

## Variabilidade espacial dos atributos físicos em um Argissolo Vermelho sob floresta

Milton César Costa Campos<sup>1\*</sup>, Marcelo Dayron Rodrigues Soares<sup>2</sup>,  
Luis Antonio Coutrim Santos<sup>3</sup>, Ivanildo Amorim Oliveira<sup>4</sup>,  
Renato Eleoterio de Aquino<sup>4</sup>, Anderson Cristian Bergamin<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal do Amazonas, Manaus, AM, Brasil

<sup>2</sup>Universidade Federal do Acre, Rio Branco, AC, Brasil

<sup>3</sup>Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, PE, Brasil

<sup>4</sup>Universidade Estadual Paulista, São Paulo, Brasil

\*Autor correspondente, e-mail: mcesarsolos@gmail.com

### Resumo

O presente trabalho teve como objetivo avaliar a variabilidade espacial dos atributos físicos em um Argissolo Vermelho sob floresta na região de Manicoré, AM. Foi realizado um mapeamento de uma área sob floresta nativa delimitando-se dentro da área uma subárea de 70 x 70 m. Nesta subárea foram coletadas amostras de solos numa grade amostral regular de 10 x 10 metros nas profundidades de 0,0 – 0,20 e 0,40 – 0,60 m, totalizando 128 pontos amostrais. Foram realizadas análises físicas (textura, densidade do solo e de partículas, macroporosidade, microporosidade, porosidade total e estabilidade dos agregados em água). Com exceção do DMG, DMP e classe de agregados <1,00 mm todos os atributos físicos apresentaram estrutura de dependência espacial variando de moderada a fraca. Os valores de alcance foram superiores ao estabelecido na malha (12,00 a 45,56 m), tornando-se base para futuros estudos em área de floresta na Amazônia. Os atributos físicos apresentaram mapas de krigagem com diferente comportamento espacial, havendo, no entanto relações entre estes atributos, evidenciando assim a eficiência desta ferramenta em área de floresta.

**Palavras-chave:** geoestatística, dependência espacial, floresta nativa

### Spatial dependence of soil physical attributes in of Alfisol forest

#### Abstract

This study aim to evaluate the spatial variability of soil physical attributes in of Alfisol forest in Manicoré region, AM. The mapping of an agroforestry growing area of 70x70m was made using a regular grid sampling of 10 x 10m. In each grid , soil samples were collected at 0.0 – 0.2 and 0,40 – 0,60 m depth, with a total of 128 sample points. Physical analyses were made (texture, soil bulk and particles density, macro and microporosity, total porosity and aggregates stability in water).With the exception of DMG, DMP and class aggregates <1.00 mm had all the physical attributes spatial dependence structure ranging from moderate to weak. Values were above the range established in the mesh (12.00 to 45.56 m), enabling to make a basis for future studies in forest area. The physical attributes presented in kriging maps different spatial behavior, however there are relationships between these attributes shown by geostatistics proving that this is effective tool for studies in forest area.

**Keywords:** geostatistics, spatial dependence, native forest

## Introdução

Historicamente, as áreas de maior concentração de desmatamento na Amazônia estão localizadas ao longo do arco do desmatamento, ao qual faz parte a região sul do Amazonas (Becker, 2005). O desmatamento nessa região é um fenômeno atribuído a diversos fatores, tais como exploração agrícola, pecuária e principalmente florestal (Cohen et al., 2007). Neste sentido, à medida que o uso e a ocupação da área ocorrem sem a observância de critérios técnico, há também a crescente degradação dos recursos naturais (Lima et al., 2009).

Nesse contexto, ambientes florestais, notadamente aqueles sob solos de baixa fertilidade natural (Loureiro, 2002; Cardoso et al., 2009), como é o caso da maioria dos ambientes amazônicos, as alterações dos ecossistemas naturais, por meio da retirada da cobertura vegetal, promove o rompimento do equilíbrio natural do ecossistema, ocorrendo modificações nos atributos químicos, físicos e biológicos do solo (Campos et al., 2009)

Assim o conhecimento da distribuição espacial dos atributos do solo em áreas florestais é essencial para o manejo dos recursos naturais (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). Além disso, podem se tornar mecanismos para a proposição de práticas de gestão das atividades agrícolas adequadas em áreas já manejadas e principalmente torna-se instrumento de gestão para as Unidades de Conservação, ou seja, instrumento para subsidiar a tomada de decisões (Chig et al., 2008; Campos et al., 2010) tendo em vista que trabalhos com o uso da ferramenta geoestatística são poucos na região, tornando-se raras informações em áreas de florestas.

O estudo da variabilidade espacial por meio da geoestatística possibilita a interpretação dos resultados com base na estrutura da variabilidade natural dos atributos avaliados, considerando a dependência espacial dentro do intervalo de amostragem. Estudos têm demonstrado que a variabilidade espacial de atributos do solo não ocorrem ao acaso,

mas apresentam correlação ou dependência espacial (Cambardella et al., 1994; Vieira, 2000; Silva et al., 2004; Grego & Vieira, 2005; Souza et al., 2006a; Montanari et al., 2012).

Em relação aos atributos físicos do solo, a maioria dos estudos tem demonstrado uma ampla diversidade de resultados, com variação entre os locais estudados, com ou sem continuidade espacial, principalmente associada às características intrínsecas dos solos, mas podendo também sofrer influências do sistema de manejo (Grego & Vieira, 2005). Por outro lado, os atributos físicos do solo são bons indicadores de qualidade e permitem o monitoramento de áreas que sofreram ou não algum tipo de interferência.

O objetivo deste trabalho foi investigar a variabilidade espacial dos atributos físicos em um Argissolo Vermelho sob floresta na região de Manicoré-AM.

## Material e Métodos

A área de estudo localiza-se na região de Manicoré, sul do Estado do Amazonas, estando situada sob as coordenadas geográficas de 7° 30' 24" S e 63° 04' 56" W. 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 (4 meses) (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%.

Foi realizado o mapeamento de uma área com sistema agroflorestal estabelecendo uma malha de 10 x 10 m numa sub-área de 70x70 m. Os solos foram amostrados nos pontos de cruzamento da malha, com espaçamentos regulares de 10 em 10 metros, perfazendo um total de 128 pontos amostrais. Esses pontos foram georreferenciados (Figura 1) com um equipamento de GPS Garmin Etrex com acurácia de 2,00 m (South American '69). Foram coletadas amostras de solos nas profundidades 0,0-0,20 e 0,40-0,60 m, totalizando 128 amostras de solo.

As coletas de solo com estrutura preservada para as análises físicas foram realizadas por meio de anel volumétrico com

0,045 m de altura e 0,045 m de diâmetro, na profundidade de: 0,0–0,20 m.

A análise granulométrica foi realizada pelo método da pipeta, utilizando uma solução de NaOH 0,1 N como dispersante químico e agitação mecânica em aparato de alta

rotação por 15 minutos, seguindo metodologia proposta pela Embrapa (1997). A fração argila foi separada por sedimentação, as areias grossa e fina por tamisação e o silte foi calculado por diferença.

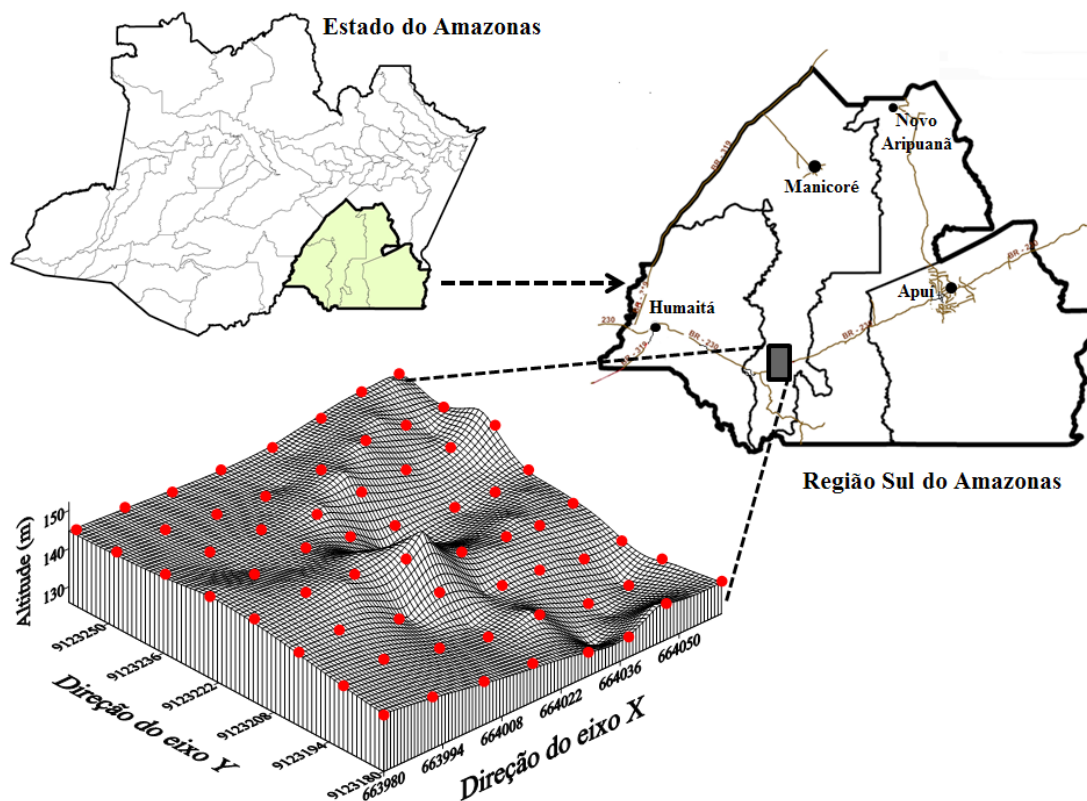


Figura 1. Modelo de Elevação Digital e pontos de coleta de amostras de solo na área de floresta na região de Manicoré, AM.

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

Em cada ponto amostral, foram coletadas amostras com estrutura preservada na profundidade 0,0–0,20 m para determinação da estabilidade dos agregados do solo. As amostras foram levemente destorroadas, de forma manual e passadas em peneira de 9,51 mm de diâmetro de malha e retidos na peneira de 4,76 mm, secadas à sombra, para as análises relativas à estabilidade de agregados. A separação e estabilidade dos agregados foram determinadas segundo Kemper & Chepil (1965), com modificações, nas seguintes classes de diâmetro: >2,0; 2,0–1,0 e < 1,00 mm. Os agregados foram colocados em contato com a água sobre a peneira de 2,0 mm e agitação por quinze minutos, a massa do material retido em cada peneira, foi colocada em estufa a 105°C. Os resultados foram expressos em percentual

dos agregados retidos nas peneiras >2,0; 2,0-1,0 e < 1,0 mm, sendo determinado o diâmetro médio geométrico (DMG) e diâmetro médio ponderado (DMP).

Primeiramente, os dados foram submetidos à análise exploratória dos dados, calculando-se a média, mediana, desvio padrão, variância, coeficiente de variação, máximo, mínimo, coeficiente de assimetria e de curtose. A hipótese de normalidade dos dados foi testada pelo teste de Kolmogorov-Smirnov a 5 % de probabilidade, no software estatístico Minitab 14 (Minitab, 2000).

Para a caracterização da variabilidade espacial, utilizou-se a análise geoestatística (Vieira et al., 1983; Isaaks & Srivastava, 1989). Sob teoria da hipótese intrínseca o semivariograma experimental foi estimado pela Equação:

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

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 definidos os coeficientes do modelo teórico para o semivariograma (o efeito pepita,  $C_0$ ; variância estrutural,  $C_1$ ; patamar,  $C_0 + C_1$ ; e o alcance,  $a$ ). O efeito pepita é o valor da semivariância para distância zero e representa o componente da variação ao acaso; o patamar é o valor da semivariância em que a curva estabiliza sobre um valor constante; o alcance é à distância da origem até onde o patamar atinge valores estáveis, expressando a distância além da qual as amostras não são espacialmente correlacionadas (Vieira et al., 1983; Tringmar et al., 1985).

Na determinação da existência ou não da dependência espacial, utilizou-se o exame de semivariogramas, por meio do programa GS+ (Robertson, 1998). Em caso de dúvida entre mais de um modelo para o mesmo semivariograma, considerou-se o melhor  $R^2$  (coeficiente de determinação). 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%.

Na elaboração dos mapas de distribuição espacial das variáveis foi utilizado o programa Surfer 8 (Sufer - Golden Software Inc., 2002).

## Resultados e Discussão

Os resultados da estatística descritiva para os atributos físicos do solo estudados indicaram ajuste a uma distribuição normal e estão apresentados nas Tabelas 1 e 2. Na Tabela 1 encontram-se os valores dos atributos granulométricos, verificou-se que os valores de assimetria e curtose apresentaram valores próximos de zero com exceção das variáveis areia e silte na profundidade 0,0-0,20 m e areia na profundidade 0,40-0,60 m.

Segundo Marques Júnior et al. (2008) quando uma distribuição é simétrica, os valores da média e mediana são coincidentes. Pode-se observar que os valores de média e mediana apresentam valores distantes nas mesmas variáveis que se encontram com valores de assimetria e curtose distantes do valor central zero, e as demais variáveis se encontram com os valores de média e mediana próximos o que evidencia distribuição simétrica. Desta maneira estas variáveis indicam que estão adequadas para o uso da geoestatística. Leão et al. (2010) também encontrou distribuições normais estudando a variabilidade da textura de um Latossolo sob cultivo de citrus.

Somente as variáveis areia e argila na profundidade 0,40-0,60m apresentaram normalidade (Tabela 1) pelo teste de Kolmogorov-Smirnov. Em estudos de Campos et al. (2007) e Corá et al. (2004) sobre áreas de cana-de-açúcar não foi encontrado normalidade para estas variáveis aqui estudadas. Para Isaaks & Srivastava (1989) mais importante que a normalidade dos dados é que os semivariogramas apresentam patamares bem definidos e, que a distribuição não apresente caudas muito alongadas, para não comprometer as estimativas da krigagem.

**Tabela 1.** Estatística descritiva dos atributos granulométricos (silte, argila e areia) nas profundidades 0,0 – 0,20 m e 0,40 – 0,60 m em um Argissolo Vermelho sob floresta nativa na região de Manicoré, AM.

Estatística	Atributos Granulométricos					
	Areia	Silte	Argila	Areia	Silte	Argila
	Profundidade (m)					
	0,00-0,20			0,40 – 0,60		
Média	358,81	313,24	327,94	251,35	355,72	392,94
Mediana	355,65	312,47	324,92	245,49	363,66	398,72
Mínimo	243,02	37,12	233,60	147,72	230,14	259,68
Máximo	655,96	449,56	439,56	433,91	480,18	512,72
DP <sup>1</sup>	59,26	59,46	41,56	47,55	49,28	49,68
Variância	3512,24	3535,86	1727,27	2260,89	2428,73	2468,54
CV% <sup>2</sup>	16,52	18,98	12,67	18,92	13,85	12,64
Curtose	8,95	6,48	0,04	2,69	0,15	0,89
Assimetria	1,74	-1,23	0,16	1,15	0,01	-0,53
d <sup>(3)</sup>	0,09 <sup>NS</sup>	0,09 <sup>NS</sup>	0,06 <sup>NS</sup>	0,10*	0,09 <sup>NS</sup>	0,16*

<sup>1</sup>DP= Desvio Padrão; <sup>2</sup>CV= Coeficiente de Variação; <sup>3</sup>d= teste de normalidade, <sup>NS</sup> Não significativo pelo teste de Kolmogorov-Smirnov e \*significativo pelo teste de Kolmogorov-Smirnov a 5% de probabilidade.

Na Tabela 2 encontram-se os parâmetros estatísticos para a porosidade total, macroporosidade, microporosidade, densidade do solo e estabilidade de agregados. Nota-se que os valores da média e mediana encontraram-se próximos e os valores de assimetria e curtose apresentam valores próximos de zero o que evidência uma distribuição simétrica e que estes valores não são dominados por valores atípicos permitindo o uso da geoestatística (Tabela 2). Estes resultados concordam com Souza et al. (2009) encontrando valores normais para os atributos físicos do solo em áreas de cana-de-açúcar.

Em relação ao DMG, classes de agregados >2,00; 2,00-1,00 e <1,00 mm apresentaram distribuição normal (Tabela 2). Os valores da média e mediana para todas as variáveis estão próximos mostrando distribuições simétricas. Os valores de assimetria foram próximos de zero para todas as variáveis estudadas, resultado confirmado pela média e mediana. Souza et al. (2004a) estudando a variabilidade espacial da estabilidade de agregados e matéria orgânica em solos de diferentes relevos encontraram distribuições normais.

**Tabela 2.** Estatística descritiva dos atributos físicos (macroporosidade, microporosidade, porosidade total, densidade do solo e densidade de partícula) DMG, DMP e classes de agregados >2,00 mm, 2-1 mm e <1,00 mm na profundidade de 0,0 – 0,20 m, em um Argissolo Vermelho sob floresta na região de Manicoré, AM.

Estatística	Macro	Micro	Pt	Ds	Dp	DMG	DMP	>2,00	2-1	<1,00
		m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup>		kg dm <sup>-3</sup>			mm	mm (%)		
Média	21,43	19,84	41,28	1,30	2,65	2,26	2,82	76,38	9,44	14,17
Mediana	21,55	19,76	41,23	1,31	2,67	2,34	2,88	78,27	8,88	12,05
Mínimo	12,80	13,12	33,94	1,10	2,50	1,34	2,25	48,66	3,34	3,10
Máximo	29,45	28,97	51,37	1,42	2,82	2,92	3,17	91,90	22,31	31,78
DP <sup>(1)</sup>	3,22	2,95	3,11	0,07	0,06	0,40	0,22	9,92	3,54	7,20
Variância	10,40	8,75	9,72	0,00	0,00	0,16	0,05	98,44	12,58	51,87
CV <sup>(2)</sup>	15,05	14,91	7,55	5,98	2,63	17,71	8,02	12,99	37,57	50,80
Curtose	1,03	0,53	2,34	0,62	-0,20	-0,77	-0,48	-0,20	1,44	-0,40
Assimetria	-0,16	0,34	0,64	-0,31	0,16	0,40	0,62	-0,67	0,86	0,69
d <sup>(3)</sup>	0,10*	0,08 <sup>NS</sup>	0,10*	0,07 <sup>NS</sup>	0,05 <sup>NS</sup>	0,11*	0,11*	0,12*	0,09 <sup>NS</sup>	0,13*

<sup>1</sup>DP= Desvio Padrão; <sup>2</sup>CV= Coeficiente de Variação; <sup>3</sup>d= teste de normalidade, <sup>NS</sup> Não significativo pelo teste de Kolmogorov-Smirnov e \*significativo pelo teste de Kolmogorov-Smirnov a 5% de probabilidade.



Em relação ao teste de normalidade de Kolmogorov-smirnov a variável macroporosidade apresentou normalidade, enquanto que a microporosidade e a densidade de partícula apresentaram comportamento diferente, não apresentando normalidade (Tabela 2), estes resultados estão de acordo com os encontrados por Rosa Filho et al. (2011) estudando propriedades dendrométricas do eucalipto e de atributos físicos de um Latossolo Vermelho. Somente a classe de agregados 2,00-1,00 mm não apresentou normalidade para a estabilidade de agregados A estabilidade de agregados indicaram normalidade para todas as variáveis com exceção da classe de agregados 2,00-1,00 mm (Tabela 2), concordando com os valores encontrados por Campos et al. (2009). Apesar da normalidade não ser uma exigência da geoestatística os resultados apresentaram ocorrência de estacionaridade necessária

ao uso da geoestatística (Isaaks & Srivastava, 1989). Como salientado por Warrick & Nielsen (1980); Webster (1990), e Souza et al. (2004b) em se tratando de dados obtidos na natureza, o ajuste a uma distribuição teórica é apenas aproximado. Para Souza et al. (2004b) como os dados são encontrados na natureza os ajustes de uma distribuição teórica é apenas aproximado.

Os resultados referentes à análise geoestatística encontram-se na Tabela 3. Observou-se que todas as variáveis estudadas exibiram dependência espacial, com exceção do DMG, DMP e classes de agregado <1,00 mm que apresentaram distribuição aleatória (efeito pepita puro), ou seja, ausência de dependência espacial entre os pontos amostrados, distribuindo-se de forma independente no espaço, podendo ser aplicada a estatística clássica (Souza et al., 2004a).

**Tabela 3.** Modelos e parâmetros estimados dos semivariogramas dos atributos físicos em um Argissolo Vermelho sob floresta na região de Manicoré, AM.

Atributos físicos	Estatística						
	Prof. (m)	Modelo	<sup>1</sup> EP	Patamar	Alcance	<sup>2</sup> DP	<sup>3</sup> R <sup>2</sup>
Areia	0,0-0,20	Exp.	0,00	0,02	18,90	63	0,59
Silte	0,0-0,20	Exp.	0,03	0,10	44,56	61	0,92
Argila	0,0-0,20	Esf.	0,00	0,01	17,30	81	0,94
Areia	0,40-0,60	Esf.	0,00	0,01	21,00	88	0,77
Silte	0,40-0,60	Exp.	0,00	0,02	27,60	71	0,85
Argila	0,40-0,60	Exp.	0,00	0,01	14,70	73	0,61
Macro	0,0-0,20	Esf.	1,17	11,57	15,70	89	0,91
Micro	0,0-0,20	Esf.	0,00	0,02	36,30	62	0,90
Pt	0,0-0,20	Esf.	7,25	2,15	14,30	66	0,94
Ds	0,0-0,20	Esf.	2,00	3,86	14,50	94	0,91
Dp	0,0-0,20	Exp.	2,10	6,97	12,00	69	0,64
DMG	0,0-0,20	EPP	-	-	-	-	-
DMP	0,0-0,20	EPP	-	-	-	-	-
>2,00mm	0,0-0,20	Exp.	0,00	0,01	13,50	68	0,80
2,00-1,00	0,0-0,20	Esf.	0,02	0,13	15,90	80	0,92
<1,00mm	0,0-0,20	EPP	-	-	-	-	-

<sup>1</sup>EP = Efeito Pepita; <sup>2</sup>D.P = grau de dependência espacial  $[(C_0/(C_0+C_1)) \times 100]$ ; <sup>3</sup>R<sup>2</sup> = coeficiente de determinação; EPP: Efeito Pepita Puro; Exp. = exponencial; Esf. = Esférico.

Os modelos de semivariogramas (Tabela 3) que ajustaram-se aos atributos granulométricos na profundidade de 0,0–0,20 m foi o exponencial para areia e silte, já o modelo esférico ajustou-se para a argila. Na profundidade de 0,40 – 0,60 m o modelo exponencial ajustou-se a variável silte e argila e o esférico para areia. Kitamura et al. (2007) encontrou ajustes ao modelo esférico para argila e areia, e o modelo exponencial para o silte. Campos et al. (2007) encontrou ajuste ao modelo esférico para as variáveis

granulométricas em diferentes matérias de origem em Pereira Barretos, SP.

Houve ajuste ao modelo esférico nas variáveis macroporosidade, microporosidade, porosidade total, densidade do solo e classe de agregados 2,00-1,00 mm, enquanto que ao modelo exponencial as variáveis que ajustaram-se foram a densidade de partículas e classe de agregados >2,00 mm. Souza et al. (2009) estudando os atributos físicos em um Latossolo vermelho em cultivo de cana-de-açúcar

encontrou melhores ajustes para os atributos físico-hídricos ao modelo esférico. Já Souza et al. (2004a) encontrou dependência espacial para DMP e DMG, com ajuste ao modelo esférico.

Observa-se a predominância ao ajuste do modelo esférico nas variáveis em estudo, estando de acordo com os trabalhos em ciência do solo que afirmam que o modelo esférico é o que predomina nos trabalhos em ciência do solo (Carvalho et al., 2002; Grego & Vieira, 2005).

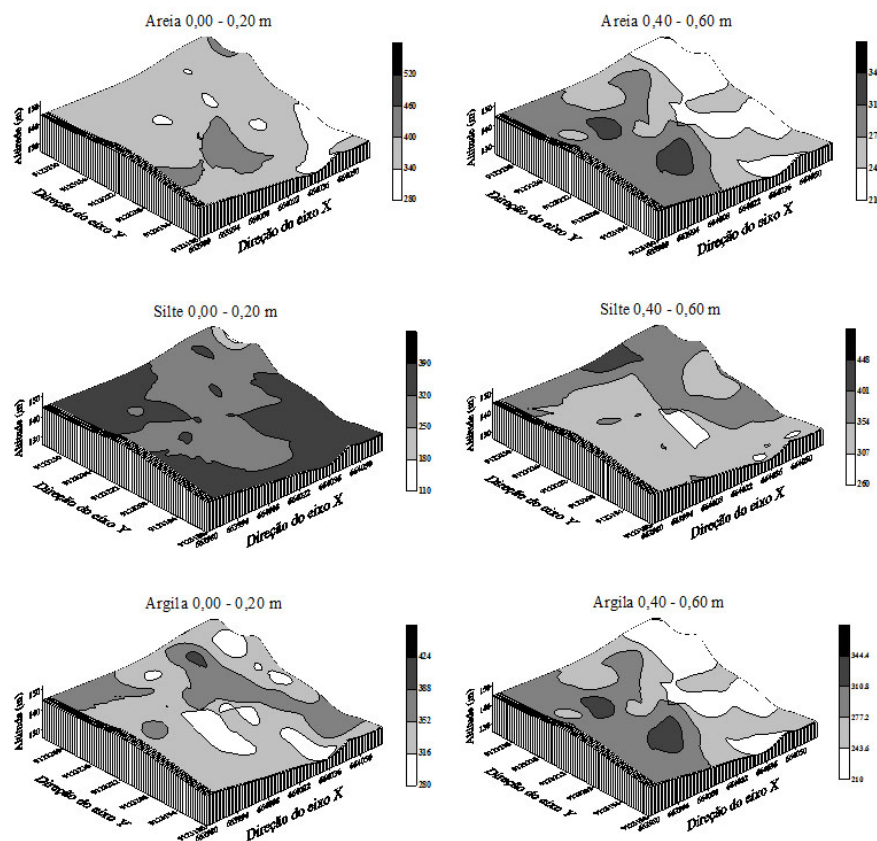
Na análise do grau de dependência espacial para as variáveis em estudo, utilizou-se a classificação de Cambardella et al. (1994). A areia e silte na profundidade 0,0-0,20 m, silte e argila na profundidade 0,40-0,60 m apresentaram dependência espacial moderada e a argila na profundidade 0,00-0,20 m e areia na profundidade 0,40-0,60 m apresentaram dependência espacial fraca (Tabela 3).

A microporosidade, porosidade total, e densidade de partícula exibiram dependência espacial moderada, enquanto que a macroporosidade e densidade do solo apresentaram fraca dependência espacial

(Tabela 3). Souza et al. (2004b) encontraram forte dependência espacial desses atributos em áreas com Latossolo Vermelho. A classe de agregados >2,00 mm apresentou moderada dependência espacial e a classe 2,00-1,00 mm apresentou fraca dependência (Tabela 3). Souza et al. (2004a) encontraram dependência espacial moderada para a estabilidade de agregados e matéria orgânica em solos de diferentes formas de relevo.

Excetuando as variáveis DMG, DMP e classe de agregados <1,00 mm que apresentaram efeito pepita puro, todas as demais variáveis apresentaram alcances superiores a distancia estabelecido na malha inicialmente. O valor médio de alcance foi de 22 m para as variáveis em estudo, o que pode servir de referencia para estudos futuros (Tabela 3).

Com os parâmetros dos modelos ajustados foram construídos os mapas de krigagem para os atributos físicos estudados, cuja finalidade foi visualizar a distribuição dos atributos na paisagem (Figuras 2, 3 e 4).



**Figura 2.** Mapas de krigagem das variáveis areia, silte e argila nas profundidades 0,0 – 0,20 m e 0,40 – 0,60 m em um Argissolo Vermelho sob floresta na região de Manicoré, AM.

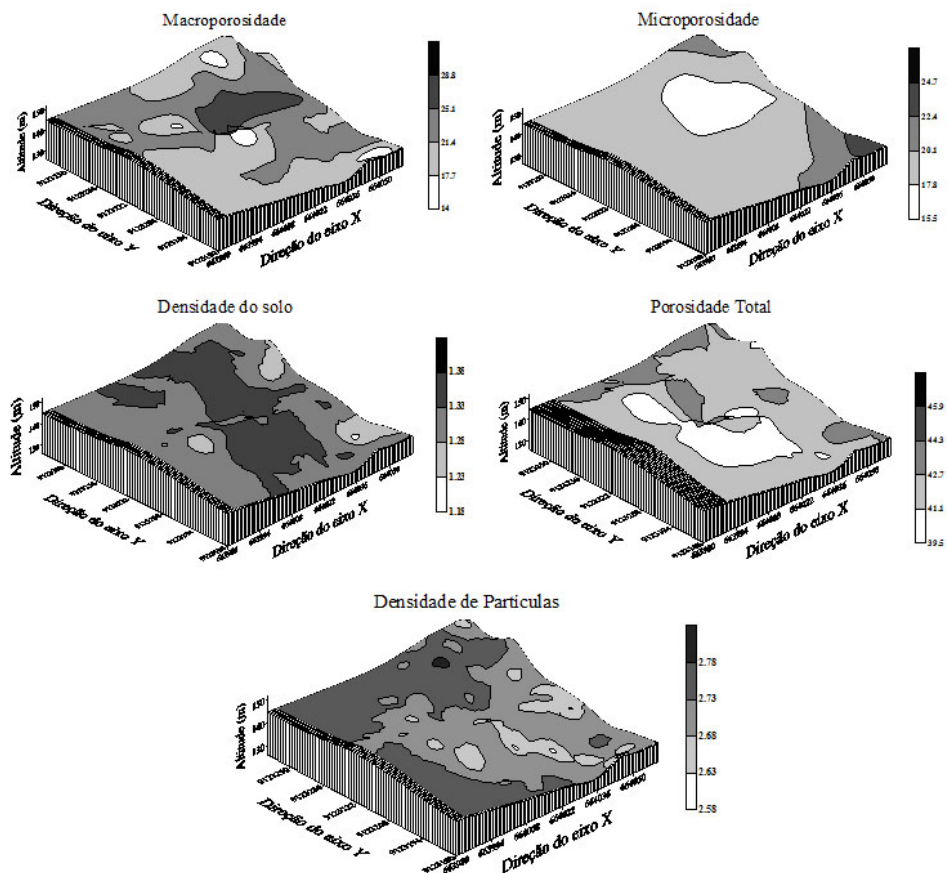
Foi constatado nos mapas das variáveis granulométricas em ambas profundidades maior predomínio da fração silte, principalmente na primeira camada de 0,0-0,20 m e a argila apresentando na profundidade 0,00-0,20 m seus menores valores, enquanto que na profundidade de 0,40-0,60 m houve presença de valores mais elevados nos locais onde na primeira profundidade havia presença de valores mais baixos, o que evidência que na primeira profundidade ocorre maior perda das camadas mais finas seja por lixiviação ou transporta para a camada mais profunda. Lima et al. (2009) ao estudar atributos físicos de um Argissolo Vermelho-Amarelo sob pastagem e vegetação secundária em regeneração natural encontrou em área de vegetação nativa maior concentração dos teores de argila e silte indicando redução na movimentação dessas partículas no escoamento superficial.

A macroporosidade apresentou um comportamento bem heterogêneo no espaço, ou seja, uma alta variabilidade e

maior presença de valores entre 21 e 28  $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ . Já a microporosidade apresentou um comportamento inverso com uma distribuição espacial homogênea, caracterizando uma baixa variabilidade na área de floresta e predominância dos valores mais baixos entre 15,5 e 20,1  $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ .

Observando o comportamento espacial da densidade do solo verificamos que seus valores favorecem a predominância de macroporos, assim como a característica granulométrica deste solo com predominância da fração silte e ainda por ser uma área de floresta que não sofre nenhum tipo de ação antrópica que venha contribuir para a compactação deste solo. E a porosidade total seguindo a mesma tendência concentrando valores médios na área e apresentando um comportamento espacial médio na área.

A densidade de partícula apresentou um comportamento espacial médio e apresentando na área o predomínio de seus valores entre 2,63-2,78  $\text{kg dm}^{-3}$ .

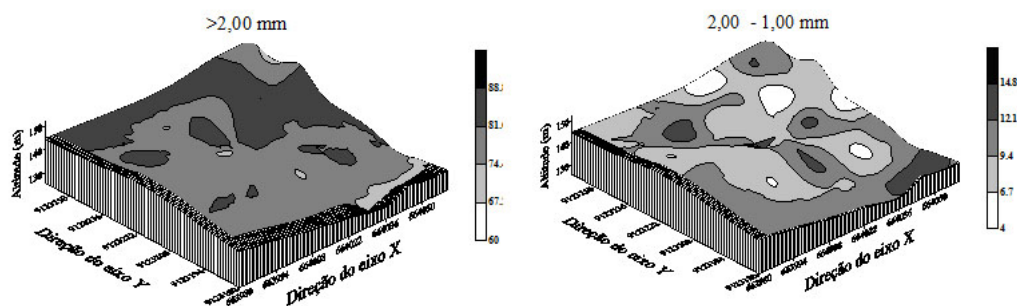


**Figura 3.** Mapas de krigagem dos atributos físico-hídricos em um Argissolo Vermelho sob floresta na região de Manicoré, AM.



Em relação à estabilidade de agregados a classe de agregados >2,00 apresentou uma baixa variabilidade espacial onde seus valores distribuídos na área foram os mais altos entre 74,4-88,8 % e na classe de agregados 2,00-1,00 mm apresentou uma alta variabilidade de

seus valores na área com concentração entre 6,7-12,1% predominando os menores valores estando em acordo com os encontrados por Souza et al. (2006b) estudando atributos de Latossolos considerando aspectos solo-relevo.



**Figura 4.** Mapas de krigagem das classes de agregados >2,00mm e <1,00 mm na profundidade 0,0 – 0,20m em um Argissolo Vermelho sob floresta na região de Manicoré, AM.

### Conclusões

Com exceção do o diâmetro médio geométrico (DMG), diâmetro médio ponderado (DMP) e classe de agregados <1,00 mm todos os atributos físicos apresentaram estrutura de dependência espacial variando de moderada a fraca.

Os valores de alcance foram superiores ao estabelecido na malha (12,00 a 45,56 m), tornando-se base para estudos futuros em área de floresta na Amazônia.

Os atributos físicos apresentaram mapas de krigagem com comportamento espacial diferente, havendo, no entanto relações entre estes atributos, evidenciando assim a eficiência da ferramenta para área de floresta.

### Agradecimento

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas (FAPEAM) pelo financiamento da pesquisa.

### Referências

- Becker, B. 2005. Geopolítica da Amazônia. *Estudos Avançados* 19: 71-86.
- Cambardella, C.A., Moorman, T.B., Novak, J.M., Parkin, T.B., Karlen, D.L., Turco, R.F., Konopka, A.E. 1994. Field-scale variability of soil properties in Central Iowa. *Soil Science Society of American Journal* 58: 1501-1511.
- Campos, M.C.C., Marques Júnior, J., Pereira, G.T., Montanari, R., Siqueira, D.S. 2007. Variabilidade espacial da textura de solos de diferentes materiais de origem em Pereira Barreto, SP.

*Revista Ciência Agronômica* 38:149-157.

Campos, M.C.C., Marques Júnior, J., Pereira, G.T., Souza, Z.M., Montanari, R. 2009. Planejamento agrícola e implantação de sistema de cultivo de cana-de-açúcar com auxílio de técnicas geoestatísticas. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 13: 297-304.

Campos, M.C.C., Ribeiro, M.R., Souza Júnior, V.S., Ribeiro Filho, M.R., Oliveira, I.A. 2010. Interferências dos pedoambientes nos atributos do solo em uma topossequência de transição Campos/Floresta. *Revista Ciência Agronômica* 41: 527-535.

Cardoso, E.L., Silva, M.L.N., Moreira, F.M.S., Curi, N. 2009. Atributos biológicos indicadores da qualidade do solo em pastagem cultivada e nativa no Pantanal. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 44: 631-637.

Carvalho, M., Soratto, R.P., Freddi, O.S. 2002. Variabilidade espacial de atributos físicos em um Latossolo Vermelho Distrófico sob preparo convencional em Selvíria, Estado de Mato Grosso do Sul. *Acta Scientiarum - Agronomy* 24: 1353-1361.

Chig, L.A., Couto, E.G., Novaes Filho, J.P., Rodrigues, L.C.M., Johnson, M.S., Weber, O.L.S. 2008. Distribuição espacial da granulometria, cor e carbono orgânico do solo ao longo de um transecto em microbacias na Amazônia meridional. *Acta Amazônica* 38: 715-722.

Cohen, J.C.P., Beltrão, J.C., Gandu, A.W., Silva, R.R. 2007. Influência do desmatamento sobre o ciclo hidrológico na Amazônia. *Ciência Cultura* 59:36-39.

Corá, J.E., Araújo, A.V., Pereira, G.T., Beraldo, J.M.G. 2004. 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* 28:1013-1021.
- EMBRAPA. 1997. *Manual de métodos de análise de solo*. Centro Nacional de Pesquisa de Solos, Rio de Janeiro, Brasil. 212p.
- Gomes, N.M., Faria, M.A., Silva, A.M., Mello, C.R., Viola, M.R. 2007. Variabilidade espacial de atributos físicos do solo associados ao uso e ocupação da paisagem. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 11: 427-435.
- Grego, C.R., Vieira, S.R. 2005. Variabilidade espacial de propriedades físicas do solo em uma parcela experimental. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 29: 169-177.
- Isaaks, E.H., Srivastava, R.M. 1989. *An introduction to applied geostatistics*. Oxford University Press, Oxford, UK. 561p.
- Kemper, W.D., Chepil, W.S. 1965. Aggregate stability and size distribution. In: Black, C.A. (Ed.) *Methods of soil analysis*. Madison: ASA, pt. 1, 39: 499-510.
- Kitamura, A.E., Morel De, P.C., Rocha, C.L.G. 2007. Relação entre a variabilidade espacial das frações granulométricas do solo e a produtividade do feijoeiro sob plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 31: 361-369.
- Leão, M.G.A., Marques Júnior, J., Souza, Z.M., Pereira, G.T. 2010. Variabilidade espacial da textura de um Latossolo sob cultivo de citros. *Ciência e Agrotecnologia* 34: 121-131.
- Lima, J.S.S., Sattler, M.A., Passos, R.R., Oliveira, P.C., Souza, G.S. 2009. Variabilidade espacial de atributos físicos de um Argissolo Vermelho-Amarelo sob pastagem e vegetação secundária em Regeneração natural. *Engenharia Agrícola* 29: 185-195.
- Loureiro, V.R. 2002. Amazônia: uma história de perdas e danos, um futuro a (re)construir. *Estudos Avançados* 16: 107-121.
- Marques Júnior, J., Souza, Z.M., Pereira, G.T., Barbieri D.M. 2008. Variabilidade espacial de matéria orgânica, P, K e CTC de um Latossolo cultivado com cana-de-açúcar por longo período. *Revista de Biologia e Ciências da Terra* 8: 143-152.
- MINITAB Release 14.1. 2000. *Statistical Software*. Minitab, Canadá.
- Robertson, G.P. 1998. *GS+ geostatistics for the environmental sciences: GS+ user's guide*. Gamma Design Software, Plainwell, USA. 152p.
- Montanari, R., Zambianco, E.C., Corrêa, A.R., Pellin, D.M.P., Carvalho, M.P., Dalchiavon, F.C. 2012. Atributos físicos de um Latossolo Vermelho correlacionados linear e espacialmente com a consorciação de cana-de-açúcar com milho. *Revista Ceres* 59: 125-135.
- Rosa Filho, G., Carvalho, M.P., Montanari, R., Silva, J.M., Siqueira, G.M., Zambianco, E.C. 2011. Variabilidade espacial de propriedades dendrométricas do eucalipto e de atributos físicos de um Latossolo Vermelho. *Bragantia* 70: 439-446.
- Silva, V.R., Reichert, J.M., Reinert, D.J. 2004. Variabilidade espacial da resistência do solo à penetração em plantio direto. *Ciência Rural* 34: 399-406.
- Souza, Z.M., Marques Junior, J., Pereira G.T. 2004a. Variabilidade espacial da estabilidade de agregados e matéria orgânica em solos de relevos diferentes. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 39: 491-499.
- Souza, Z.M., Marques Júnior, J., Pereira, G.T., Bento, M.J.C. 2004b. Variabilidade espacial de atributos físicos de um Latossolo Vermelho sob cultivo de cana-de-açúcar. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 8: 51-58.
- Souza, Z.M., Marques Junior, J., Pereira, G.T., Montanari, R., Campos, M.C.C. 2006a. Amostragem de solo para determinação de atributos químicos e físicos em área com variação nas formas do relevo. *Científica* 34: 249-256.
- Souza, Z.M., Marques Junior, J., Pereira, G.T., Montanari, R. 2006b. Otimização amostral de atributos de Latossolos considerando aspectos solo-relevo. *Ciência Rural* 36: 826-836.
- Souza, Z.M., Marques Júnior, J., Pereira, G.T. 2009. Geoestatística e atributos do solo em áreas cultivadas com cana-de-açúcar. *Ciência Rural*, 40: 48-56.
- Surfer. Surfer 8.0. 2002. *Surface Mapping System*. Golden Software, New York, USA. CD-ROM
- Trangmar, B.B., Yost, R.S. Uehara, G. 1985. Application of geostatistics to spatial studies of soil properties. *Advances in Agronomy* 38: 54-94.
- Vieira, S. R., Hatfield, J.L., Nielsen, D. R., Biggar, J.W. 1983. Geoestatística e aplicação à variabilidade de algumas propriedades agrônomicas. *Hilgardia* 51: 1-75.
- Vieira, S.R. 2000. Geoestatística em estudo da variabilidade espacial do solo. In: Novais, R.F., Alvarez, V.V.H., Schaefer, C.E.G.R. (Ed.). *Tópicos ciência do solo*. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, Brasil. p.1-54

Warrick, A.W., Nielsen, D.R. 1980. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: Hillel, D. (Ed.). *Applications of soil physics*. New York, USA. p. 319-344.

Webster, R., Oliver, M.A. 1990. *Statistical methods in soil and land resource survey*. Oxford University Press, Oxford, UK. 316p.