

Uso de semivariograma escalonado na variabilidade espacial da textura do solo em uma área de terra preta arqueológica sob floresta nativa

Julimar da Silva Fonseca¹, Milton César Costa Campos¹, José Mauricio da Cunha¹, Renato Eleotério de Aquino², Igor Hister Lourenço¹, Half Weinberg Corrêa Jordão³

¹Universidade Federal do Amazonas (UFAM), Instituto de Educação Agricultura e Ambiente (IEAA), R. 29 de agosto, 786, Centro, 69800-000, Humaitá, AM, Brasil.

²Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinária (FCAV), Jaboticabal, SP, Brasil.

³UNESP, Faculdade de Ciências Agrônômicas (FCA), Botucatu, SP, Brasil.

E-mail autor correspondente: halfwberg@gmail.com

Artigo enviado em 28/03/2018, aceito em 08/03/2019.

Resumo: Os solos predominantes na região Amazônica pertencem à classe dos Latossolos e Argissolos, caracterizado por seu alto grau de intemperismo e baixa fertilidade natural. Em contraste, ocorrem as Terras Pretas Arqueológicas (TPA) com elevada fertilidade natural e alto teor de matéria orgânica, coloração escura, presença de artefatos cerâmicos indígenas incorporados à matriz do horizonte superficial do solo. O objetivo deste trabalho foi investigar o uso de semivariograma escalonado na variabilidade espacial da textura do solo em uma área de terra preta arqueológica sob floresta em Manicoré, AM. A área em estudo encontra-se na região do município de Manicoré-AM, no km 210, a 30 km da comunidade do Santo Antônio do Matupi, as margens da BR 230, rodovia transamazônica. Foi estudada uma área de TPA sob Floresta nativa, onde foi estabelecido o mapeamento de uma malha de 6 x 6 m, nas profundidades de amostragem 0,00-0,05, 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m, perfazendo 88 pontos georreferenciados, totalizando 264 pontos amostrais nas 3 profundidades. Em seguida realizou-se análise textural para determinar areia, silte e argila. Os resultados foram tratados estatisticamente por meio de análise descritiva e geoestatística. Todas as variáveis analisadas apresentaram estrutura de dependência espacial, e ajustaram-se ao modelo exponencial. Nos semivariogramas individuais o Grau de Dependência Espacial (GDE) foi classificado como fraco e moderado e nos semivariogramas escalonados o GDE foi classificado como moderado e forte. Os semivariogramas escalonado apresentaram alcance maiores que o espaçamento da malha variando entre 17,59 a 30 m.

Palavras-chave: solos amazônicos, física do solo, geoestatística.

Scaled semivariogram in spatial variability of soil in area of archaeological black earth under forest in Manicoré-AM

Abstract: The predominant soils in the Amazon region belong to the class of Oxisols and Udisols, characterized by their high degree of weathering and low natural fertility. In contrast, Archaeological Black Earths (ABE) occur with high natural fertility and high organic matter content, dark color, presence of indigenous ceramic artifacts incorporated to the soil surface horizon matrix. The

objective of this work was to evaluate the use of scaled semivariogram in the spatial variability of soil texture in an archaeological black earth area under native forest in Manicoré, AM. The study area is located in the region of Manicoré-AM, at km 210, 30 km from the Santo Antônio do Matupi community, along the banks of BR 230, transamazonica highway. Was studied an ABE area under native forest, where a 6 x 6 m mesh mapping was established at sampling depths 0.00-0.05, 0.05-0.10 and 0.10-0, 20 m, making 88 georeferenced points, totalizing 264 sampling points in the 3 depths. Next, textural analysis was performed to determine sand, silt and clay. The results were statistically treated through descriptive and geostatistical analysis. All variables analyzed showed spatial dependence structure, and adjusted to the exponential model. In the individual semivariograms the Degree of Spatial Dependence (DSD) was classified as weak and moderate and in the scaled semivariograms the DSD was classified as moderate and strong. The scaled semivariograms presented range greater than the mesh spacing ranging from 17.59 to 30 m.

Keywords: amazonian soils, soil physics, geostatistics.

Introdução

O avanço do setor madeireiro e agropecuário na região sul do Amazonas destroem grandes áreas florestais, dentre estas estão as áreas de Terra Preta Arqueológica (TPA), uma vez que, a retirada da cobertura vegetal, promove o rompimento do equilíbrio natural do ecossistema, ocorrendo modificações nos atributos químicos, físicos e biológicos do solo. Por outro lado, nessas áreas não há estudos detalhados sobre a distribuição das áreas de TPA e do comportamento dos solos nesses ambientes florestais (CAMPOS et al., 2009).

As TPAs são solos que apresentam horizontes superficiais com coloração escura, alta fertilidade natural, presença de fragmentos de cerâmica e/ou líticos incorporados a matriz dos horizontes superficiais e normalmente associado a corpos d'água ou em terrenos de posições de maiores cotas de altitude (KAMPF e KERN, 2005). De acordo com Glaser (2007) estes solos apresentam elevados teores de P, Ca, Mg e matéria orgânica estável, além de maior

atividade biológica, quando comparados aos solos adjacentes. Para Segundo Cunha et al. (2007), a fertilidade desses solos é fortemente relacionada com as características moleculares da fração alcalino-solúvel do carbono orgânico. Por outro lado, a textura do solo corresponde à proporção relativa dos diferentes tamanhos de partículas em determinada massa de solo, podendo-se dizer especificamente que são as proporções das frações de areia, silte e argila e constitui uma das características físicas mais estáveis (SANCHEZ, 2012). Segundo Klein et al. (2010) e Grigolon (2013) a textura do solo, principalmente o teor de argila, define em boa parte a distribuição do diâmetro dos poros do solo, determinando assim a área de contato entre as partículas sólidas e a água, pois tem influência direta na taxa de infiltração de água, na aeração e na capacidade de retenção de água (ARAÚJO et al., 2003).

A distribuição das frações texturais (areia, silte e argila) são influenciadas pelos índices topográficos e gradiente de

declividade (LEÃO et al., 2010; LEÃO et al., 2011). Portanto, conhecer a textura do solo auxilia na classificação taxonômica, entender os processos pedogenéticos que atuam no terreno considerando que as geoformas da paisagem afetam o controle do movimento de água (divergência e convergência) influenciando e condicionando ambientes erosionais e depressionais (CAMPOS et al., 2007).

Assim, o conhecimento da distribuição espacial dos atributos do solo em áreas florestais é essencial para o manejo dos recursos naturais, como água e solo (ROSA FILHO et al., 2011), tornando-se fundamental monitorar o comportamento dos seus atributos especialmente em ambientes naturais afim de evitar a perda de informações em ambientes não alterados (GOMES et al., 2007). E considerando que as TPAs são bastante exploradas na Amazônia, entretanto o uso e manejo inadequados podem provocar alterações indesejáveis no ecossistema natural, levando a

degradação do solo (CAMPOS et al., 2012). E tendo em vista que trabalhos com o uso da ferramenta geoestatística são poucos na região, tornam-se raras as informações específicas sobre qualidade do solo em áreas de florestas, comuns na região (CAMPOS et al., 2010).

Assim, o objetivo deste trabalho foi investigar o uso do semivariograma escalonado na variabilidade espacial da textura do solo em uma área de Terra Preta Arqueológica sob floresta nativa em Manicoré, AM.

Material e Métodos

A área em estudo encontra-se na região do município de Manicoré-Am, no km 210 a 30 km da comunidade do Santo Antônio do Matupí, as margens da BR 230, rodovia transamazônica. As coordenadas geográficas são, Latitude: 07° 51' 28" Sul, Longitude: 61° 17' 48" Oeste, com altitude média de 109 metros acima do nível do mar (Figura 1).

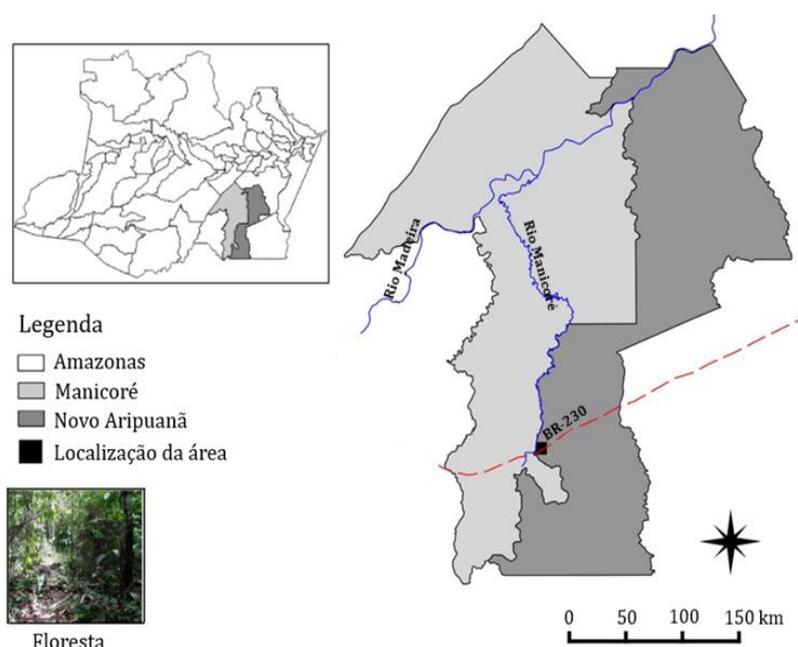


Figura 1. Localização da área de coleta de solo de Terra Preta Arqueológica sob floresta nativa na região de Manicoré, Amazonas.

O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo tropical chuvoso (chuvas do tipo monção), apresentando um período seco de pequena duração (AM), temperaturas variando entre 25 e 27 ° C e precipitação média anual de 2.500 mm, com período chuvoso iniciando em outubro e prolongando-se até junho e umidade relativa do ar entre 85 e 90 %.

A geologia nas imediações da comunidade de Santo Antônio do Matupi localiza-se sobre saprolitos de Granitos Rondonianos, que se caracterizam por apresentar muscovita, biotita, adamelitos, e granodioritos, de origem intrusiva cratogênica, em forma de “stocks” e batólitos (BRASIL, 1978). O relevo da área é constituído por platôs com as superfícies planas, e a zona de borda marcada por colinas e cristais alinhadas e localmente íngreme, enquanto as áreas planas têm uma superfície pediplana como principal característica (CPRM, 2001).

As variações do relevo favorecem a presença de solos distróficos no topo alto (Latossolo Vermelho Distrofítico típico) e solos eutróficos (Latossolo Vermelho – Amarelo eutrófico típico) no sopé de transporte (CAMPOS et al., 2011a). A região possui vegetação de Floresta Tropical Densa constituída por árvores adensadas e multiestratificadas entre 20 e 50 metros de altura (ZEE-AM, 2008).

Na área de TPA sob floresta nativa, estabeleceu-se o mapeamento de uma malha de 6 x 6 m, nas profundidades de amostragem 0,0-0,05, 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m, perfazendo 88 pontos em cada uma das profundidades, totalizando 264 pontos amostrais nas 3 profundidades.

A análise textural foi realizada pelo método da pipeta, utilizando solução de NaOH 0,1 N como dispersante químico e agitação mecânica em equipamento de alta rotação por 15 minutos, seguindo metodologia proposta pela Embrapa (1997). A fração argila foi separada por sedimentação, a areia por tamisação, e o silte calculado por diferença.

Os atributos do solo foram analisados por meio da análise estatística descritiva, sendo calculado a média, mediana, o coeficiente de variação, o coeficiente de assimetria e curtose. As hipóteses de normalidade dos dados foram testadas pelo teste de Kolmogorov-Smirnov, por meio do software computacional Minitab 14 (MINITAB, 2000).

Para a caracterização da variabilidade espacial, foi utilizada a análise geoestatística (ISAAKS e SRIVASTAVA, 1989). Com base na pressuposição de estacionariedade da hipótese intrínseca, a qual é estimada pela seguinte equação:

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

Sendo: $\hat{\gamma}(h)$ o valor da semivariância na distância h ; $N(h)$ o número de pares envolvidos no cálculo da semivariância; $Z(x_i)$ o valor do atributo Z na posição x_i e $Z(x_i + h)$ o

valor do atributo Z separado por uma distância h da posição x_i .

Para este cálculo, utilizou-se o programa GS+ (GAMMA DESIGN,

2002). O algoritmo implementado no GS+ seleciona o modelo que apresentar menor soma de quadrado de resíduo no ajuste. O ajuste do modelo matemático aos dados define os parâmetros do semivariograma, que são: efeito pepita (C_0), alcance (A) e patamar ($C+C_0$), cujo valor é aproximadamente igual à variância dos dados (se ela existe), obtido pela

soma do efeito pepita (C_0) e a variância estrutural (C).

Para confecção dos semivariogramas escalonados, utilizou-se os modelos padronizados propostos pelo GS+, onde foram utilizadas as distâncias médias e semivariâncias padronizadas aproximadas e aplicadas na equação (2), nos fornecendo assim, o modelo do semivariograma escalonado:

$$y(h) = C_0 + C_1 \left[1 - \exp\left(-\frac{3h}{a}\right) \right], h \geq 0 \quad (2)$$

Resultados e Discussão

Os resultados da estatística descritiva para as propriedades granulométricas do solo estão apresentados na Tabela 1. A maior presença da fração areia nas três profundidades é um comportamento comum encontrado nos solos com presença de horizontes antropogênicos, como já relatado por Santos et al. (2013), que justifica esta dominância da fração areia pela natureza grosseira do material de origem, da menor taxa de intemperismo e do fraco grau de desenvolvimento do solo. Campos et al. (2011b) afirmam que há dominância da fração areia, em particular da areia grossa no horizonte antrópico, onde está relacionada a posição na paisagem em que se encontra o ambiente em estudo. Para German (2003) esses elevados teores da fração areia, podem ser explicados pela contribuição de pequenos fragmentos líticos e cerâmicos.

As medidas de tendência central média e mediana apresentaram valores próximos na fração argila, enquanto que nas frações areia e silte os valores se distanciaram. Estes resultados estão de acordo com os

resultados apresentados por Campos et al. (2013) em um Argissolo vermelho sob floresta no sul do Amazonas. Nas medidas de formato assimetria e curtose, as frações granulométricas apresentaram valores próximos ao valor central zero, sendo exceção apenas a curtose para a argila na profundidade de 0,10 a 0,20 m com valores maiores que 1.

De acordo com Diggle e Ribeiro Júnior (2007) os coeficientes de assimetria e curtose são mais sensíveis a valores extremos que a média, mediana e desvio padrão, pois um único valor pode influenciar fortemente nos valores desses coeficientes, uma vez que os desvios entre cada valor e a média são elevados à terceira potência.

Com relação ao teste de normalidade dos dados submetidos ao teste de Kolmogorov-Smirnov que segundo Gonçalves et al. (2001) mede a distância máxima entre os resultados de uma distribuição a ser testada e os resultados associados à distribuição hipoteticamente verdadeira, verificou-se que todas as frações granulométricas apresentaram normalidade. Assim, pode ser constatado através dos resultados da análise exploratória dos

dados que as variáveis apresentam distribuição suficientemente simétrica ao uso da geoestatística.

O coeficiente de variação nas propriedades granulométricas foi classificado conforme os critérios determinados por Warrick e Nielsen (1980). A fração areia foi classificada como baixo ($CV < 12\%$) em todas as profundidades. Já as frações silte e argila foram classificadas como moderada (CV 12 a 24%), o que lhes conferem uma baixa e moderada variabilidade no ambiente e floresta pelo critério do coeficiente de variação (Tabela 1). No estudo de Aquino et al. (2014) com um solo antropogênico em comparação com um ambiente de floresta natural, foi verificado que o as frações

granulométricas apresentaram variabilidade moderada no ambiente antropogênico.

A semelhança dos valores de CV das três profundidades no atributo granulométrico areia permite afirmar que os agentes causadores da variabilidade atuam continuamente em profundidade. Todavia, é importante ressaltar que, ainda que o coeficiente de variação permita comparar a variabilidade entre amostras com unidades diferentes, o emprego dessa medida não deve ser generalizado, mas relevante segundo as finalidades que se destina o trabalho (SOUZA, 2004; CAMPOS et al., 2007).

Tabela 1. Estatística descritiva das frações areia, silte e argila em área de Terra Preta Arqueológica sob floresta nativa na região de Manicoré, AM

Estatística Descritiva	g kg ⁻¹		
	Areia	Silte	Argila
0,00 - 0,05 m			
Media	695,1	215,2	89,6
Mediana	694,3	208,9	88,2
Máximo	795,1	344,5	130
Mínimo	587,1	117,5	44,7
Desvio Padrão	39,9	44,1	17,4
Variância	1598,2	1945,4	303,9
² CV%	5,75	20,4	19,4
Assimetria	-0,10	0,41	0,05
Curtose	0,44	0,30	-0,48
³ d	0,06*	0,09*	0,05*
0,05 - 0,10 m			
Media	700,0	194,0	105,9
Mediana	697,1	194,4	105,0
Máximo	792,3	265,5	136,2
Mínimo	601,6	103,6	70,5
Desvio Padrão	40,3	36,7	13,1
Variância	1628,3	1352,8	172,8
² CV%	5,76	18,9	12,4
Assimetria	0,33	-0,22	0,00
Curtose	-0,51	-0,63	-0,50
³ d	0,08*	0,05*	0,07*
0,10 - 0,20 m			

Média	717,8	186,2	95,8
Mediana	724,0	185,9	95,3
Máximo	779,4	271,6	140,6
Mínimo	614,0	111,2	50,0
Desvio Padrão	36,5	35,1	14,2
Variância	1334,6	1236,3	202,9
² CV%	5,09	18,8	14,2
Assimetria	-0,51	0,21	0,24
Curtose	-0,23	-0,47	1,29
³ d	0,09*	0,06*	0,06*

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

Após a realização da estatística descritiva as propriedades granulométricas foram submetidas a análise geoestatística. O modelo que melhor se ajustou aos dados de areia, silte e argila foi o exponencial, exceção somente para a fração argila na camada 0,00-0,05, apresentando efeito pepita puro (EPP) (Tabela 2). Segundo Isaaks e Srivastava (1989), os modelos exponenciais ajustam-se melhor a fenômenos erráticos em pequena escala, enquanto os modelos esféricos descrevem propriedades com alta continuidade espacial, ou menos fenômenos erráticos na curta distância. Os modelos esféricos e exponenciais apresentam-se como os modelos teóricos mais comuns aos

atributos do solo (CORÁ et al., 2004; MONTANARI et al., 2008; MONTOMIYA et al., 2011).

O EPP é importante e indica distribuição casual, ou seja, variabilidade não explicada ou variação não detectada, e pode ocorrer devido a erros de medidas, amostragem ou microvariação não detectada, considerando ser o espaçamento de amostragem utilizado maior que o necessário para detectar a dependência espacial (CAMBARDELLA et al., 1994). Para as demais variáveis, o espaçamento amostral utilizado foi adequado para se verificar a dependência espacial.

Tabela 2. Modelos e parâmetros estimados aos semivariogramas experimentais das frações areia, silte e argila em área de Terra Preta Arqueológica sob floresta nativa na região de Manicoré, AM

Parâmetros	0,00 - 0,05 m			0,05 - 0,10 m			0,10 - 0,20 m		
	Areia	Silte	Argila	Areia	Silte	Argila	Areia	Silte	Argila
Modelo	Exp	Exp	EPP	Exp	Exp	Exp	Exp	Exp	Exp
C ₀	247	837	-	673	559	79,7	121	153	19
C ₀ +C	1486	1675	-	1639	1418	191,1	1198	1035	155
A (m)	25,2	35,4	-	46,5	37,2	36,6	14,4	16,2	13,2
¹ R ²	0,83	0,77	-	0,78	0,72	0,79	0,71	0,85	0,86
² GDE%	83	50	-	58	60	58	89	82	87
³ VC	0,91	0,84	-	0,89	0,77	0,75	0,77	0,80	0,85

C₀: efeito pepita; C₀+C: patamar; A: alcance (m); ¹R²: quadrado do resíduo; GDE: grau de dependência espacial; VC: validação cruzada.

O ajuste do modelo matemático aos semivariogramas experimentais foi realizado utilizando-se como critérios de seleção dos modelos a técnica da validação cruzada (VC), "cross-validation" que fornece o coeficiente de regressão e mostra como resultado uma reta que passa entre as observações reais e estimadas (WOJCIECHOWSKI et al., 2009), no qual os valores variam de 0 a 1, sendo os valores mais próximos de 1 o mais eficiente modelo para representar o fenômeno estudado (RIBEIRO JUNIOR, 1995) e também o Y intercepto, onde quanto mais baixo é o seu valor melhor ajustado encontra-se o gráfico. Outro critério de escolha do melhor modelo experimental foi o coeficiente de determinação (R^2) que é muito usual nos trabalhos com geoestatística, onde o seu melhor ajuste se dá quanto mais próximo do valor 1.

Para as frações areia e silte, na camada 0,00-0,05, ajustaram-se o modelo exponencial para os semivariogramas. O R^2 foi de 0,83 e 0,77 respectivamente, e os valores da validação cruzada foram na regressão de 0,91 e 0,84 respectivamente (Tabela 2). Segundo Azevedo (2004) quando R^2 for maior que 50%, melhor será a estimativa de seus valores pelo o método de interpolação Krigagem ordinária.

Para o ajuste do semivariograma escalonado, verificou-se resultado semelhante com o ajuste dos atributos avaliados individualmente. Para melhor descrever a estrutura de variação dos dados no espaço, ao longo da transeção estudada, foram construídos os semivariogramas escalonados pelas variâncias dos resíduos (Figuras 2a, 2b, e 2c), e permitiu constatar que a estrutura de dependência espacial das frações

granulométricas areia, silte e argila pode ser descrita por um único modelo de semivariograma escalonado.

O grau de dependência espacial (GDE) para os semivariogramas escalonados, expresso pela razão entre o efeito pepita (C_0) e o patamar ($C_0 + C_1$) (CAMBARDELLA et al., 1994), foi classificado como moderado para a profundidade 0,00-0,05 m (Figura 2a), exceto para as para as profundidades subsequentes (Figuras 2b e 2c), que apresentaram GDE forte ($>25\%$), diferente dos semivariogramas individuais que na profundidade 0,00-0,05 m se caracterizaram o GDE foi fraco para a fração de areia e moderado para a fração silte e para todos os atributos granulométricos na profundidade 0,05-0,10 m, (Tabela 2). Cambardella et al. (1994) citam que as variáveis que apresentam forte dependência espacial são mais influenciadas por propriedades intrínsecas do solo, ou seja, pelos fatores de formação do solo, enquanto a dependência espacial moderada deve-se à homogeneização do solo, ao passo que aos extrínsecos atribui-se fraca dependência.

O alcance é uma medida importante no planejamento e na avaliação experimental, já que pode auxiliar na definição de procedimento de amostragem (MCBRATNEY e WEBSTER, 1986). Esse parâmetro representa a distância em que os pontos amostrais estão correlacionados. Com o conhecimento do alcance da dependência espacial, define-se o raio de amostragem, em que os atributos estudados apresentaram diferentes valores de alcance em ambas as áreas, mas com valores acima do estipulado pela malha. Os valores de alcance foram 25,2 e 35,4 m respectivamente na

profundidade 0,00-0,05 m conforme

observado na Tabela 2.

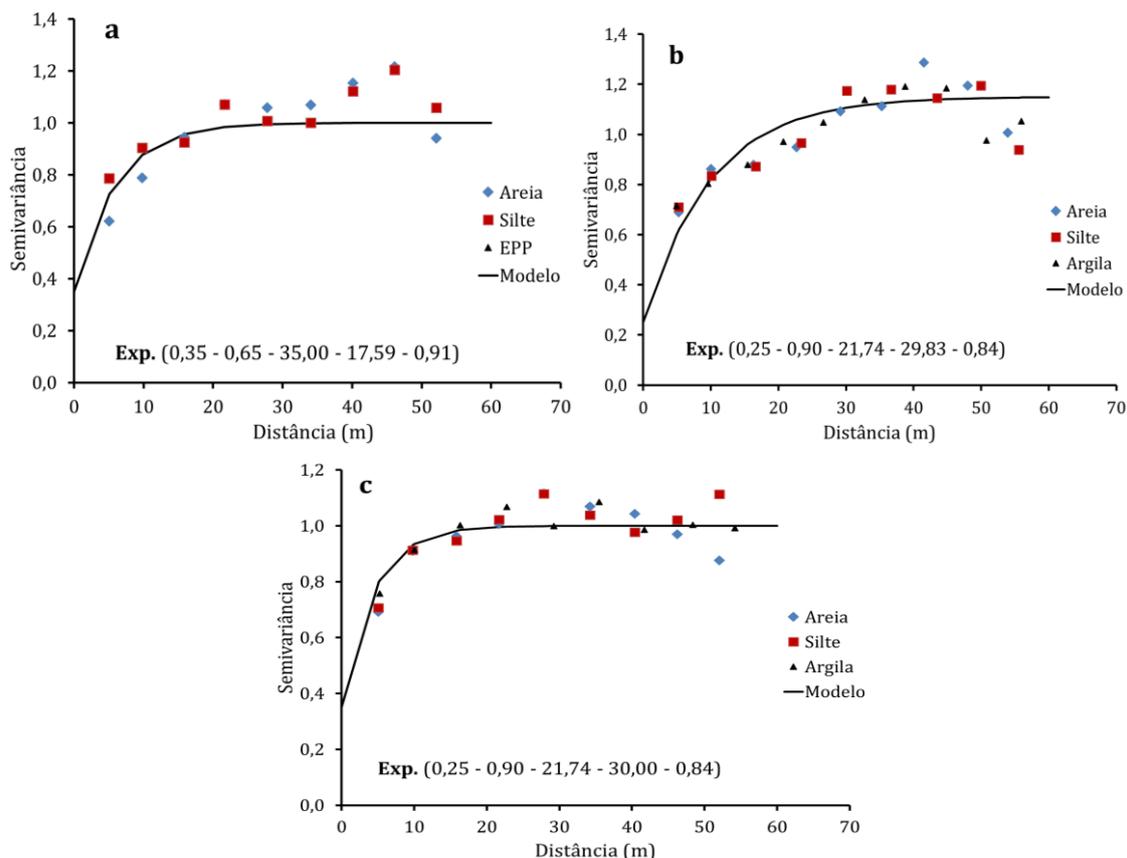


Figura 2. Parâmetros e modelos dos semivariogramas escalonados ajustados aos atributos das frações areia, silte e argila em área de Terra Preta Arqueológica sob floresta na região de Manicoré, Amazonas. **a**= camada 0,00-0,05 m; **b**= camada 0,05-0,10 m; **c**= camada 0,10-0,20 m; [Modelo (efeito pepita; patamar; GDE; alcance (m); R^2). Exp.: exponencial; GDE: grau de dependência espacial; R^2 : coeficiente de determinação.

Os valores de alcances no semivariogramas escalonados variaram entre 17,59 a 30,0 m (Figuras 2a, 2b, e 2c), destacando-se que foram superiores ao valor do espaçamento utilizado na malha de amostragem, o que indica que as amostras estão espacialmente relacionadas, permitindo que se façam interpolações (VIEIRA, 2000).

Na camada 0,05-0,10 m houve predominância do modelo de semivariograma exponencial para as frações areia, silte e argila (Figura 2b). Esses resultados assemelham-se a vários estudos que apontam os

modelos esférico e exponencial como os que melhor se ajustam à fração textural do solo (MENDES et al., 2008; CHIG et al., 2008; SILVA et al., 2010). Quanto aos valores de R^2 foram de 0,78, 0,72 e 0,79, para areia, silte e argila respectivamente, e os valores de regressão da validação cruzada foram respectivamente 0,89, 0,77 e 0,75 (Tabela 2). Estes valores estão dentro dos padrões aceitáveis aconselhados para um bom ajuste de semivariogramas, que apresentaram-se acima de 70%, indicando ótimos ajustes para a fração granulométrica.

Em relação ao GDE, foi observado comportamento semelhante ao apresentado na segunda camada, sendo da mesma forma classificado com fraco GDE para todas as frações granulométricas. Os valores do alcance apresentaram variação entre as frações granulométricas estando entre 36,6 a 46,5 m. Este comportamento indica uma mesma continuidade espacial semelhante das frações granulométricas mesmo com o aumento em profundidade. Estudando um ambiente de floresta e pastagem no município de Manicoré ao sul do Amazonas, Aquino et al. (2014) encontraram no ambiente de floresta nativa, GDE moderado na fração areia e silte, e fraco na fração argila, com valores de alcance variando entre 17,30 a 44,56 m. Já Oliveira et al. (2013) estudando diversos ambientes no município de Humaitá no sul do Amazonas encontraram nas frações granulométricas, GDE moderado e valores de alcance entre 17,21 a 88,0 m.

Na profundidade 0,10-0,20 m os atributos foram ajustados ao modelo exponencial, estando de acordo com Aquino et al. (2015) que destacam que este é um dos modelos de ajuste do semivariograma frequentemente encontrado para as propriedades do solo. Quanto ao coeficiente de determinação R^2 seus valores foram 0,71, 0,85 e 0,86 e os valores de regressão da validação cruzada foram 0,77, 0,80 e 0,85, para areia silte e argila, respectivamente. Os valores do coeficiente de determinação concordam com alguns trabalhos desenvolvidos na região sul do Amazonas por Campos et al. (2012; 2013 e 2014) e os de validação cruzada com os apresentados no trabalho de Oliveira et al. (2014).

O GDE na profundidade 0,10-0,20 m foi fraco nas frações areia, silte e argila, indicando que estes solos estão fortemente ligados a alterações ocorridas por fatores extrínsecos ao solo. Quanto ao alcance das frações granulométricas, variaram de 13,2 a 16,2 m, sendo estes valores bem menores aos apresentados pelas profundidades anteriores, indicando que nesta profundidade ocorrem maior heterogeneidade das frações granulométricas com o aumento em profundidade.

No estudo de Campos et al. (2013) em um ambiente de floresta no sul do Amazonas, foi encontrado GDE moderado para a fração areia e silte e fraco na fração argila com valores de alcance variando de 17,30 a 44,56 m. Já no trabalho de Aquino et al. (2014), onde se estudou um ambiente antropogênico, foi encontrado fraco GDE para as frações areia e argila e moderado para a fração silte, com valores de alcance variando de 19,80 a 31,20 m.

De forma geral, a maior presença da fração areia encontrada no ambiente de floresta nativa com horizonte antropogênico, está de acordo com os estudos de outros pesquisadores que indicam com frequência a maior presença desta fração no horizonte antropogênico. Trabalhos que utilizaram a geoestatística como ferramenta para verificar a variabilidade espacial das frações granulométricas nestes ambientes na região sul do Amazonas, como os de Aquino et al. (2014 e 2015), e outros trabalhos que visaram a caracterização dos atributos físicos e químicos como os de Campos et al. (2012) e Santos et al. (2012 e 2013) também foi encontrado predominância da fração areia nesse ambiente.

Conclusões

Os semivariogramas escalonados conseguiram reproduzir de forma satisfatória o comportamento espacial da textura do solo em área de TPA sob floresta nativa, porém não seguiu o mesmo padrão dos semivariogramas individuais.

O uso dos semivariogramas individuais e escalonados se mostraram úteis para o ambiente estudado, podendo estes resultados servir como base para futuros levantamentos de solo na região sul do Amazonas.

O uso do parâmetro alcance do semivariograma evidenciou-se eficiente para determinar a fração textural amostral ideal para o ambiente de floresta nativa em área de TPA.

Referências

AQUINO, R. E.; MARQUES JÚNIOR, J.; CAMPOS, M. C. C.; OLIVEIRA, I. A.; SIQUEIRA, D. S. Distribuição espacial de atributos químicos do solo em área de pastagem e floresta. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia-GO, v. 44, p. 32-41, 2014.

AQUINO, R. E.; MARQUES JÚNIOR, J.; CAMPOS, M. C. C.; OLIVEIRA, I. A.; TEIXEIRA, D. B.; CUNHA, J. M. Use of scaled semivariograms in the planning sample of soil physical properties in southern Amazonas, Brazil. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa-MG, v.39, n.1, p.21-30, 2015.

ARAUJO, M.A.; TORMENA, C.A.; SILVA, A.P. Propriedades físicas de um Latossolo Vermelho distrófico cultivado e sob mata nativa. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa-MG, v.28 p.337-345, 2003.

AZEVEDO, A.C.; DALMOLIN, R.S.D. **Solos e ambiente: uma introdução**. Santa Maria: Palotti, 100p. 2004.

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

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 soils. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v. 58, p.1501-1511, 1994.

CAMPOS, M. C. C.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T.; FREITAS, E. V. S.; Dependência espacial de atributos químicos em área cultivada com cana-de-açúcar em Pereira Barreto, SP. **Revista Ciência Agronômica**, v.38, p.350-359, 2007.

CAMPOS, M. C. C.; **Pedogeomorfologia aplicada à ambientes Amazônicos do Médio Rio Madeira**. Recife, Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal Rural de Pernambuco. 260p. 2009.

CAMPOS, M. C. C., RIBEIRO, M. R., SOUZA JUNIOR, V. S., RIBEIRO FILHO, M. R., OLIVEIRA, I. A. Interferências dos pedoambientes nos atributos do solo em uma topossequência de transição campo/floresta. **Revista Ciência Agronômica**, v. 41 p.527-535, 2010.

CAMPOS, M.C.C.; RIBEIRO, M R.; SOUZA JÚNIOR, V.S.; RIBEIRO FILHO, M.R.; SOUZA, R.V.C.C.; ALMEIDA, M.C. Características mineralógicas de Latossolos e Argissolos na região Sul do Amazonas. **Revista Acadêmica de Ciências Agrárias e Ambientes**, Curitiba-PR, v.9, n.1, p.11-18, 2011a.

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**, Campinas, v.70, n.3, p.598-609, 2011b.
- CAMPOS, M. C. C.C.; SANTOS, L. A .C.; SILVA, D. M. P.; MANTOVANELLI, B. C.; SOARES, M. D. R. Caracterização física e química de terras pretas arqueológicas e de solos não antropogênicos na região de Manicoré, Amazonas. **Revista Agro@ambiente On-line**, Boa Vista, v. 6, n. 2, p. 102-109, 2012.
- CAMPOS, M. C. C.; SOARES, M. D. R.; SANTOS, L. A. C.; OLIVEIRA, I. A.; AQUINO, R. E.; BERGAMIN, A. C. Variabilidade espacial dos atributos físicos em um Argissolo Vermelho sob floresta. **Comunicata Scientiae**, Bom Jesus, v.4, n.2, p.168-178, 2013.
- CAMPOS, M.C.C.; SOARES, M.D.R.; AQUINO, R.E.; SANTOS, L.A.C.; MANTOVANELLI, B.C. Distribuição espacial da resistência do solo à penetração e teor de água do solo em uma área de agrofloresta na região de Humaitá, AM. **Comunicata Scientiae** (Online), v. 5, p. 509-517, 2014.
- CPRM – Centro de Pesquisa de Recursos Minerais. **Hidroclimatologia, geologia, recursos minerais, geomorfologias e unidades de paisagens**. 93p. (relatório técnico) 2001.
- CORÁ, J. E. Variabilidade espacial de atributos do solo para adoção do sistema de agricultura de precisão na cultura de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 6, p. 1013-1021, 2004.
- CUNHA, T.J.F. **Ácidos Húmicos de Solos Escuros da Amazônia (Terra Preta do Índio)**. 2005. 139f. Tese de Doutorado, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, Rio de Janeiro. 2005.
- CHIG, L.A.; COUTO, E.G.; NOVAES FILHO, J.P.; RODRIGUES, L.C.M.; JOHNSON, M.S.; WEBER O.L.S. Distribuição espacial da granulometria, cor e carbono orgânico do solo ao longo de um transecto em microbacias na Amazônia meridional. **Acta Amazonica**. Manaus-AM, v.38, p.715-722, 2008.
- DIGGLE, P.J. & RIBEIRO JUNIOR, P.J. **Model-based geostatistics**. New York, Springer, 230p. 2007.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro, 212p. 1997.
- GAMMA DESIGN. GS+ for Windows Demonstration Version 5.3. Plainwell, Michigan, USA: **Gamma Design Software**, 2002.
- GERMAN, L. A. Historical contingencies in the coevolution of environment and livelihood: contributions to the debate on Amazonian Black Earth. **Geoderma**, Amsterdam, v. 111, p. 307–331, 2003.
- GOMES, N.M.; FARIA, M.A.; SILVA, A.M.; MELLO, C.R.; VIOLA, M.R. Variabilidade espacial de atributos físicos do solo associados ao uso e ocupação da paisagem. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande-PB, v.11, n.4, p.427-435, 2007.
- GONÇALVES, A.C.A.; FOLEGATTI, M.V.; MATA, J.D.V. Análises exploratória e geoestatística da variabilidade de propriedades físicas de um Argissolo Vermelho. **Acta Scientiarum**, Maringá-PR v. 23, n. 5, p. 1149-1157, 2001.

- GLASER, B. Prehistorically modified soils of central Amazonia: a model for sustainable agriculture in the twenty-first century. **Philosophical Transactions the Royal Society**, v. 362, p.187-196, 2007.
- GREGO, C.L.; VIEIRA, S.R. Variabilidade espacial de propriedades físicas do solo em uma parcela experimental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.29, n.2, p.169- 177, 2005.
- GRIGOLON, G. B. **Curvas de retenção de água no solo determinada a partir de um número mínimo de pares de umidades e tensão na câmara de Richards**. 82f. 2013. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem). Universidade de São Paulo - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" - Piracicaba, SP. 2013.
- ISAAKS, E.H. & SRIVASTAVA, R.M. **An introduction to applied geostatistics**. New York: Oxford University Press, p. 561, 1989.
- KAMPF, N.; KERN, D.C. O solo como registro da ocupação humana pré-histórica na Amazônia. In: VIDALTORRADO, P.; ALLEONI, L. R. F.; COOPER, M.; SILVA, A.P. **Tópicos em ciência do solo**. v.4, p.277-320, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005.
- KLEIN, V. A.; BASEGGIO, M.; MADALOSSO, T.; MARCOLIN, C. D. Textura do solo e a estimativa do teor de água no ponto de murcha permanente com psicrômetro. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.40, n.7, p.1550-1556, 2010.
- LEÃO, M. G. A.; MARQUES JÚNIOR, J.; SOUZA, Z. M.; PEREIRA, G. T. :Variabilidade espacial da textura de um latossolo sob cultivo de citros. **Ciências Agrotécnica**, Lavras, v. 34, n. 1, p. 121-131, jan./fev., 2010.
- LEÃO, M. G. A.; MARQUES JUNIOR, J.; SOUZA, Z. M.; SIQUEIRA, D.; PEREIRA, G. T. Terrain forms and spatial variability of soil properties in an area cultivated with citrus. **Engenharia Agrícola**, v. 31, n. 4, p. 644-651, 2011.
- 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**, v. 39, p. 19-27, 2008.
- MINITAB Release 14.1, **Statistical Software**. US/ Canadá, 2000.
- MONTANARI, R.; PEREIRA, G. T.; MARQUES JÚNIOR, J.; SOUZA, Z.M.; PAZETO, R. J.; CAMARGO, L. A. Variabilidade espacial de atributos químicos em latossolo e Argissolos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.38, n.5, p.1266-1272, 2008.
- MOTOMIYA, A. V. A. Variabilidade espacial de atributos químicos do solo e produtividade do algodoeiro. **Revista Agrarian**, Dourados, v. 4, n. 1, p. 1-9, 2011.
- McBRATNEY, A.B.; WEBSTER, R. Choosing functions for semi-variograms of soil properties and fitting them to sampling estimates. **Journal of Soil Science**, Oxford, v.37, n.4, p.617-639, 1986.
- OLIVEIRA, I. A.; CAMPOS, M. C. C.; SOARES, M. D. R.; AQUINO, R. E.; MARQUES JUNIOR, 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**, Viçosa, v. 37, p. 1103-1112, 2013.
- OLIVEIRA, I. A.; MARQUES JR, J.CAMPOS, M. C. C. AQUINO, R.

- E.;SIQUEIRA, D. S.; FREITAS, L. Spatial variability and sampling density of chemical attributes in arch a ecological black earth and native forest soil in Manicoré, AM. **Floresta (Online)**, Curitiba, v. 44, p. 735-746, 2014.
- RIBEIRO JÚNIOR, P. J. **Métodos geoestatísticos no estudo da variabilidade espacial de parâmetros do solo**. 1995. 99f. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 1995.
- ROBERTSON, G.P. **GS+ geostatistics for the environmental sciences: GS+ user's guide**. Plainwell: Gamma Design Software, p.152, 1998.
- ROSA FILHO, G., CARVALHO, M.P., MONTANARI, R., SILVA, J.M., SIQUEIRA, G.M., ZAMBIANCO, E.C. Variabilidade espacial de propriedades dendrométricas do eucalipto e de atributos físicos de um Latossolo Vermelho. **Bragantia** 70: 439-446, 2011.
- SANCHEZ, E. **Propriedades físicas do solo e produtividade de soja em sucessão a plantas de cobertura de inverno**. 48f. 2012. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) Universidade Estadual do Centro-Oeste. Guarapuava, PR. 2012.
- SANTOS, L. A. C.; CAMPOS, M. C. C SILVA, D. M. P.; MANTOVANELLI, B. C.; SOARES, M. D. R. Caracterização física e química de terras pretas arqueológicas e de solos não antropogênicos na região de Manicoré, Amazonas. **Agro@ambiente On-line**. Boa Vista, v. 6, n. 2, p. 102-109, 2012.
- 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 e gênese de terras pretas arqueológicas no sul do Estado do Amazonas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 37, p. 825-836, 2013.
- SILVA, M. O.; FREIRE, M. B. G. S.; MENDES, A. M. S.; FREIRE, F. J.; CAMPOS, M. C. C.; AMORIM, L. B. Discriminação de diferentes classes de solos irrigados com águas salinas, na região de Mossoró (RN), com o uso de análise multivariada. **Ambiência**, Guarapuava, v. 6, n. 2, p. 261-270, 2010.
- SIQUEIRA, G. M.; VIEIRA, S. R.; DECHEN, S. C. F. Variabilidade espacial da densidade e da porosidade de um Latossolo Vermelho eutroférico sob semeadura direta por vinte anos. **Bragantia**, v. 68, n. 2, p. 751- 759, 2009.
- SOUZA, Z.M. **Variabilidade especial e atributos de um Latossolo sob diferentes formas de relevo**. 153 f. (Tese de Doutorado). Universidade Estadual Paulista. Jaboticabal, 2004.
- 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. (Eds.). **Tópicos em Ciência do Solo Campinas**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 1-54, 2000.
- WOJCIECHOWSKI, J.C.; CHUMACHER, M.V.; PIRES, C.A.F.; MADRUGA, P. R.A.; KILCA, R.V.; BRUN, E.J.; SILVA, C.R.S.; VACCARO, S.; RONDON NETO, R.M. Geoestatística aplicada ao estudo das características físico-químicas do solo em áreas de floresta estacional decidual. **Ciência Florestal**, Santa Maria-RS, v.19, n.4 p. 383-391, 2009.
- ZEE - ZONEAMENTO ECOLÓGICO ECONÔMICO DO SULSUDESTE DO AMAZONAS, AM. **Zoneamento Ecológico Econômico do Sul-**

Sudeste do Amazonas. IPAAM, p. 53,
2008.