +C ₁)]x100	81	61	63	82	53	87	83	76	80
² R ²	0,94	0,92	0,59	0,66	0,98	0,86	0,73	0,94	0,98

¹[C₀/(C₀+C₁)]x100 = grau de dependência espacial; ²R² = coeficiente de determinação; Exp. = exponencial; Esf. = esférico; EPP = Efeito Pepita Puro.