



VARIABILIDADE ESPACIAL DOS ATRIBUTOS DO SOLO EM ÁREA DE TERRA PRETA ARQUEOLÓGICA SOB CULTIVO DE CACAU, APUÍ, AM⁽¹⁾.

Milton César Costa Campos⁽²⁾; Douglas Marcelo Pinheiro da Silva⁽²⁾; Jose Maurício da Cunha⁽²⁾; Uilson Franciscon⁽³⁾; Pérsio de Paula Neto⁽³⁾; Diogo André Pinheiro da Silva⁽³⁾

⁽¹⁾ Trabalho executado com recursos da FAPEAM, SECT-AM e CNPq

⁽²⁾ Professor da Universidade Federal do Amazonas; Humaitá, Amazonas; E-mail: mcesarolos@gmail.com; ⁽³⁾ Estudantes da Universidade Federal do Amazonas, Humaitá, Amazonas.

RESUMO: Na região Amazônica ocorrem diversos tipos de solos, dentre estes aqueles com horizonte A antrópico. O objetivo deste trabalho foi avaliar a variabilidade espacial dos atributos do solo em área de Terra Preta Arqueológica sob cultivo de cacau, Apuí, AM. Foi delimitado uma malha em uma área com Terra Preta Arqueológica (TPA) sob cultivo de cacau, com dimensões de 42 x 88 m, com espaçamentos de 6 x 8 m, totalizando 88 pontos amostrais, coletou-se amostras nas profundidades 0,0-0,05; 0,05-0,10 e 0,10-0,20. Foram realizadas análises do DMP, DMG, COT, macroporosidade (MaP), microporosidade (MiP), densidade do solo (Ds), volume total de poros (VTP) e resistência do solo à penetração (RSP). Os resultados foram submetidos às análises estatística descritiva e geoestatística. Verificou-se dependência espacial para todos os atributos estudados, com exceção para o COT na profundidade de 0,0-0,05 m, MiP e Us nas profundidades 0,0-0,05, 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m os quais apresentaram efeito pepita puro.

Termos de indexação: atributos do solo, solos da Amazônia, sistemas de manejo.

INTRODUÇÃO

Na região Amazônica ocorrem diversos tipos de solos, dentre estes aqueles com horizonte A antrópico, que possivelmente foram formados por meio de ações humanas promovidas no solo e em seus atributos morfológicos, físicos e químicos (Santos et al., 2013). As Terras Pretas Arqueológicas (TPAs) normalmente localizam-se em antigos assentamentos indígenas, e tem como características marcante presença de artefatos cerâmicos e culturais, coloração escura com grande depósito estável de matéria orgânica (Campos et al., 2011).

A matéria orgânica do solo influencia direta e indiretamente os atributos do solo e o seu estudo em agroecossistemas brasileiros é base para que se alcance a sustentabilidade agrícola (Cunha et al., 2007). É sabido também que práticas de uso e manejo dos solos, e suas variações, interferem no equilíbrio natural dos ecossistemas alterando os

componentes orgânicos tanto em quantidade como em qualidade.

Considerando que a variabilidade espacial dos atributos do solo ocorre naturalmente devido a fatores pedogênicos diversos, somando-se ao manejo realizado pelo homem, acentuam a variação dos atributos do solo (Oliveira et al. 2013), portanto, a manutenção e melhoria da qualidade do solo é um fator chave para a estabilidade, sustentabilidade e produtividade de ecossistemas naturais e de agroecossistemas. Desta forma, compreendendo e quantificando o impacto dos sistemas de manejo do solo na sua qualidade física torna-se possível o desenvolvimento de sistemas agrícolas sustentáveis (Silva et al., 2008).

Portanto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a variabilidade espacial dos atributos do solo em área de Terra Preta Arqueológica em Apuí, AM.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo localizou-se em Apuí, Amazonas, situado na Transamazônica, sob as coordenadas geográficas de 7°12'05" S e 59°39'37" W. Segundo a classificação de Köppen o clima da região pertence ao grupo A (Clima Tropical Chuvoso) e tipo climático Am, apresentando um período seco de pequena duração. A pluviosidade está limitada pelas isoietas de 2.250 e 2.750 mm. As temperaturas médias anuais variam entre 25°C e 27°C e a umidade relativa fica entre 85 e 90%. A geologia da região apresenta arenitos da formação Beneficente, recoberto por pacote argiloso do terciário e presença de Argissolo Amarelo Eutrófico.

A área de TPA vem sendo cultivado à quatorze anos, nos primeiros seis anos abrigou o cultivos de arroz, milho, feijão e melancia, e posteriormente foi inserido a cultura do cacau que permanece até o presente estudo. Neste local foi delimitado uma malha de 42 x 88 m, com espaçamentos de 6 x 8 m, totalizando 88 pontos amostrais, nestes locais coletou-se amostras nas profundidades 0,0-0,05; 0,05-0,10; 0,10-0,20.

Nos pontos de cruzamento da malha foram coletados blocos de solo com estrutura preservada



nas profundidades 0,0-0,05; 0,05-0,10; 0,10-0,20 para determinação da estabilidade dos agregados do solo realizada pelo método de peneiramento úmido. Foi adotado como índice de estabilidade o diâmetro médio geométrico (DMG) e o diâmetro médio ponderado (DMP), cujo cálculo foi feito segundo Kemper & Rosenau (1986).

A macroporosidade, microporosidade, densidade do solo e volume total poros foram coletadas amostras com estrutura preservada nos pontos amostrais, utilizando-se anéis volumétricos, nas profundidades de 0,0-0,05; 0,05-0,10; 0,10-0,20. Após a saturação, as amostras foram pesadas e levadas à mesa de tensão para determinação da microporosidade do solo, sendo submetidas a uma tensão de 0,006 MPa (Embrapa, 1997).

Foi medida a resistência do solo à penetração (RP), utilizando-se um penetrógrafo eletrônico modelo MA-933, marca Marconi. O carbono orgânico total foi determinado pelo método de Walkley-Black modificado por Yeomans & Bremner (1988).

Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise estatística descritiva, sendo determinados a média, valores máximos e mínimos, coeficientes de assimetria e curtose, coeficiente de variação (CV) e distribuição de frequências dos dados, realizada no software estatístico Minitab 14 (Minitab, 2000).

Para a caracterização da variabilidade espacial, foi utilizada a análise geoestatística. O semivariograma experimental foi estimado pela equação (1).

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

sendo: $\gamma(h)$ - valor da semivariância para uma distância h ; $N(h)$ - número de pares envolvidos no cálculo da semivariância; $Z(x_i)$ - valor do atributo Z na posição x_i ; $Z(x_i+h)$ - valor do atributo Z separado por uma distância h da posição x_i .

Após o ajuste dos modelos matemáticos permissíveis foi feita à interpolação dos dados por meio da krigagem. A análise geoestatística foi realizada no software GS+ e os mapas de krigagem no software Surfer versão 8.00.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise estatística descritiva dos atributos estudados são apresentadas na Tabela 1. Observa-se que todos os atributos apresentaram valores de média e mediana próximos, e assimetria e curtose próximo de zero, com exceção do carbono orgânico

total (COT) na profundidade de 0,05-0,10 que apresentaram valores de curtose acima de 1, caracterizando assim uma distribuição simétrica dos dados. De acordo com Diggle & Ribeiro Júnior (2007) a proximidade dos valores média e mediana assegura uma distribuição simétrica dos dados, o que significa que a dispersão dos valores não apresenta caudas muito alongadas, o que poderia comprometer a análise geoestatística.

Em relação ao teste de normalidade (Kolmogorov-Smirnov) (Tabela 1) todos os atributos em todas as profundidades estudadas apresentaram distribuição normal, assemelhando aos resultados encontrados por Aquino et al. (2014a) que estudou solos antropogênicos e não antropogênicos no sul do Amazonas.

De acordo com a classificação do coeficiente de variação (CV) proposta por Warrick & Nielsen (1980), que classificaram como baixa variabilidade $CV < 12\%$, média variabilidade CV entre 12 e 60% e alta variabilidade $CV > 60\%$, observa-se que parte dos atributos estudados apresentaram baixa variabilidade, com exceção do DMG, MaP e RSP, em todas as profundidades estudadas e DMP na profundidade 0,10-0,20, MiP na profundidade 0,00-0,05 m que apresentaram média variabilidade, estes resultados são considerados promissores já que estas variáveis normalmente tem alta variação no campo conforme afirma Aquino et al. (2014 b).

Os valores médios do DMP e DMG são maiores nas camadas superficiais e decrescem em profundidade coincidindo com o comportamento dos teores do COT (Tabela 1). Segundo Santos et al. (2013) em áreas de TPAs o carbono orgânico desempenha um papel determinante na formação e estabilização dos agregados, e a diminuição de seu conteúdo no solo alteram a estrutura do solo, já que a agregação, indiretamente, afeta outros atributos como porosidade, aeração, capacidade de retenção, infiltração de água.

A densidade do solo apresenta-se valor abaixo de 1 Mg m^{-3} , indicando baixa densidade do solo (Tabela 1) verificou-se ainda aumento da D_s com o aumento de RSP e baixos teores de COT e diminuição da MiP e VTP, evidenciando assim o papel determinante do carbono orgânico no comportamento dessas variáveis.

Os valores médios da RSP aumentaram com a profundidade coincidente com a diminuição da média da U_s , evidenciando a influência da umidade na resistência do solo a penetração.

Os resultados das análises geoestatísticas para o MaP, MiP, VTP, D_s , DMG, DMP, COT, RSP e U_s são apresentados na Tabela 2, verificou-se dependência espacial para todos os atributos estudados, com exceção para o COT na profundidade de 0,0-0,05 m, MiP e U_s nas



profundidades 0,0-0,05, 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m os quais apresentaram efeito pepita puro. Os semivariogramas dos atributos do solo que apresentaram dependência espacial ajustaram-se predominantemente aos modelos exponencial e esférico (Tabela 2), corroborando com outros estudos que apontam serem os modelos que melhor se ajustam aos atributos do solo (Cajazeira & Assis Junior, 2011).

Os valores da validação cruzada (VC) foram a partir de 0,60, com exceção apenas do DMP na profundidade de 0,0-0,05 m que apresentou VC de 0,58 (Tabela 2), os valores da VC variam de 0 a 1, cuja os valores mais próximos de 1 apontam os mais eficientes modelos para representar o fenômeno estudado.

O grau de dependência espacial (GDE), classificado de acordo com Cambardella et al. (1994), que avalia em termos proporcionais o efeito pepita sobre o patamar ($C_0/(C_0+C_1)$), mostraram-se, de modo geral, forte dependência espacial ($GDE < 25\%$) para os atributos estudados, todavia, o MaP na profundidade 0,10-0,20 m, VTP de 0,10-0,20 e DMP da profundidade de 0,0-0,05 m mostraram moderada variabilidade (25 e 75 %) (Tabela 2). O atributo COT na camada de 0,0-0,05 m, MiP nas profundidades 0,0-0,05, 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m e Us nas profundidades 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m (Tabela 2) apresentaram efeito pepita puro, resultados semelhantes foram encontrados por Oliveira et al. (2013) que estudou solos sob diferentes usos na Amazônia.

Os resultados dos alcance da dependência espacial não apresentaram variações, o DMG (alcance de 26 a 43 m), as demais apresentaram pequenas variações, o DMP variou de 31 a 39 m, já a Ds, MiP, MaP e VTP ficaram entre 20 a 30 m e COT, RSP e Us entre 20 e 31 m (Tabela 2), semelhante aos resultados encontrados por Aquino et al. (2014 a) que estudou solos antropogênicos e não antropogênicos na região de Manicoré, Amazonas.

CONCLUSÕES

Verificou-se dependência espacial para todos os atributos estudados, com exceção para o COT na profundidade de 0,0-0,05 m, MiP e Us nas profundidades 0,0-0,05, 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m os quais apresentaram efeito pepita puro.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a FAPEAM, SECT-AM e CNPq pelo financiamento da pesquisa.

REFERÊNCIAS

AQUINO, R.E.; CAMPOS, M.C.C.; MARQUES JÚNIOR, J.; OLIVEIRA, I.A.; MANTOVANELLI, B.C.; SOARES,

M.D.R. Geoestatística na avaliação dos atributos físicos em Latossolo sob floresta nativa e pastagem na Região de Manicoré, Amazonas. *Revista Brasileira Ciência do Solo*, 38:397-406, 2014 b.

AQUINO, R.E.; CAMPOS, M.C.C.; OLIVEIRA, I.A.; MARQUES JÚNIOR, J.; SILVA, D.M.P.; SILVA, V. Variabilidade espacial de atributos físicos de solos antropogênico e não antropogênico na região de Manicoré, AM. *Bioscience Journal*, 30:988-997, 2014 a.

CAJAZEIRA, J. & ASSIS JUNIOR, R. N. Variabilidade espacial das frações primárias e agregados de um Argissolo no estado do Ceará. *Ciência Agrônômica*, 42:258-267, 2011.

CAMBARDELLA, C.A.; MOORMAN, T.B.; NOVAK, J. M.; PARKIN, T.B.; KARLEM, D.L.; TURCO, R.F.; KONOPA, A.E. Field scale variability of soil properties in central Iowa soil. *Soil Science Society American Journal*. 58:1501-1511, 1994.

CAMPOS, M.C.C.; RIBEIRO, M.R.; SOUZA JÚNIOR, V.S.; RIBEIRO FILHO, M.R.; SOUZA, R. V.C.C.; ALMEIDA, M.C. Caracterização e Classificação de Terras Pretas Arqueológicas na região do Médio Rio Madeira. *Bragantia*, 70:18-27, 2011.

CUNHA, T.J.F.; MADARI, B.E.; BENITES, V.M.; CANELLAS, L.P.; NOVOTNY, E.H.; MOUTTA, R.O.; TROMPOWSKY, P.M.; SANTOS, G.A. Fracionamento químico da matéria orgânica e características de ácidos húmicos de solos com horizonte a Antrópico da Amazônia (Terra Preta). *Acta Amazonica*, 37:91-98, 2007.

DIGGLE, P.; RIBEIRO JUNIOR, P. J. Model-based geostatistics. New York: Springer, 2007.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa-CNPq, 1997.

YEOMANS, J.C.; BREMMER, J.M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. *Communications in Soil Science Plant Analysis*, 19:1467-1476, 1988.

KEMPER, W.D.; ROSENAU, R.C. Aggregate stability and size distribution. In: KLUTE, A. (Ed.) *Methods of soil analysis. Part I. Physical and mineralogical methods*. Madison, WI: Soil Science Society of America, 1986. p. 425-442.

OLIVEIRA, I.A.; CAMPOS, M.C.C.; SOARES, M.D.R.; AQUINO, R.E.; MARQUES JÚNIOR, J.; NASCIMENTO, E.P. Variabilidade espacial de atributos físicos em um cambissolo háplico, sob diferentes usos na região sul do Amazonas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 37:1103-1112, 2013

MINITAB Release 14.1, Statistical Software. 2000.

SANTOS, L.A.C.; CAMPOS, M.C.C.; AQUINO, R.E.; BERGAMIN, A.C.; SILVA, D.M.P.; MARQUES JUNIOR, J.; FRANCA, A.B.C. Caracterização de terras pretas arqueológicas no sul do estado do Amazonas. *Revista Brasileira de Ciência Solo*, 37:825-836, 2013.

SILVA, R.F.; BORGES, C.D.; GARIB, D.M.; MERCANTE, F.M. Atributos físicos e teor de matéria orgânica na camada superficial de um Argissolo vermelho cultivado com mandioca sob diferentes manejos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 32:2435-2441, 2008.



Tabela 1. Estatística descritiva da macroporosidade (MaP), microporosidade (MiP), volume total de poros (VTP), densidade do solo (Ds), diâmetro médio geométrico (DMG), diâmetro médio ponderado (DMP) e carbono orgânico total (COT) em área de Terra Preta Arqueológica sob cultivo de cacau, Apuí, AM.

Estatística Descritiva	MaP	MiP	VTP	Ds	DMG	DMP	COT	RSP	Us (vol)
		%		Mg m ⁻³	mm		g kg ⁻¹	Mpa	%
0,0-0,05 m									
Média	19,96	49,05	69,00	0,90	2,67	3,13	114,52	0,89	49,01
Mediana	19,44	49,18	68,54	0,89	2,67	3,14	114,39	0,84	48,89
¹ DP	5,64	4,40	4,77	0,11	0,50	0,20	8,12	0,37	4,39
Variância	31,79	19,33	22,75	0,01	0,25	0,04	65,90	0,14	19,28
² CV%	28,24	8,96	6,91	11,76	18,87	6,30	7,09	32,63	8,96
Assimetria	0,38	-0,74	0,16	0,45	-0,34	-0,64	-0,08	0,34	-0,72
Curtose	-0,54	1,54	0,91	0,16	0,91	1,54	-0,88	-0,48	1,53
³ d	0,07*	0,07* ^s	0,08*	0,09* ^s	0,09*	0,01*	0,07*	0,08*	0,09*
0,05-0,10 m									
Média	19,41	46,76	66,17	0,95	2,55	3,01	105,45	0,91	46,76
Mediana	18,78	47,01	65,48	0,95	2,54	3,05	104,66	0,85	47,01
¹ DP	5,30	4,82	4,36	0,09	0,45	0,21	4,69	0,34	4,83
Variância	28,10	23,28	19,00	0,01	0,20	0,04	21,97	0,11	23,40
² CV%	27,32	10,32	6,59	9,34	17,50	7,00	4,44	30,00	10,35
Assimetria	0,65	-0,30	-0,23	0,22	0,02	-0,58	1,08	-0,12	-0,30
Curtose	0,18	1,36	4,18	0,44	0,61	0,27	1,85	-0,54	1,32
³ d	0,07*	0,07*	0,05*	0,10* ^s	0,05*	0,08*	0,04*	0,07*	0,06*
0,10-0,20 m									
Média	22,38	43,37	65,75	0,95	2,53	2,52	107,43	1,11	43,36
Mediana	22,41	42,72	66,42	0,94	2,63	2,61	101,41	1,10	42,72
¹ DP	5,25	3,83	4,31	0,10	0,43	0,50	6,44	0,34	3,83
Variância	27,54	14,71	18,59	0,01	0,19	0,25	41,42	0,14	14,70
² CV%	23,45	8,84	6,56	10,62	16,85	19,96	6,35	41,62	8,84
Assimetria	-0,29	-0,04	-0,69	0,62	-0,65	-0,36	0,72	0,52	-0,04
Curtose	-0,33	1,18	0,70	0,32	0,06	0,34	0,43	-0,48	1,18
³ d	0,07*	0,08*	0,08*	0,09* ^s	0,02*	0,05* ^s	0,07*	0,07*	0,09*

¹DP: desvio padrão; ²CV: coeficiente de variação; ³d: teste de normalidade Kolmogorov-Smirnov, *significativo a 5% de probabilidade.

Tabela 2. Modelos e parâmetros estimados aos semivariogramas do MaP, MiP, VTP, Ds, DMG, DMP, COT, RSP e Us (vol) do solo em área de Terra Preta Arqueológica sob cultivo de cacau, Apuí, AM.

Parâmetros	MaP	MiP	VTP	Ds	DMG	DMP	COT	RSP	Us (vol)
0,0-0,05 m									
Modelo	Exp	Lin	Exp	Exp	Exp	Esf	Lin	Exp	Exp
Efeito Pepita	2,60	-	1,50	0,0009	0,041	0,013	-	0,015	2,80
Patamar	27,80	-	16,0	0,0089	0,221	0,027	-	0,121	17,74
Alcance (m)	24	-	21	22	35	37	-	20	20
¹ R ²	0,94	-	0,80	0,83	0,94	0,99	-	0,90	0,91
² GDE (%)	9	-	9	10	19	48	-	12	16
³ VC%	0,74	-	0,71	0,81	0,70	0,58	-	0,89	0,70
0,05-0,10 m									
Modelo	Exp	Lin	Esf	Exp	Exp	Exp	Exp	Exp	Lin
Efeito Pepita	3,0	-	3,2	0,0008	0,018	0,007	2,70	0,02	-
Patamar	20,5	-	14,9	0,0006	0,135	0,039	22,67	0,09	-
Alcance (m)	24	-	20	30	26	31	26	34	-
¹ R ²	0,84	-	0,96	0,89	0,94	0,98	0,85	0,97	-
² GDE (%)	15	-	22	13	13	18	12	22	-
³ VC%	0,63	-	0,60	80	0,80	0,78	0,70	0,75	-
0,10-0,20 m									
Modelo	Exp	Lin	Esf	Exp	Esf	Esf	Exp	Exp	Lin
Efeito Pepita	6,3	-	5,3	0,0008	0,009	0,047	4,90	0,012	-
Patamar	20,5	-	13,8	0,0008	0,194	0,196	42,85	0,110	-
Alcance (m)	30	-	27	28	43	39	25	24	-
¹ R ²	0,86	-	0,95	0,97	0,97	0,98	0,90	0,90	-
² GDE (%)	31	-	38	10	5	24	11	11	-
³ VC%	0,61	-	0,70	0,75	0,99	89	0,75	0,87	-

Est C: estoque de carbono do solo; COT: carbono orgânico total; DMG: diâmetro médio geométrico; DMP: diâmetro médio ponderado; Ds: Densidade do solo; RSP= resistência do solo a penetração; Ds: densidade do solo; Us (vol): umidade volumétrica do solo; MaP: macroporosidade; MiP: microporosidade; VTP: volume total de poros. Esf.: Esférico; Exp.: Exponencial; Lin: Linear; ¹R²: coeficiente de determinação; ²GDE%: grau de dependência espacial e; ³VC: validação cruzada