



ARTIGO ORIGINAL

Marcelo Dayron Rodrigues Soares¹
Milton César Costa Campos^{1*}
Zigomar Menezes de Souza²
Wildson Benedito Mendes Brito¹
Uilson Franciscon¹
Guilherme Adalberto Ferreira Castioni²

¹ Universidade Federal do Amazonas – UFAM, Rua 29 de Agosto, 786 B, Campus do Polo Vale do Rio Madeira, Humaitá, AM, Brasil

² Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, Rua: Avenida Cândido Rondon, 501, Cidade Universitária, 13083-875, Campinas, SP, Brasil

*Autor Correspondente

E-mail: mcesarsolos@gmail.com

PALAVRAS-CHAVE

Compactação
Dependência espacial
Sul do Amazonas

KEYWORDS

Soil compaction
Special dependence
Amazon south

Variabilidade espacial dos atributos físicos do solo em área de Terra Preta Arqueológica sob pastagem em Manicoré, AM

Spatial variability of soil physical attributes in area of dark archaeological earth in Manicore, AM

RESUMO: Na Região Amazônica, as áreas com Terras Pretas Arqueológicas (TPAs) são cada vez mais fragmentadas devido ao desmatamento e ao uso agropecuário, o que provoca modificações principalmente nos atributos físicos do solo. O objetivo foi verificar a variabilidade espacial dos atributos físicos do solo em área de terra preta arqueológica sob pastagem na região de Manicoré, AM. Foi estabelecida uma malha amostral com dimensões de 80 × 56 m, com 88 pontos amostrais, em intervalos regulares de oito metros (8 m), nas profundidades 0,00-0,05; 0,05-0,10; 0,10-0,20; 0,20-0,30m. Foram realizadas análises granulométricas, macroporosidade (Macro), microporosidade (Micro), densidade do solo (Ds), porosidade total (PT), umidade do solo (Us), e a resistência do solo à penetração (RP). Os resultados foram submetidos à análise descritiva e geoestatística. O estudo das variáveis no espaço permitiu identificar a variabilidade existente na área em estudo e separar as zonas de manejo específico. Todos os atributos mostraram dependência espacial, com exceção para a RP e a Us que apresentaram aleatoriedade. Os valores acentuados de RP, Ds e Micro na profundidade 0,0-0,05 m indicaram um solo compactado em superfície.

ABSTRACT: In the Amazon region, areas with Archaeological Black Earths (ABE's) are increasingly fragmented due to deforestation and agricultural use, which mainly changes the soil physical properties. This study aimed to determine the spatial variability of soil physical properties in archaeological black earth area under pasture in Manicore Amazon region. A sampling mesh with dimensions of 80 × 56 m was established with 88 sampling points, at regular intervals of 08m at depths 0.00-0.05; 0.05-0.10; 0.10-0.20; 0.20-0.30m. Analyzes of texture, macroporosity (Macro) and microporosity (Micro), soil of density (Ds), total porosity (TP), soil moisture (Us), and soil penetration resistance (PR) were performed. The results were submitted to descriptive and geostatistics analysis. The analyses of the variables in space identified the variability in the field under study and separate the specific management zones. All attributes showed spatial dependence, except for RP and Us that had randomness. The marked values of RP, Ds and Micro depth 0.0-0.05 m indicated a compacted soil surface.

1 Introdução

A Região Amazônica é, com frequência, vista como um ambiente uniforme de alta pluviosidade e altas temperaturas, solos com acidez elevada e pobre em nutrientes. No entanto, dentre os diversos tipos de solo da Amazônia, destacam-se os com horizonte A antrópico (Au), de coloração escura, com presença de fragmentos cerâmicos, popularmente denominados “Terra Preta de Índio” (TPI) ou “Terra Preta Arqueológica” (TPA) (Kämpf & Kern, 2005).

Em pesquisa com caracterização e classificação de TPAs, Campos et al. (2011) encontraram teores altos e muito altos de P disponível em horizontes antrópicos, afirmando que esses ambientes são caracterizados por elevados teores de Ca^{2+} , K^+ e Mg^{2+} . Quanto aos atributos físicos, as TPAs apresentam solos com horizontes bem drenados com boa disponibilidade de água, baixos valores de densidade do solo, boas condições de aeração e porosidade. Quando comparado com solos sob diferentes usos, Oliveira et al. (2015) destacam que a TPA com sua alta fertilidade natural, diferiu dos demais usos (mandioca, pastagem e cana-de-açúcar). Em função das características adequadas para o cultivo, as TPAs são bastante exploradas na Amazônia, entretanto, grandes áreas nativas de TPAs estão sendo convertidas em pastagem, levando à degradação do solo.

Estudos recentes com variabilidade espacial têm sido utilizados com grande êxito em diversos cenários amazônicos, dentre os quais, destacam-se: estabilidade de agregados e estoque de carbono em campo natural e floresta (Alho et al., 2014); atributos físicos em área de agrofloresta (Campos et al., 2013); atributos físicos em área de pastagem/floresta (Aquino et al., 2014a).

As informações a respeito dos atributos físicos do solo e da variabilidade espacial das TPAs na Região Amazônica, ainda são pouco difundidas e escassas, sendo necessário o avanço de pesquisas que demonstrem a qualidade física do solo, atuando principalmente na sustentabilidade desses ambientes. Neste contexto, Aquino et al. (2014b), com o intuito de subsidiar pesquisas futuras utilizando técnicas geoestatísticas nos atributos físicos do solo em áreas antropogênicas e não antropogênicas, verificaram que esta ferramenta apresentou ótimos resultados, e a maior continuidade espacial foi em área antropogênica.

Dessa maneira, o objetivo foi verificar a variabilidade espacial dos atributos do solo em área de terra preta arqueológica sob pastagem na região de Manicoré, AM.

2 Material e Métodos

A área de estudo localiza-se no sul do Estado do Amazonas, nas mediações da comunidade de Santo Antônio do Matupi, às margens da BR 230, transamazônica, região de Manicoré, AM. As coordenadas geográficas são $07^{\circ} 53' 36,84''$ de latitude Sul e $61^{\circ} 23' 54,49''$ de longitude Oeste e com altitude média de 83 m (Figura 1).

O material de origem é proveniente da Formação Içá, caracterizada com produto de sedimentação pleistocênica, coberta por depósitos eólicos (CPRM, 2005). O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo tropical chuvoso, apresentando um período seco de pequena duração (Am), temperaturas variando entre 25 e 27 °C e precipitação média anual de 2.500 mm, e chuvas concentradas de outubro a junho, (Brasil, 1978).

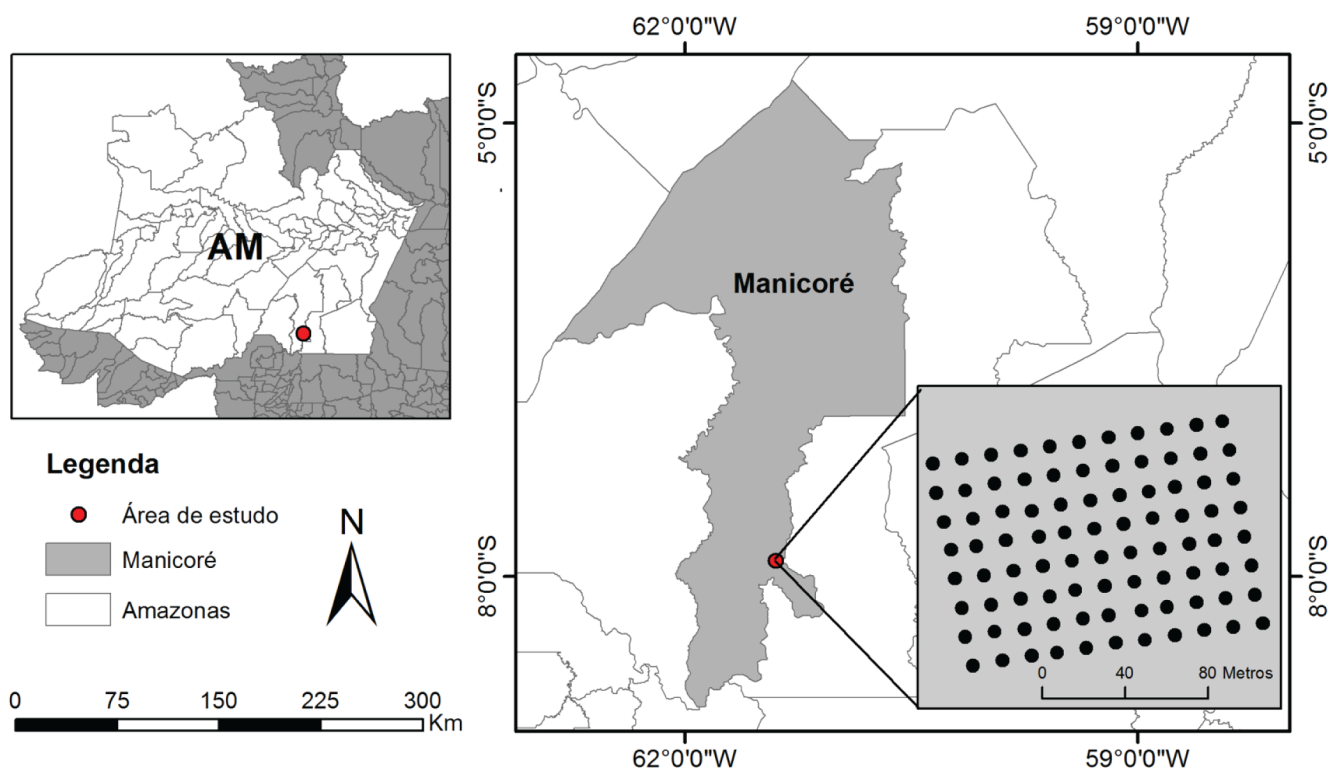


Figura 1. Localização da área de estudo.

Figure 1. Location of the study area.

O relevo é constituído por platôs com superfícies planas, sendo a zona de borda marcada por colinas e cristas alinhadas e localmente escarpadas, enquanto as áreas planas têm como principal característica a presença de uma superfície pediplanada. A pastagem foi implantada há sete anos de uso com pastejo extensivo, e está sob o cultivo de *Urochloa brizantha*. O solo foi classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo.

O solo foi amostrado nas profundidades 0,00-0,05, 0,05-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m, nos pontos de cruzamento de uma malha, com intervalos regulares de 8 m, com dimensão 80 × 56 m, totalizando 88 pontos amostrais. Esses pontos foram georreferenciados com equipamento de GPS, para construção do modelo digital de elevação (MDE).

A análise granulométrica das partículas sólidas do solo foi realizada pelo método da pipeta, utilizando solução de NaOH 0,1 N como dispersante químico e agitação mecânica em *milk-shake* de alta rotação por 10 min. A fração argila foi separada por sedimentação, a areia, por tamisação e o silte, calculado por diferença (Embrapa, 2011).

As amostras de solo foram coletadas em estrutura preservada, realizadas por meio de anel volumétrico com 5 cm de altura e 4,5 cm de diâmetro. Em seguida, foram saturadas por meio de elevação gradual de uma lâmina de água até atingir cerca de 2/3 da altura do anel, para que esse sofresse saturação (Embrapa, 2011). 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, sendo a massa de água usada para saturação dos anéis convertida em volume. A microporosidade do solo foi determinada pelo método da mesa de sucção. 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 de solo seca a 105 °C, durante 24 h, da amostra de solo do cilindro volumétrico e o volume do mesmo cilindro (Embrapa, 2011).

A umidade gravimétrica no solo foi determinada com amostras deformadas, conforme o proposto em Embrapa (2011). Na determinação da resistência do solo à penetração, amostras indeformadas de solo em anéis foram coletadas e as medidas tomadas por meio de um penetrômetro eletrônico estático de laboratório (MA933, Marconi, Piracicaba, SP, Brasil) com velocidade constante de penetração de 0,01 m min⁻¹, registro de uma leitura por segundo, cone com semiângulo de 30° e área de 3,14 cm², equipado com atuador linear e célula de carga de 20 kgf acoplada a um microcomputador para aquisição dos dados, conforme descrito por Tormena et al. (1998).

A variabilidade do solo foi avaliada pela análise exploratória dos dados, calculando-se a média, mediana, desvio padrão, coeficiente de variação, coeficiente de assimetria, coeficiente de curtose e teste de normalidade. A hipótese de normalidade dos dados foi testada pelo teste de Kolmogorov-Smirnov, no *software* estatístico Minitab 14 (MINITAB INC, 2000).

Para a caracterização da variabilidade espacial, utilizou-se a análise geoestatística (Vieira et al., 1983). Sob teoria da hipótese intrínseca, o semivariograma experimental foi estimado pela Equação 1:

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

onde: $\gamma(h)$ - 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 . Do ajuste de um modelo matemático aos valores calculados de $\hat{\gamma}(h)$ são estimados os coeficientes do modelo teórico para o semivariograma (o efeito pepita, C_0 ; patamar, $C_0 + C_1$; e o alcance, a).

Para analisar o grau da dependência espacial dos atributos em estudo, utilizou-se a classificação de Cambardella et al. (1994), em que são considerados de dependência espacial forte os semivariogramas que têm um efeito pepita menor ou igual a 25% do patamar, moderada quando está entre 25% e 75% e fraca quando for maior que 75%.

Os semivariogramas experimentais foram escolhidos com base no número de pares envolvidos no cálculo da semivariância, presença de patamar claramente definido melhor coeficiente do teste de validação cruzada (VC) “*cross-validation*” e maior coeficiente de determinação (R^2), os quais variam de 0 a 1, sendo os mais próximos de 1 aqueles que caracterizam o modelo como mais eficiente para expressar o fenômeno estudado. Depois do ajuste dos modelos matemáticos permissíveis, foi feita a interpolação dos dados, por meio da krigagem. A análise geoestatística foi realizada no *software* GS⁺.

3 Resultados e Discussão

A fração areia foi dominante em todas as profundidades (Tabela 1). Fato este, justificável pela natureza grosseira do material de origem, oriundo dos arenitos da Formação Içá. Campos et al. (2011), caracterizando terras pretas arqueológicas na região de Manicoré, AM, observaram que a fração areia foi dominante em todos os perfis analisados. Neste mesmo segmento, Santos et al. (2013), em estudo com caracterização de terras pretas arqueológicas na região sul do Amazonas, verificaram que, em um dos sete perfis analisados, houve a predominância da fração areia.

Os valores de média e da mediana para todas as variáveis foram similares, tendendo a uma distribuição simétrica. Os valores próximos de média e mediana atendem às condições de normalidade, ou seja, os valores não são dominados por valores atípicos de distribuição e são adequados para uso da geoestatística. Os coeficientes de assimetria e curtose próximos a zero reforçam a proximidade à simetria na distribuição dos dados. Nos resultados do teste de Komogorov-Smirnov (KS), dos atributos, apenas o silte, argila na profundidade 0,0-05 m, areia na profundidade 0,05-0,10 m e argila na profundidade (0,20-0,30 m) não apresentaram normalidade.

Os atributos texturais apresentaram baixa e média variabilidade, com destaque para areia que apresentou o menor valor, 3%, o silte e argila apresentaram os maiores valores, 19,0% e 33,0%, respectivamente. Adotando-se os critérios propostos por Warrick & Nielsen (1980), a variável areia para ambas as profundidades apresentou um CV abaixo de 12%, demonstrando menor heterogeneidade desse atributo para a área de estudo; as demais variáveis silte e argila apresentaram um CV entre 12%-16%. Vale ressaltar que as frações texturais são estáveis, ou seja, se modificam pouco ao longo do tempo, apresentando baixo coeficiente de variação.

Tabela 1. Estatística descritiva dos atributos do solo em diferentes profundidades em área de terra preta arqueológica sob pastagem, na região de Manicoré-AM.**Table 1.** Descriptive statistics of soil properties at different depths in archaeological black earth area under pasture in Manicore-AM.

Estatística	Areia		Silte		Argila	
	g kg ⁻¹					
	0,00-0,05 m			0,05-0,10 m		
Média	711,13	235,49	51,18	706,28	222,95	71,59
Mediana	711,77	234,64	50,18	711,94	220,94	71,80
² CV (%)	4,30	13,29	29,53	4,68	15,30	28,58
Assimetria	-0,20	0,43	0,57	-0,93	0,51	0,48
Curtose	-0,63	0,90	-0,20	1,11	0,54	-0,14
³ d	0,15*	0,01ns	0,01ns	0,01ns	0,15*	0,15*
		0,10-0,20 m			0,20-0,30 m	
Média	713,76	205,94	73,91	748,59	185,53	64,02
Mediana	715,77	206,21	73,20	747,81	185,04	61,56
² CV%	4,43	16,77	33,37	3,90	19,85	29,25
Assimetria	-0,48	-0,41	0,28	-0,11	0,02	0,50
Curtose	0,40	0,23	-0,11	-0,83	-0,57	-0,74
³ d	0,15*	0,15*	0,15*	0,15*	0,15*	0,01ns

DP¹= desvio padrão; CV²= coeficiente de variação; d³ = *significativo a 5% de probabilidade pelo teste Kolmogorov-Smirnov. DP¹ = standard deviation; CV² = coefficient of variation; d³ = *significant at the 5% probability by the Kolmogorov-Smirnov test.

A análise geoestatística, realizada por meio dos semivariogramas, evidenciou que todas as frações texturais apresentaram dependência espacial, logo, a distribuição no espaço desses atributos não é aleatória (Tabela 2). O alcance da autocorrelação espacial, ou seja, a distância máxima à qual os atributos estão espacialmente correlacionados (Vieira et al., 1983), apresentou valores maiores que a grade amostral (8 × 8 m), o que evidencia a adequação do espaçamento de amostragem, na caracterização da dependência espacial da área.

Observa-se que os atributos que apresentaram menor e maior alcance foram o teor de areia na profundidade 0,05-0,10 m e o silte na profundidade 0,10-0,20 m, respectivamente. De modo geral, os maiores alcances para as frações texturais foram observados na profundidade superficial 0,00-0,05 m, quando comparados com a profundidade 0,20-0,30 m.

O ajuste dos modelos matemáticos que melhor ilustrasse o comportamento espacial da variável em função da distância foram os modelos esférico e exponencial. Nos trabalhos de variabilidade espacial de características do solo, é comum se encontrar ajuste dos semivariogramas a esses dois modelos. Os valores das validações cruzadas representantes dos semivariogramas ajustados tiveram um desempenho próximo ao ideal, uma vez que variaram de 0,87 para o silte na profundidade de 0,05-0,10 m e 1,00 para a argila na profundidade 0,05-0,10 m. Segundo a classificação proposta por Cambardella et al. (1994), as frações areia e silte na profundidade 0,05-0,10 m e areia, silte e argila na profundidade 0,20-0,30 m apresentaram forte dependência espacial [$C_0/(C_0+C_1)$ 25%], e as demais frações, em todas as profundidades, apresentaram moderada dependência espacial [$(C_0/(C_0+C_1))$ entre 25% e 75%].

Os valores dos atributos em estudo foram de média e mediana semelhante, mostrando distribuição simétrica; os dados apresentam ou se aproximam da distribuição normal. Outro indicativo da normalidade são os valores de coeficiente de assimetria próximos de zero.

Considerando o valor limite de RP de 2,0 MPa, conforme Tavares Filho & Tessier (2009), verificou-se que, nas profundidades em estudo, apenas a superficial apresentou RP acima deste. Valores acima de 2,0 MPa podem representar nível de compactação significativo, o que pode restringir o crescimento radicular das plantas. Os valores obtidos foram 2,10, 1,37, 0,78 e 0,57 (Tabela 3), para as respectivas profundidades 0,00-0,05, 0,05-0,10, 0,10-0,20, 0,20-0,30 m. Em áreas de pastagens, o dimensionamento inadequado de animais na ocupação da pastagem, modifica os atributos físicos do solo. Da mesma forma, Pires et al. (2012) afirmam que a pressão exercida pelo casco dos bovinos por meio do pisoteio animal, na camada superficial do solo, pode resultar em alteração da estrutura, selamento superficial e compactação.

A redução do conteúdo de água no solo promove o aumento da coesão entre as partículas minerais, tornando-as mais difíceis de serem separadas por forças externas, o que resulta no aumento da RP, Silveira et al. (2010). Observa-se que na profundidade 0,00-0,05 m, um fator que possivelmente contribuiu para a obtenção de valores mais elevados de RP, foi a menor umidade do solo (0,33 m³ m⁻³), quando comparado com as profundidades mais profundas (0,35 m³ m⁻³ para 0,10-0,20 m e 0,37 m³ m⁻³ para 0,20-0,30 m).

O maior valor de Ds foi para profundidade 0,0-0,05 m de 1,26 Mg m⁻³ e menor 1,16 Mg m⁻³ para profundidade 0,20-0,30 m. De maneira geral, os valores de Ds foram considerados baixos, uma vez que estes resultados são características de ambientes com TPA. Este comportamento é resultante dos elevados teores de carbono orgânico e de intensa atividade biológica (fauna e raízes). Resultados semelhantes relataram Barros et al. (2012), em estudos com caracterização física de terra preta de índio no Estado do Pará.

Para macro, foram observados valores superiores a 0,10 m³ m⁻³, com valores entre 0,11 m³ m⁻³ e 0,20 m³ m⁻³ nas profundidades amostradas (Tabela 3). Segundo Kiehl (1979),

Tabela 2. Modelos e parâmetros geoestatísticos dos atributos do solo, nas diferentes profundidades em terra preta arqueológica sob pastagem na região de Manicoré-AM.**Table 2.** Geostatistical models and parameters of soil attributes, at different depths in archaeological black soil under pasture in the region of Manicore-AM.

Parâmetros	0,00-0,05 m			0,05-0,10 m		
	Silte	Argila	Areia	Silte	Argila	Areia
Modelo	Esf	Exp	Esf	Exp.	Esf	Esf
¹ (C ₀)	760	143,58	737	144	155	30
² (C ₀ +C ₁)	1389,87	268,24	1356,44	1309	512,7	1099
³ a (m)	57,29	42,90	42,12	16,20	67,37	13,20
⁴ R ²	0,80	0,75	0,86	0,88	0,98	0,79
⁵ GDE (%)	55	53	54	11	32	3
⁶ VC%	0,98	0,91	0,95	0,87	1,00	0,96
Modelo	0,10-0,20 m			0,20-0,30 m		
	Silte	Argila	Areia	Silte	Argila	Areia
¹ (C ₀)	605	363	499	51	44,4	146
² (C ₀ +C ₁)	1497	726,1	1209	1362	351,91	1159
³ a (m)	76,31	59,90	69,50	15,40	20,70	20,10
⁴ R ²	0,98	0,94	0,96	0,64	0,91	0,72
⁵ GDE (%)	40	50	41	4	13	13
⁶ VC%	0,98	0,99	0,99	0,99	0,95	0,84

Esf.: esférico; Exp.: exponencial; ¹ C₀: efeito pepita; C₀+C₁: patamar; a: alcance (m); R²: coeficiente de determinação; GDE%: grau de dependência espacial; VC: validação cruzada. Esf.: spherical; Exp.: exponential; ¹ C₀: nugget effect; C₀ + C₁: landing; a: reach (m); R²: coefficient of determination; GDE%: spatial dependence ; VC: cross-validation.

Tabela 3. Estatística descritiva dos atributos físicos do solo em diferentes profundidades em uma área de terra preta arqueológica sob pastagem na região de Manicoré, AM.**Table 3.** Descriptive statistics of soil physical properties at different depths in an archaeological black earth area under pasture in Manicore-AM.

Estatística	RP	Ds	Us	Macro	Micro	PT
	MPa	Mg m ⁻³		m ³ m ⁻³		
0,0-0,05 m						
Média	2,10	1,29	0,33	0,11	0,27	0,39
Mediana	2,08	1,30	0,33	0,11	0,27	0,39
² CV%	26,29	9,03	16,67	26,38	11,27	8,72
Assimetria	0,17	-0,39	0,21	0,76	-0,14	-0,41
Curtose	-0,30	-0,01	0,20	0,62	3,74	1,74
³ d	0,10*	0,15*	0,15*	0,10*	0,07*	0,08*
0,05-0,10 m						
Média	1,37	1,25	0,33	0,16	0,26	0,43
Mediana	1,38	1,25	0,34	0,16	0,26	0,42
² CV%	40,09	7,61	11,71	23,83	6,91	9,09
Assimetria	0,98	-0,24	0,61	0,03	0,70	0,58
Curtose	3,16	-0,85	-0,13	0,32	0,33	0,79
³ d	0,14*	0,03ns	0,10*	0,15*	0,15*	0,01ns
0,10-0,20 m						
Média	0,78	1,17	0,35	0,20	0,26	0,46
Mediana	0,75	1,16	0,35	0,20	0,26	0,46
² CV%	33,82	9,29	19,03	21,19	14,27	9,06
Assimetria	0,97	0,30	0,17	-0,28	0,08	0,43
Curtose	1,65	0,16	0,86	0,31	2,26	0,04
³ d	0,02ns	0,15*	0,148	0,15*	0,01ns	0,15*
0,20-0,30 m						
Média	0,57	1,16	0,37	0,18	0,27	0,46
Mediana	0,51	1,16	0,38	0,17	0,28	0,46
² CV%	38,07	7,84	18,75	28,10	16,15	7,00
Assimetria	0,97	-0,17	0,09	0,49	-0,48	0,30
Curtose	1,65	-0,20	1,16	-0,29	0,64	0,30
³ d	0,01ns	0,15*	0,15*	0,01ns	0,01ns	0,15*

RP: resistência do solo à penetração; Ds: densidade do solo; Us: umidade do solo; Macro: macroporosidade; Micro: microporosidade; PT: porosidade total. DP¹: desvio padrão; CV²: coeficiente de variação; d³: *significativo a 5% de probabilidade pelo teste Kolmogorov-Smirnov.

RP: soil penetration resistance; Ds: soil density; Us: soil moisture; Macro: macroposity; Micro: microporosity; PT: total porosity. DP¹: standard deviation; CV²: coefficient of variation; d³: * significant at the 5% probability by the Kolmogorov-Smirnov test.

a maioria das plantas desenvolve satisfatoriamente seu sistema radicular quando o volume de macroporos está acima de $0,10 \text{ m}^3\text{m}^{-3}$. Esse valor é considerado limite para a adequação à difusão de oxigênio, demonstrando que se garante, então, uma boa aeração para o desenvolvimento do sistema radicular e para as atividades dos micro-organismos. Por outro lado, conforme Megda et al. (2008), o crescimento das raízes pode ser prejudicado quando a macroporosidade do solo é reduzida a valor inferior a $0,15 \text{ m}^3\text{m}^{-3}$. O valor obtido de $0,11 \text{ m}^3\text{m}^{-3}$ na camada superficial, provavelmente deve-se ao manejo do solo, e ao pisoteio do animal.

Conforme o limite proposto por Brady & Weil (2008), um solo ideal deve ter os valores de PT acima de $0,50 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, considerado satisfatório para o crescimento adequado das plantas.

Campos et al. (2011) observaram a elevada porosidade total em estudos com classificação de terras pretas arqueológicas, fato justificável devido aos elevados teores de matéria orgânica e à intensa atividade biológica (fauna e raízes).

Pelos valores de coeficiente de variação, verificou-se que a Ds e PT apresentaram CV de caráter baixo ($CV < 12\%$). Grego et al. (2012), analisando a variabilidade espacial dos atributos do solo em ambiente de pastagem, observaram baixo CV para a Ds, e médio CV para a RP.

Para análise de estrutura da dependência espacial, a qual só é possível por meio da geoestatística, em especial do semivariograma, todos os atributos apresentaram dependência espacial, exceto para RP na profundidade 0,05-0,10 e Umidade na profundidade 0,20-0,30 m, sendo considerados como efeito

Tabela 4. Modelos e parâmetros estimados aos semivariogramas dos atributos físicos do solo em diferentes profundidades em uma área de terra preta arqueológica sob pastagem na região de Manicoré, AM.

Table 4. Models and estimated parameters to semivariogram of soil physical properties at different depths in an archaeological black earth area under pasture in Manicore-AM.

Parâmetros	RP	Ds	Us (vol)	Macro	Micro	PT
	0,0-0,05 m					
Modelo	Exp	Exp	Esf	Esf	Esf	Esf
¹ (C ₀)	0,03	0,0014	0,89	5,37	0,27	0,38
² (C ₀ +C ₁)	0,27	0,0117	25,56	9,24	6,77	9,14
³ a (m)	20,40	25,20	15,30	37,60	15,20	13,30
⁴ R ²	0,94	0,91	0,83	0,83	0,70	0,82
⁵ GDE (%)	11	1	3	58	4	4
⁶ VC	0,80	0,98	0,95	0,93	0,99	0,90
0,05-0,10 m						
Modelo	-	Exp	Exp	Esf	Exp	Exp
¹ (C ₀)	-	0,0010	1,93	5,69	0,80	1,13
² (C ₀ +C ₁)	-	0,0086	14,52	14,97	3,00	10,76
³ a (m)	-	24,90	33,90	33,10	37,50	20,70
⁴ R ²	-	0,94	0,92	0,87	0,92	0,85
⁵ GDE (%)	-	11	13	38	26	10
⁶ VC	-	0,96	0,98	0,99	0,91	0,92
0,10-0,20 m						
Modelo	Exp	Exp	Esf	Exp	Esf	Exp
¹ (C ₀)	0,04	0,0012	19,57	2,01	5,39	1,85
² (C ₀ +C ₁)	0,07	0,010	40,16	14,41	12,01	15,18
³ a (m)	71,13	21,90	52,90	27,60	68,81	21,00
⁴ R ²	0,74	0,82	0,92	0,73	0,96	0,82
⁵ GDE (%)	57	12	48	14	45	12
⁶ VC	0,73	0,99	0,96	0,97	0,93	0,83
0,20-0,30 m						
Modelo	Esf	Exp	-	Exp	Esf	Exp
¹ (C ₀)	0,02	0,0008	-	2,72	8,66	1,22
² (C ₀ +C ₁)	0,04	0,008	-	23,75	17,33	8,96
³ a (m)	50,90	20,70	-	18,30	50,00	22,50
⁴ R ²	0,92	0,87	-	0,89	0,92	0,82
⁵ GDE (%)	50	10	-	11	50	13
⁶ VC	0,74	0,89	-	0,93	0,91	0,86

Esf.: esférico; Exp.: exponencial; ¹C₀: efeito pepita; ²C₀+C₁: patamar; ³a: alcance (m); ⁴R²: coeficiente de determinação; ⁵GDE%: grau de dependência espacial; ⁶VC: validação cruzada.

Esf.: spherical; Exp.: exponential; ¹C₀: nugget effect; C₀ + C₁: landing; a: reach (m); R²: coefficient of determination; GDE%: spatial dependence; VC: cross-validation.

pepita puro, indicando que para essas variáveis a distância de amostragem não foi capaz de exibir toda a variância dos dados e, provavelmente, existe tendência nos dados em seguir determinada direção.

Com base nos valores do grau de dependência espacial sugeridos por Cambardella et al. (1994), verificou-se que há forte dependência espacial para a Ds em todas as profundidades, enquanto os demais atributos apresentaram moderada e forte dependência espacial.

O alcance indica o limite da dependência espacial da variável, isto é, determinações realizadas a distâncias maiores que o alcance têm distribuição espacial aleatória. Neste sentido, os maiores valores da continuidade espacial foram para RP e Micro na profundidade 0,10-0,20 m, respectivamente com valores de 71,13 e 68,81 m; porém os demais atributos apresentaram alcance entre 13,30 e 52,90 m (Tabela 4). As variáveis físicas em estudo apresentaram alcances maiores que o estabelecido na malha amostral, podendo-se ressaltar que a continuidade espacial variou de variável para variável. Com relação aos valores do coeficiente de determinação (R^2) e validação cruzada (VC), apresentaram-se satisfatórios, variando entre 0,70 e 0,96 para o (R^2), e 0,73 e 0,99 para (VC).

4 Conclusões

O estudo da variabilidade espacial permitiu identificar as zonas de manejo específico no terreno. Todos os atributos mostraram dependência espacial, com exceção para a RP, na profundidade 0,05-0,10 m, e Us, na profundidade de 0,20-0,30 m, que apresentaram efeito pepita puro. Os valores acentuados de RP, Ds e Micro, na profundidade 0,0-0,05m do solo, indicaram um solo compactado em superfície, no entanto, com o acréscimo da profundidade, há o aumento da Macro e Porosidade Total.

Referências

ALHO, L. C.; CAMPOS, M. C. C.; SILVA, D. M. P.; MANTOVANELLI, B. C.; SOUZA, Z. M. Variabilidade espacial de estabilidade de agregados e estoque de carbono em Cambissolo e Argissolo. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v. 44, n. 3, p. 246-254, 2014. <http://dx.doi.org/10.1590/S1983-40632014000300001>.

AQUINO, R. E.; CAMPOS, M. C. C.; MARQUES JÚNIOR, J.; OLIVEIRA, I. A.; MANTOVANELI, B. C.; SOARES, M. D. R. Geoestatística na avaliação dos atributos físicos em Latossolo sob floresta nativa e pastagem na região de Manicoré, AM. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 38, n. 2, p. 397-406, 2014a. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832014000200004>.

AQUINO, R. E.; CAMPOS, M. C. C.; OLIVEIRA, I. A.; MARQUES JUNIOR, J.; SILVA, D. M. P. S.; SILVA, D. A. P. Variabilidade espacial de atributos físicos de solos antropogênico e não antropogênico na região de Manicoré, AM. *Bioscience Journal*, v. 30, n. 4, p. 988-997, 2014b.

BARROS, K. R. M.; LIMA, H. V.; CANELLAS, L. P.; KERN, D. C. Fracionamento químico da matéria orgânica e caracterização física de Terra Preta de Índio. *Revista Ciência Agrária*, v. 55, n. 1, p. 44-51, 2012.

BRADY, N. C.; WEIL, R. R. *The nature and properties of soils*. 14. ed. Upper Saddle River: Pearson-Prentice Hall, 2008. 990 p.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. *Projeto Radambrasil*: folha SB. 20 Purus. Rio de Janeiro: RADAMBRASIL, 1978. 561 p.

CAMBARDELLA, C. A.; MOORMAN, T. B.; PARKIN, T. B.; KARLEN, D. L.; NOVAK, J. M.; TURCO, R. F.; KONOPKA, A. E. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. *Soil Science Society of America Journal*, v. 58, n. 5, p. 1501-1511, 1994. <http://dx.doi.org/10.2136/sssaj1994.03615995005800050033x>.

CAMPOS, M. C. C.; RIBEIRO, M. R.; SOUZA JÚNIOR, M. 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*, v. 70, n. 3, p. 598-609, 2011.

CAMPOS, M. C. C.; SOARES, M. D. R.; OLIVEIRA, I. A.; SANTOS, L. A. C.; AQUINO, R. E. Spatial variability of physical attributes in Alfissol under agroforestry, Humaitá region, Amazonas state, Brazil. *Revista de Ciências Agrárias (Belém)*, v. 56, n. 2, p. 149-159, 2013. <http://dx.doi.org/10.4322/rca.2013.023>.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. *Manual de métodos de análise de solo*. Rio de Janeiro: CNPS, 2011. 230 p.

GREGO, C. R.; RODRIGUES, C. A. G.; NOGUEIRA, S. F.; GIMENES, F. M. A.; OLIVEIRA, A.; ALMEIDA, C. G. F.; FURTADO, A. L. S.; DEMARCHI, J. J. A. Variabilidade espacial do solo e da biomassa epígea de pastagem, identificada por meio de geoestatística. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 47, n. 9, p. 1404-1412, 2012. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2012000900026>.

KÄMPF, N.; KERN, D. C. O solo como registro da ocupação humana pré-histórica na Amazônia. In: TORRADOVIDAL, P.; ALLEONI, L. R. F.; COOPER, M.; SILVA, A. P. (Eds.). *Tópicos em ciência do solo*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005. v. 4, p. 277-320.

KIEHL, E. J. *Manual de edafologia: relação solo-planta*. São Paulo: Ceres, 1979. 262 p.

MEGDA, M. M.; CARVALHO, M. P.; VIEIRA, M. X.; ANDREOTTI, M.; PEREIRA, E. C. Correlação linear e espacial entre a produtividade de feijão e a porosidade de um Latossolo Vermelho de Selvíria (MS). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 32, n. 2, p. 781-788, 2008. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832008000200032>.

MINITAB INC. *Statistical Software 14.1*. State College, 2000.

OLIVEIRA, I. A.; CAMPOS, M. C. C.; FREITAS, L.; SOARES, M. D. R. Caracterização de solos sob diferentes usos na região sul do Amazonas. *Acta Amazonica*, v. 45, n. 1, p. 1-12, 2015. <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4392201400555>.

PIRES, B. S.; DIAS JUNIOR, M. S.; ROCHA, W. W.; ARAUJO JUNIOR, C. F.; CARVALHO, R. C. R. Modelos de capacidade de suporte de carga de um Latossolo Vermelho-amarelo sob diferentes usos e manejos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 36, n. 2, p. 635-642, 2012. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832012000200032>.

SANTOS, L. A. C.; CAMPOS, M. C. C.; AQUINO, R. E.; BERGAMIN, A. C.; SILVA, D. M. P.; MARQUES JUNIOR, J.; FRANÇA, A. B. C. Caracterização de terras pretas arqueológicas no Sul do Estado do Amazonas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 37, n. 4, p. 825-836, 2013. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832013000400001>.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – CPRM. *Base Cartográfica digital obtida pela CPRM, a partir da base cartográfica integrada digital do Brasil ao milionésimo elaborada pelo IBGE*. Manaus: SUREG, 2005.

SILVEIRA, D. C.; MELO FILHO, J. F.; SACRAMENTO, J. A. A. S.; SILVEIRA, E. C. P. Relação umidade versus resistência à penetração para um Argissolo Amarelo distrocoeso no Recôncavo da Bahia. *Revista Brasileira de Ciencia do Solo*, v. 34, n. 3, p. 659-667, 2010. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832010000300007>.

TAVARES FILHO, J.; TESSIER, D. Compressibility of oxisol aggregates under no-till in response to soil water potential. *Revista*

Brasileira de Ciencia do Solo, v. 33, n. 6, p. 1525-1533, 2009. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832009000600002>.

TORMENA, C. A.; SILVA, A. P.; LIBARDI, P. L. Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo sob plantio direto. *Revista Brasileira de Ciencia do Solo*, v. 22, n. 4, p. 573-581, 1998. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06831998000400002>.

VIEIRA, S. R.; HATFIELD, J. L.; NIELSEN, D. R.; BIGGAR, J. W. *Geostatistical theory and application to variability of some agronomical properties*. Berkeley: University of California, 1983. v. 51, 75 p.

WARRICK, A. W.; NIELSEN, D. R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D. *Applications of soil physics*. New York: Academic Press, 1980. cap. 2, p. 319-344.

Contribuição dos autores: Marcelo Dayron Rodrigues Soares, Milton César Costa Campos, Widson Benedito Mendes Brito e Uilson Franciscon realizaram as coletas de solo do experimento, análises laboratoriais, revisão bibliográfica e a escrita científica; Zigomar Menezes de Souza e Guilherme Adalberto Ferreira Castioni contribuíram na análise estatística, revisão bibliográfica, escrita científica, correções técnica e gramatical do trabalho.

Agradecimentos: Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo financiamento da pesquisa e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas (FAPEAM), pela concessão de bolsa de estudo ao primeiro autor.

Fonte de financiamento: Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas - FAPEAM

Conflito de interesse: Os autores declaram não haver conflito de interesse.