

## **VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS FÍSICOS DE SOLO SOB CASTANHAL NATIVO NA FLORESTA NACIONAL DO TAPAJÓS**

QUEZIA LEANDRO DE MOURA GUERREIRO<sup>1</sup>, RAIMUNDO COSME DE OLIVEIRA JÚNIOR<sup>2\*</sup>,  
MARIA DE LOURDES PINHEIRO RUIVO<sup>3</sup>, BRENDA LOHANA TEIXEIRA DE MORAES<sup>4</sup>,  
TATIANE ALMEIDA LEMOS<sup>5</sup>

<sup>1</sup>MS.c. Professor permanente, ICTA/UFOPA, Santarém-PA, queziamoura@hotmail.com;

<sup>2</sup>Dr. Pesquisador, Embrapa, Santarém-PA, raimundo.oliveira-junior@embrapa.br;

<sup>3</sup>Dra. Pesquisadora, MPEG, Belém-PA, ruivo@museu-goeldi.br;

<sup>4</sup>Discente do BESA, ICTA/UFOPA, Santarém-PA, brenda\_lohanastm@hotmail.com

<sup>5</sup>Discente do BGA, ICTA/UFOPA, Santarém-PA, tati\_5almeida@hotmail.com

Apresentado no

Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC'2017

8 a 11 de agosto de 2017 – Belém-PA, Brasil

**RESUMO:** Este trabalho avaliou a dependência espacial dos atributos físicos do solo em área de castanhal nativo, a partir de uma análise Geoestatística. As amostras de solos foram coletadas de 30 em 30 m na linha, em todas as linhas da parcela do projeto MapCast, totalizando 60 amostras. Os métodos e cálculos para determinar as variáveis físico-químicas estudadas foram descritos pelo Manual de análise do solo da Embrapa. As análises estatísticas e geoestatísticas foram realizadas no ambiente computacional R, versão 3.2.2. Houve predominância do ajuste ao modelo de semivariograma gaussiano, seguido do modelo esférico. As variáveis que melhor apresentaram relação espacial com a ocorrência de castanheiras foram o silte, argila e macroporosidade.

**PALAVRAS-CHAVE:** Geoestatística, solo, atributos físicos, castanheira-do-brasil.

### **SPATIAL VARIABILITY OF PHYSICAL ATTRIBUTES OF SOIL UNDER NATIVE CASTANHAL IN THE NATIONAL FOREST OF TAPAJÓS**

**ABSTRACT:** This work evaluated the spatial dependence of soil physical attributes on native chestnut area, based on a Geostatistics analysis. Soil samples were collected every 30 m in the line, in all lines of the MapCast project, totaling 60 samples. The methods and calculations to determine the physico-chemical variables studied were described by the Embrapa Manual of soil analysis. The statistical and geostatistical analyzes were carried out in the computational environment R, version 3.2.2. There was a predominance of fit to the Gaussian semivariogram model, followed by the spherical model. The variables that presented the best spatial relationship with the occurrence of Brazil nut trees were silt, clay and macroporosity.

**KEY WORDS:** Geostatistics, soil, physical attributes, Brazil nut.

### **INTRODUÇÃO**

A castanheira-do-brasil é uma árvore nativa da Amazônia que tem por habitat as terras firmes. Sua amêndoa ou castanha possui alto valor alimentar e é considerada um dos principais produtos extrativistas da pauta de exportação dessa região (Salomão, 2014). É deficiente o número de estudo dos solos sob áreas com adensamento dessa espécie, denominadas (castanhal nativo). Considerando que os atributos físicos do solo são fatores ambientais que influenciam diretamente no desenvolvimento dos vegetais (Brady & Weil, 2013), se faz relevante o estudo dos mesmos, especialmente em ambientes florestais que fomentam o desenvolvimento local, como é o caso das áreas onde ocorre a extração da castanha-do-brasil.

A necessidade de novas pesquisas é mais latente quando se pondera que os atributos edáficos apresentam variação espacial em poucos metros, o que gera a necessidade de usar técnicas mais modernas, como a geoestatísticas, em tais abordagens. A Geoestatística é a ferramenta estatística utilizada para esse tipo de estudo, uma vez que considera as características estruturais e aleatórias de

uma variável espacialmente distribuída (Moolman & Van Huyssteen, 1989). O conhecimento da dependência espacial de uma variável e sua visualização no espaço facilita a indicação de alternativas de manejo mais adequadas para o desenvolvimento das plantas (Silva et. al., 2003).

Este trabalho avaliou a dependência espacial dos atributos físicos do solo: textura, densidade, porosidade total, macroporosidade e microporosidade a partir de uma análise Geoestatística em área de castanhal nativo na Floresta Nacional (FLONA) do Tapajós, estado do Pará.

## MATERIAIS E MÉTODOS

O local de estudo consiste-se em uma parcela permanente de 300 m X 300 m do projeto MapCast, com linhas abertas a cada 50 m (totalizando 6 linhas). A parcela foi instalada em uma área de floresta nativa com adensamento de castanheira-do-brasil (castanhal nativo), onde todos os indivíduos da espécie foram georreferenciados. Este fragmento florestal está dentro dos limites territoriais da FLONA do Tapajós, estado do Pará. O Clima da região, de acordo com a classificação de Köppen, é do Tipo Ami (IBAMA, 2004).

A área da FLONA do Tapajós foi formada na região da unidade estratigráfica denominada Formação Barreiras, composta por rochas de arenitos finos e folhelos cinza calcífero, sendo constituída principalmente por sedimentos continentais vermelhos e formados por intercalações de arenitos e argilitos com conglomerados subordinados (Damasceno, 2001 apud IBAMA, 2004). São encontrados Latossolo Amarelo Distrófico, Argissolos Vermelho-Amarelo, Plintossolos Pétricos Concessionários e Neossolo Quartzarênico Órtico. As classes Argissolos Vermelho-Amarelo e Latossolo Amarelo Distrófico ocupam, respectivamente, 37,1% e 25,34% da FLONA. (Espírito-Santo et. al., 2005). A vegetação da região é classificada como Floresta Ombrófila Densa (Veloso et. al., 1991), com abundância de indivíduos arbóreos de grande porte e de lianas lenhosas, palmeiras e epífitas.

As amostras de solos foram coletadas de 30 em 30 m na linha, em todas as linhas da grade da área de estudo, totalizando 60 amostras. Todos os pontos foram georreferenciados. Para as determinações físicas foram coletadas amostras nas profundidades de 0-15, de 15-30, 30-45 e 45-60 cm, visando às variáveis densidade do solo, densidade das partículas e granulometria. Para a análise de agregados e determinação da curva de retenção de umidade, foram utilizadas amostras das duas camadas superficiais. Os métodos e cálculos para determinar as variáveis estudadas foram descritos por Embrapa (2005).

Foi realizada a análise exploratória dos dados para verificar as medidas de tendência central e de dispersão, visando melhorar a eficiência da análise espacial através da identificação de valores discrepantes e da remoção de *Outlier*. A normalidade das variáveis foi verificada pelo teste estatístico de normalidade Shapiro-Wilk, ao nível de significância de 5%. Para descrever e modelar os padrões espaciais foi utilizada a análise Geoestatística com a obtenção e o ajuste do semivariograma, por meio da equação descrita por Isaaks & Srivastava (1989) e Vieira (2000). Ao semivariograma experimental gerado foram ajustados os modelos teóricos que forneceram os parâmetros Efeito pepita, Patamar e Alcance. Estes parâmetros foram estimados pelos métodos de ajuste dos modelos teóricos, com o método dos mínimos quadrados ordinários (OLS – Ordinary Least Square) e com o método dos quadrados mínimos ponderados (WLS – Weighted Least Square). Os modelos teóricos estatísticos ajustados para comparação foram o esférico, o exponencial e o gaussiano, sendo as suas equações descritas por Isaaks & Srivastava (1989) e Vieira (2000).

A partir de cada um dos modelos ajustados, realizou-se a interpolação por krigagem Simples e foi gerado o mapeamento de todas as variáveis do solo na área de ocorrência da castanheira-do-brasil; a krigagem Simples implicitamente avaliou a média no espaço amostral por vizinhança e para tanto se utilizou as equações descritas por Isaaks & Srivastava (1989). Na análise do Índice de Dependência Espacial (IDE) das variáveis, utilizou-se a classificação de Cambardella et al. (1994) que propuseram os seguintes intervalos para avaliar o índice de dependência espacial do fenômeno: valores menores que 25 % são considerados dependência espacial forte, entre 25 e 75 % indicam dependência espacial moderada e valores maiores que 75 % determinam dependência espacial fraca

Para a definição do melhor modelo utilizou-se a técnica de validação cruzada. Os erros dos valores observados e preditos foram analisados através das estatísticas: erro médio (ME – Mean Error), erro quadrático médio (RMSS – Root Mean Square Standardized) e erro absoluto (AE –

Absolut Error) descritos por Vieira (2000). As análises foram realizadas no ambiente computacional R versão 3.2.2.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O coeficiente de variação (CV) obtido para as variáveis físicas das amostras de solo foram considerados baixos ( $CV < 12\%$ ), conforme os intervalos propostos por Warrick & Nielsen (1980), exceto para silte e macroporosidade, que apresentaram variação moderada ( $12\% < CV < 60\%$ ) (Tabela 1). Para Carvalho et al. (2003), é comum a variabilidade dos atributos do solo apresentar valores moderados a alto, pois são muitos fatores ambientais que interferem na dinâmica dos mesmos.

Tabela 1. Estatística descritiva e resultados da análise Geoestatística dos atributos físico de solos sob castanhais nativo na FLONA do Tapajós, Pará.

ESTATÍSTICA DESCRITIVA				ANÁLISE GEOESTATÍSTICA				
Variáveis	Média	Desvio Padrão	CV (%)	Modelo	Efeito Pepita	Patamar	Alcance Prático (m)	IDE (%)
<b>Areia total</b> (g.kg <sup>-1</sup> )	372.4	23.2	11.1	Esférico	77.82	544.72	115.09	14.3
<b>Silte</b> (g.kg <sup>-1</sup> )	102.7	16.9	17.3	Gaussiano	180	304	71.71	59.2
<b>Argila</b> (g.kg <sup>-1</sup> )	524.9	27.2	7.4	Esférico	240.56	740.66	92.12	32.5
<b>PT</b> (g.cm <sup>-3</sup> )	0.559	0.04	7.3	Gaussiano	0.0009	0.00177	111.31	50.9
<b>Macrop.</b> (g.cm <sup>-3</sup> )	0.208	0.03	23.5	Gaussiano	0.0005	0.00101	132.02	49.5
<b>Microp.</b> (g.cm <sup>-3</sup> )	0.352	0.04	10.2	Gaussiano	0.001	0.00144	48	71.4

Legenda: PT – Porosidade total; Macrop. - Macro porosidade; Microp. – Microporosidade; CC – Capacidade de campo; PMP- Ponto de murcha permanente; IDE- Índice de Dependência Espacial; CV – Coeficiente de Variação; m – metros.

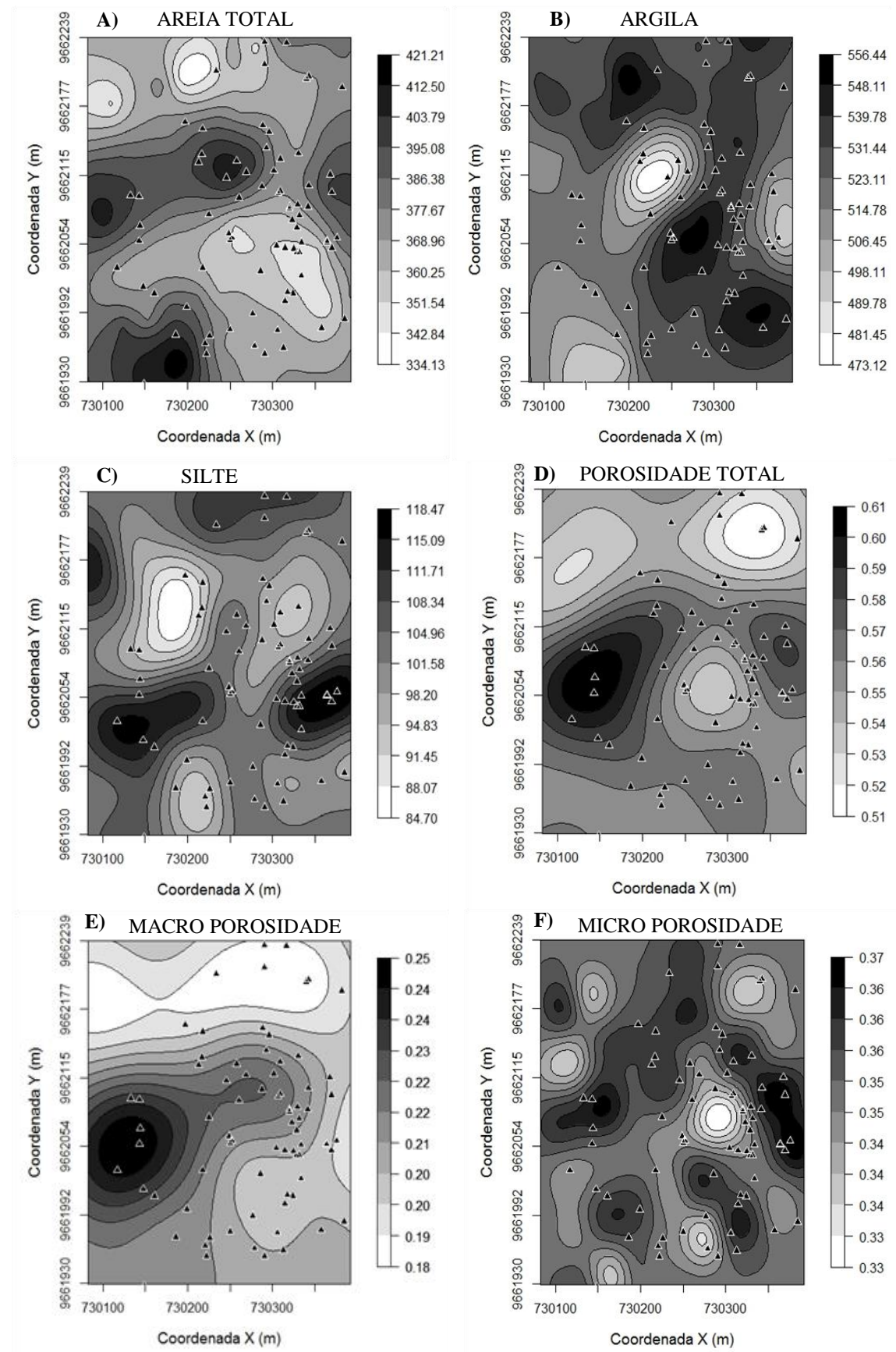
A variável que apresentou efeito pepita mais expressivo foi a microporosidade (Tabela 1). Cerri et al. (2004), estudando as variáveis de um solo no estado de Rondônia, adotou amostragens com distância entre os pontos de 25 m e também obteve efeito pepita elevado na maioria das variáveis. Isso indica que existe alta variabilidade dentro de um pequeno espaço, em distância inferior à praticada nas coletas.

Houve predominância do ajuste ao modelo de semivariograma gaussiano, seguido do modelo esférico (Tabela 1). O modelo gaussiano foi o mais ocorrente no trabalho de Machado et al. (2007) que estudavam variáveis físicas de Latossolo Vermelho. Esse modelo tem alcance longo e seu patamar apresenta-se semelhante ao modelo exponencial; é um modelo transitivo, apropriado para modelar fenômenos contínuos (Isaaks & Srivastava, 1989).

Conforme os intervalos estabelecidos por Cambardella et al. (1994), as variáveis físicas apresentaram dependência espacial moderada, exceto a areia total que obteve valor de 14.3%, sendo enquadrada na classificação de forte. A dependência espacial forte demonstra que os semivariogramas explicam a maior parte da variância dos dados experimentais com confiabilidade na estimativa e geralmente são mais influenciadas pelos fatores de formação do solo. Os maiores alcances para as variáveis físicas foram registrados para macroporosidade (132.02 metros), areia total (115.09 metros) e porosidade total (111.31 metros) e o menor alcance (48 metros) para microporosidade (Tabela 1). O alcance é importante no estudo do semivariograma, pois corresponde à distância máxima (zona de influência) em que uma variável está correlacionada espacialmente, ou seja, estabelece a distância máxima até onde o valor de uma variável possui relação de dependência espacial com seus vizinhos (Santos et al., 2012).

Por meio da Krigagem Simples (Figura 1) pode-se estimar a concentração dos nutrientes estudados para toda a área da grade amostral. O adensamento de castanheiras-do-brasil foi identificado nas áreas com maiores valores para as variáveis silte (Figura 1C) e argila (Figura 1B) e menores valores para macroporosidade (Figura 1E). A predominância de indivíduos na parte mais argilosa da área corrobora com os estudos de Muller (1995) e Espirito-Santo et al. (2005). Os resultados destes autores indicam que essa espécie apresenta melhor desempenho em solos com textura argilosa a muito argilosa, sendo os solos de textura arenosos pouco adequados para propiciar todo o potencial de crescimento da espécie.

Figura 1. Mapas obtidos pelo processo de krigagem Simples para as variáveis: A) areia total, B) argila, C) silte, D) porosidade total, E) macroporosidade e F) microporosidade. O símbolo em forma de triângulo representa as castanheiras-do-brasil georreferenciadas na área de estudo.



## CONCLUSÕES

As variáveis que melhor apresentaram relação espacial com a ocorrência de castanheiras-do-brasil foram o silte e a argila.

Os mapas de Krigagem Simples gerados podem indicar os locais que as amostragens de solo e ações de manejo devem se concentrar em futuros trabalhos na área de castanhal nativo da FLONA do Tapajós.

## REFERÊNCIAS

- Brady, N. C.; Weil, R. R. Elementos da natureza e propriedades dos solos. 3.ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. 704p.
- 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 Science Society of America Journal*, v.58, n.5, p.1501-1511, 1994.
- Carvalho, M. P.; Takeda, E. Y.; Freddi, O. S. Variabilidade espacial de atributos de um solo sob videira em Vitória Brasil (SP). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 27, n.4, p. 695-703, 2003.
- Cerri, C. E. P.; Bernoux, M.; Chaplot, V.; Volkoff, B.; Victoria, R. L.; Melillo, J. M.; Paustian, K.; Cerri, C. C. Assessment of soil property spatial variation in an Amazon pasture: basis for selecting an agronomic experimental area. *Geoderma*, v.123, p.51-68, 2004.
- EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Manual de laboratório: solo, água, nutrição vegetal, nutrição animal e alimentos. 1 ed. São Paulo: Embrapa Pecuária Sudeste, 2005. 313 p.
- Espírito-Santo, F. D. B.; Shimabukuro, Y. E.; Oliveira, L. E. E Aragão, F. C. De; Machado, E. L. M. Análise da composição florística e fitossociológica da Floresta Nacional do Tapajós com o apoio geográfico de imagens de satélites. *Acta Amazônica*, v.35, n.2, p.155- 173, 2005.
- IBAMA, Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. Floresta Nacional do Tapajós – Plano de Manejo. 1 ed. Brasília: IBAMA, 2004. 373p.
- Isaaks, E. H.; Srivastava, R. M. The introduction to applied geostatistics. 1 ed. New York: Oxford University Press, 1989.
- Machado, L. de O.; Lana, Â. M. Q.; Lana, R. M. Q.; Guimarães, E. C.; Ferreira, C. V. Variabilidade espacial de atributos químicos do solo em áreas sob sistema plantio convencional. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.31, p.591-599, 2007.
- Moolman, J. H.; Van Huyssteen, L. A geostatistical analysis of the penetrometer soil strength of a deep ploughed soil. *Soil & Tillage Research*, v. 15, p.11-24, 1989.
- Müller, C. H.; Figueirêdo, F. J. C.; Kato, A. K.; Carvalho, J. E. U.; Stein, R. L. B.; Silva, A. De B. A cultura da Castanha-do-Brasil. Belém: EMBRAPA, 1995. 65 p
- Salomão, R. de P. A castanheira: história natural e importância socioeconômica. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciência Natural*, v.9, n.2, p.259-266, 2014.
- Santos, K. S.; Montenegro, A. A. A.; Almeida, B. G. De; Montenegro, S. M. G. L.; Andrade, T. Da S.; Fontes Júnior, R. V. De P. Variabilidade espacial de atributos físicos em solos de vale aluvial no semiárido de Pernambuco. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.16, n.8, p.828–835, 2012.
- Silva, V. R.; Reichert, J. M.; Storck, L.; Feijó, S. Variabilidade espacial das características químicas do solo e produtividade de milho em um Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico arênico. *Revista Brasileira de Ciência Solo*, v.27, n.6, p.1013-1020, 2003.
- Veloso, H. P.; Rangel Filho, A. L. R.; Lima, J. C. A. Classificação da vegetação brasileira, adaptada a um sistema universal. Rio de Janeiro, IBGE, 1991. 123p.
- Vieira, S. R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: Novaes, R. S.; Alvarez, V. V. H.; Schaerer, C. E. G. R. Tópicos em Ciências do Solo. Viçosa: SBCS, 2000. Cap.1, p.1-54.
- Warrick, A. W.; Nielsen, D. R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: Hillel, D. Applications of soil physics. New York, 1980. Cap.2, p.319-344.