

VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS FÍSICOS DE SOLOS ANTROPOGÊNICO E NÃO ANTROPOGÊNICO NA REGIÃO DE MANICORÉ, AM

SPATIAL VARIABILITY OF SOIL PHYSICAL ANTHROPOGENIC AND NON ANTHROPOGENIC IN THE REGION OF MANICORÉ, AM

Renato Eleoterio AQUINO¹; Milton César Costa CAMPOS²; Ivanildo Amorim de OLIVEIRA¹; Jose MARQUES JUNIOR³; Douglas Marcelo Pinheiro SILVA⁴; Diogo André Pinheiro SILVA⁵

1. Doutorandos do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – FCAV, Universidade Estadual Paulista - UNESP, Jaboticabal, SP, Brasil; 2. Professor, Doutor, IEAA, Universidade Federal do Amazonas - UFAM, Humaitá, AM, Brasil. mcesarsolos@gmail.com; 3. Professor, Doutor, FCAV - UNESP, Jaboticabal, SP, Brasil; 4. Professor, Mestre - UFAM, Humaitá, AM, Brasil; 5. Acadêmico de Engenharia Ambiental, IEAA - UFAM, Humaitá, AM, Brasil

RESUMO: Melhores conhecimentos sobre os solos antropogênicos podem auxiliar na construção de cenários futuros para a região amazônica, por meio de informações que subsidiem o planejamento sustentável. O objetivo deste trabalho foi avaliar a variabilidade espacial de atributos físicos de solos antropogênicos e não antropogênico na região de Manicoré, AM. Na área do estudo foram selecionadas duas, uma com solos não antropogênicos (floresta nativa) e outra com solos antropogênicos (terra preta arqueológica). Em cada área, foi estabelecida uma malha medindo 70 x 70 m e os solos foram amostrados nos pontos de cruzamento da malha, com espaçamentos regulares de 10 em 10 metros, perfazendo um total de 64 pontos amostrais em cada paisagem. Foram coletadas amostras de solos na profundidade de 0,0 a 0,10 m e realizadas as análises físicas (textura, densidade do solo, macroporosidade, microporosidade, porosidade total e estabilidade dos agregados). Em seguida, os dados foram submetidos à estatística descritiva e geoestatística. Verificou-se que os solos antropogênicos e não antropogênicos apresentaram comportamentos diferenciados em relação às suas estruturas espaciais. A variabilidade espacial que predominou no solo antropogênico e não antropogênico foi moderada e fraca indicando que estes solos estão fortemente ligados a alterações ocorridas por fatores extrínsecos no solo. No solo antropogênico foi observado melhores resultados para a porosidade total, microporosidade e densidade do solo, evidenciando características superiores para fins agrônômicos quando comparado ao solo não antropogênico. E os valores de alcance encontrado nas duas áreas foram acima do utilizado na malha, evidenciando maior continuidade espacial nestes ambientes.

PALAVRAS-CHAVE: Terra Preta Arqueológica. Geoestatística. Atributos do solo.

INTRODUÇÃO

Apesar da existência de grandes áreas potencialmente agricultáveis, os solos da Amazônia, na sua maior parte, são ácidos, com baixa capacidade de troca catiônica e, conseqüentemente, de baixa fertilidade (MOREIRA; MALAVOLTA, 2002). Dos poucos solos com alta fertilidade, incluem-se a “Terra Preta do Índio” (TPI) ou “Terras Pretas Arqueológicas” (TPA), denominação dada aos solos de origem antropogênica, existentes na região Amazônica (WOODS, 2003).

De acordo com Glaser (2007), estes solos normalmente são de elevada fertilidade natural, com elevados teores de P, Ca, Mg e matéria orgânica estável, além de maior atividade biológica, quando comparados aos solos adjacentes. Segundo Cunha et al. (2007), a fertilidade desses solos é fortemente relacionada com as características moleculares da fração alcalino-solúvel do carbono orgânico.

Nas paisagens constituídas por Terras Pretas Arqueológicas, apesar de normalmente possuírem a

fração areia em maior percentual que o provável solo original, são observadas grande variação entre os seus sítios (TEXEIRA; MARTINS, 2003) com textura variando entre arenosa e muito argilosa (LIMA et al., 2002).

Além disso, esses solos apresentam horizontes bem drenados com boa disponibilidade de água e baixos valores de densidade do solo, ostentando assim boas condições de aeração, porosidade e condutividade hidráulica que favorecem a infiltração de água e as trocas gasosas (NEVES JÚNIOR, 2008).

Em função das características adequadas para o cultivo, as TPA's 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). Assim, o conhecimento do comportamento dos atributos dos solos em áreas de TPA's é fundamental e a geoestatística torna-se uma ferramenta eficaz para o estabelecimento do correto manejo dessas áreas.

A variabilidade espacial dos atributos do solo estudada pela geoestatística, trata-se de um conjunto de técnicas aplicadas a variáveis regionalizadas, que definem a estrutura de dependência espacial de cada variável (ZANÃO JÚNIOR et al., 2007; MARINS et al., 2008). Além disso, ainda proporciona meios para que sejam efetuados os respectivos mapeamentos da área estudada através da krigagem, uma vez que o modelo da dependência espacial seja conhecido por meio do semivariograma (SILVA et al., 2010).

Dado à necessidade de entender o comportamento espacial e a relação entre as propriedades físicas do solo, o objetivo deste trabalho foi avaliar a variabilidade espacial de atributos físicos em solos antropogênicos e não antropogênicos na região de Manicoré, AM.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado em uma propriedade rural, localizada ao sul do Estado do Amazonas, nas imediações da comunidade Santo Antônio de Matupí, às margens da BR 230, rodovia Transamazônica, região de Manicoré, AM. A área de solo antropogênico está situada nas coordenadas geográficas: 07°55'02,1" S e 61°31'45,2" W numa

altitude média de 102 m. Paralela à área de solo antropogênico, encontra-se a área do solo não antropogênico situada nas coordenadas geográficas: 7°54'44,5" S e 61°31'44,7" W numa altitude média de 140 m (Figura 1).

O material de origem é proveniente da alteração de granitos Rondonianos, do Pré-Cambriano Superior, de sedimentos coluviais, depositados nas partes mais baixas da paisagem, e de coberturas terciárias (BRASIL, 1978). O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo tropical chuvoso, com um período seco de pequena duração (Am), e temperaturas variando entre 25 e 27 °C, com precipitações entre 2.250 e 2.750 mm, com chuvas concentradas no período de outubro a junho (BRASIL, 1978).

Foi realizada a seleção de duas áreas, uma com solos não antropogênicos (floresta nativa) e outra com solos antropogênicos (terra preta arqueológica). Em cada área foi implantada uma malha de 70 x 70 m para coleta de solo nos pontos de cruzamento, com espaçamentos regulares de 10 em 10 m, perfazendo um total de 64 pontos amostrais em cada malha (Figura 1). Esses pontos foram georreferenciados e as coletas feitas na profundidade de 0,0 a 0,10 m, totalizando 128 amostras de solo.

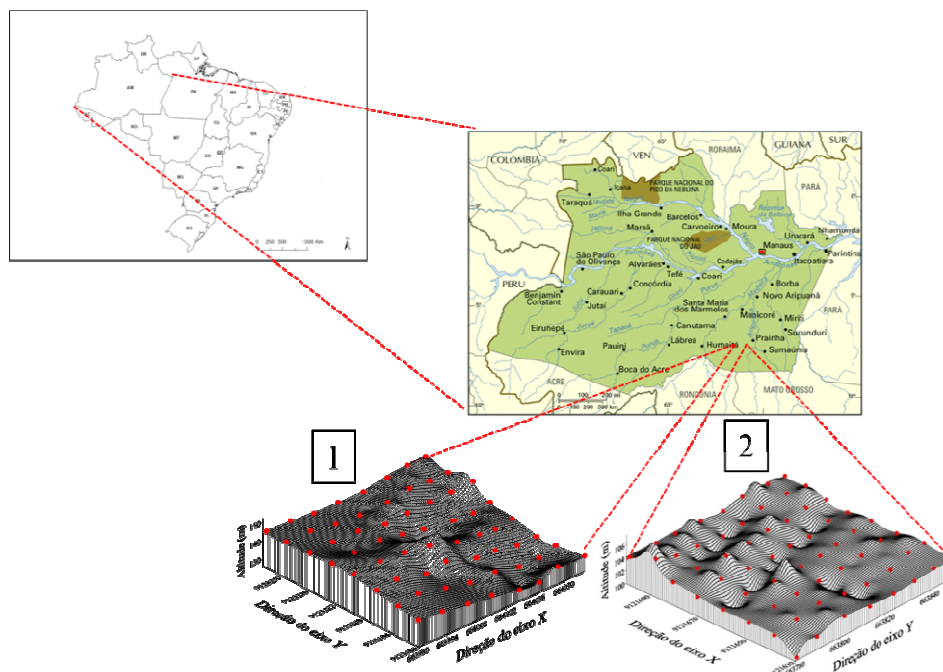


Figura 1. Modelo de Elevação Digital e pontos de coleta de amostras dos solos antropogênico e não antropogênico na região de Manicoré, AM. 1 = Área com floresta; 2 = Área com TPA.

A análise granulométrica 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 15 minutos. A fração argila foi separada por sedimentação, as areias grossas e finas por tamisação, e o silte

calculado por diferença. A densidade de partícula do solo (D_p) foi determinada pelo método do balão volumétrico conforme metodologia da Embrapa (1997).

Foram coletadas em anéis volumétricos amostras de solo com estrutura preservada. As mesmas 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 (P_t) 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 (limite entre macroporos e microporos em 6 kPa), segundo metodologia da Embrapa (1997). Pela diferença entre a porosidade total e a microporosidade, obteve-se a macroporosidade. A densidade do solo (D_s) foi calculada pela relação entre a massa seca a 105 °C, durante 24 h da amostra de solo do cilindro volumétrico e o seu volume (EMBRAPA, 1997).

Nos pontos de cruzamento da malha, foram coletadas amostras indeformadas na profundidade 0,0 a 0,10 m para determinação da estabilidade dos agregados do solo. As amostras foram secadas à sombra, levemente destorroadas, de forma manual, e passadas em peneira de 9,51 mm e retidas em peneiras de 4,72 mm de diâmetro de malha, para as análises relativas à agregação. A separação e estabilidade dos agregados foram determinadas segundo Kemper e Chepil (1965), com modificações, nas seguintes classes de diâmetro > 2,0 mm; 2,0 a 1,0 mm e < 1,0 mm. Os agregados inicialmente foram umedecidos e posteriormente colocados em contato com a água sobre a peneira de 2,00 mm 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 mm; 2,0 a 1,0 mm e < 1,0 mm. Foi determinado também os índices de agregação correspondentes ao diâmetro médio geométrico (DMG) e diâmetro médio ponderado (DMP).

Primeiramente, foi realizada à análise exploratória dos dados, com o cálculo de 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 ao nível de 5%, no software estatístico Minitab 14 (MINITAB, 2000).

Para a caracterização da variabilidade espacial, foi utilizada a análise geoestatística (ISAAKS; SRIVASTAVA, 1989). Utilizando-se a teoria da hipótese intrínseca o semivariograma

experimental foi estimado pelo método clássico por meio do estimador:

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

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

Do ajuste de um modelo matemático aos valores calculados de $\hat{\gamma}(h)$ são definidos os coeficientes do modelo teórico para o semivariograma: Efeito Pepita (C_0); Patamar (C_1); Contribuição ($C_0 + C_1$) 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 o limite de distância onde posterior a esta as amostras não são correlacionadas, ou seja, são aleatórias (ao acaso).

Na análise da razão de dependência espacial (proporção em percentagem do efeito pepita (C_0) em relação ao patamar (C_0+C_1)) das variáveis em estudo, utilizou-se a classificação de Cambardella et al., (1994), em que valores de $[(C_0/(C_0+C_1)) \times 100]$ menores que 25% são considerados com dependência espacial forte, valores de $[(C_0/(C_0+C_1)) \times 100]$ entre 25 e 75 % indicam dependência espacial moderada e valores de $[(C_0/(C_0+C_1)) \times 100]$ maiores que 75%, dependência espacial fraca. Na determinação da existência ou não da dependência espacial, utilizou-se a construção e exame dos semivariogramas, por meio do programa GS⁺ (ROBERTSON, 1998). No caso de mais de um modelo para o mesmo semivariograma, foi escolhido o que teve o maior coeficiente de correlação e o melhor coeficiente de determinação (r^2).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados referentes à análise descritiva para os atributos físicos para solo antropogênico e não antropogênico são apresentados na Tabela 1 e 2.

O coeficiente de curtose encontra-se com valores distantes de zero na sua maioria tendendo neste caso a valores anormais, enquanto que a assimetria apresenta valores mais próximos de zero evidenciando uma aproximação da normalidade, ou seja, estes dados tendem a serem simétricos em ambos os ambientes em estudo. Esse fato é justificado pelos valores de média e mediana

encontrarem próximos (Tabela 1), concordando com (2011) e Rodrigues et al. (2012).
os parâmetros encontrados por Jaramillo et al.

Tabela 1. Estatística descritiva dos atributos físicos (argila, silte, areia, macroporosidade, microporosidade, porosidade total, densidade do solo) na profundidade 0,0 a 0,10 m em solo antropogênico e não antropogênico na região de Manicoré, AM

Estatística	Argila	Silte	Areia	Macro	Micro	PT	DS
	g.kg ⁻¹		m ³ m ⁻³			%	kg dm ⁻³
Solo antropogênico							
Média	434,14	444,36	121,50	22,04	28,43	50,47	0,89
Mediana	442,48	432,91	120,00	22,80	28,03	50,95	0,88
Mínimo	42,90	279,90	263,98	0,81	22,21	30,81	0,61
Máximo	250,30	662,02	551,60	47,52	39,12	75,68	1,04
DP	42,54	73,39	58,83	8,34	3,20	6,43	0,008
Variância	3461,46	5386,34	1810,01	69,50	10,25	41,45	0,01
CV% ²	13,55	16,52	35,01	37,82	11,26	12,76	9,40
Curtose	1,85	2,32	0,32	1,08	1,41	4,09	0,99
Assimetria	-1,13	1,16	0,61	0,24	0,85	0,75	-0,43
d ⁽³⁾	0,12*	0,12*	0,09 ^{NS}	0,09 ^{NS}	0,08 ^{NS}	0,14*	0,08 ^{NS}
Solo não antropogênico							
Média	358,81	313,24	327,94	21,43	19,84	41,28	1,30
Mediana	355,65	312,47	324,92	21,55	19,76	41,23	1,31
Mínimo	243,02	37,12	243,02	12,80	13,12	33,94	1,10
DP	41,56	59,46	59,26	3,22	2,95	3,11	0,07
Máximo	655,96	449,56	655,96	29,45	28,97	51,37	1,42
Variância	3512,24	3535,86	1727,27	10,40	8,75	9,72	0,00
CV% ²	16,52	18,98	12,67	15,05	14,91	7,55	5,98
Curtose	8,95	6,48	0,04	1,03	0,53	2,34	0,62
Assimetria	1,74	-1,23	0,16	-0,16	0,34	0,64	-0,31
d ⁽³⁾	0,09 ^{NS}	0,09 ^{NS}	0,06 ^{NS}	0,10*	0,08 ^{NS}	0,10*	0,07 ^{NS}

⁽¹⁾DP= Desvio Padrão; ⁽²⁾CV= Coeficiente de Variação; ⁽³⁾d= teste de normalidade, *significativo pelo teste de Kolmogorov-Smirnov.

Tabela 2. Estatística descritiva dos atributos físicos (macroporosidade, microporosidade, porosidade total, densidade do solo, densidade de partícula) DMG, DMP e classes de agregados (>2,00 mm, 2-1 mm <1,00 mm) na profundidade 0,0 – 0,10 m em solo antropogênico e não antropogênico na região de Manicoré, AM

Estatística	DMG	DMP	>2,00	2-1	<1,00
	mm		(%)		
Solo Antropogênico					
Média	1,78	2,57	67,55	9,20	23,24
Mediana	1,74	2,58	67,26	9,24	23,13
Mínimo	1,03	1,78	37,76	2,96	8,95
Máximo	2,58	3,05	87,91	25,45	38,79
DP ⁽¹⁾	0,36	0,26	10,70	3,99	7,54
Variância	0,13	0,07	114,48	15,92	56,80
CV ⁽²⁾	20,03	10,03	15,84	43,37	32,43
Curtose	-0,38	0,40	-0,03	4,73	-0,55
Assimetria	0,35	-0,37	-0,22	1,59	0,09
d ⁽³⁾	0,10*	0,07 ^{NS}	0,07 ^{NS}	0,11*	0,06 ^{NS}

	Solo não antropogênico				
Média	2,26	2,82	76,38	9,44	14,17
Mediana	2,34	2,88	78,27	8,88	12,05
Mínimo	1,34	2,25	48,66	3,34	3,10
Máximo	2,92	3,17	91,90	22,31	31,78
DP ⁽¹⁾	0,40	0,22	9,92	3,54	7,20
Variância	0,16	0,05	98,44	12,58	51,87
CV ⁽²⁾	17,71	8,02	12,99	37,57	50,80
Curtose	-0,77	-0,48	-0,20	1,44	-0,40
Assimetria	0,40	0,62	-0,67	0,86	0,69
d ⁽³⁾	0,11*	0,11*	0,12*	0,09 ^{NS}	0,13*

(1)DP= Desvio Padrão; (2)CV= Coeficiente de Variação; (3)d= teste de normalidade, *significativo pelo teste de Kolmogorov-Smirnov.

A estabilidade de agregados apresentou valores com assimetria e curtose próximos ao valor central zero para ambos os solos estudados, com exceção a variável classe de agregados 2 a 1 mm que exibiu certa discrepância. Este resultado indica que estes valores estão dentro da normalidade, o que é comprovado pela proximidade dos valores da média e mediana. Isso reforça a tendência de estas variáveis serem simétricas (Tabela 2). Souza et al. (2004) encontraram distribuição normal para a estabilidade de agregados estudando solos sob diferentes formas do relevo em São Paulo, concordando com os dados encontrados neste estudo.

Observa-se que o solo antropogênico exibe dominância das frações silte e argila, enquanto que o solo não antropogênico apresentou equilíbrio entre as frações granulométricas. Nos demais atributos físicos, pode-se destacar a macroporosidade, microporosidade e PT do solo antropogênico com valores relativamente superiores aos encontrados ao solo não antropogênico, possivelmente esses resultados estão associados aos elevados teores de matéria orgânica presente nesse solo, influenciando diretamente a formação da estrutura, favorecendo esse comportamento.

Os resultados referentes ao teste Kolmogorov-Smirnov indicou normalidade para as frações argila e silte no solo antropogênico, macroporosidade no solo não antropogênico e porosidade total em ambos os solos estudados (Tabela 1). Estudos desenvolvidos por Carvalho et al. (2011) com atributos físicos em três classes de solo cultivados com cana-de-açúcar somente encontrou normalidade para as variáveis densidade do solo e porosidade total.

Na Tabela 2 encontram-se os valores da estabilidade de agregados. Verificou-se normalidade para o DMG e classe de agregados 2 a 1 mm no solo antropogênico, enquanto que no solo não

antropogênico somente a classe de agregados 2 a 1 mm não apresentou normalidade. Apesar de a normalidade dos dados não ser uma exigência da geoestatística, é importante que a distribuição não apresente caudas muito alongadas, o que poderia comprometer as estimativas da krigagem, as quais são baseadas nos valores médios (ISAAKS; SRIVASTAVA, 1989).

Em relação à estabilidade de agregados nos dois ambientes estudados, verificou-se valores mais baixos no solo antropogênico quando comparado ao solo não antropogênico. Estes resultados estão relacionados à formação daqueles solos, de origem antrópica que concentra grande quantidade de matéria orgânica derivada da queima parcial do carvão vegetal, deixando este solo mais solto e como consequência a predominância em formações de microagregados (CAMPOS et al., 2012).

A variabilidade dos atributos do solo (Tabela 1 e 2) medida pelo coeficiente de variação pode ser considerada a primeira indicação da existência de heterogeneidade nos dados. Assim, utilizou-se a classificação do coeficiente de variação (CV) proposta por Warrick e Nielsen (1980), em que CV <12%, é baixo; moderada, se $\geq 12,1\%$ e $\leq 60\%$ e alto > 60,1%. Verificou-se que todos os atributos granulométricos apresentaram valores de CV moderado em ambos os solos estudados (Tabela 1).

Em relação aos demais atributos físicos (Tabela 1), constatou-se que a densidade do solo em ambos os solos e a porosidade total no solo não antropogênico exibiram baixo CV, indicando baixa variabilidade dos dados. Os demais atributos exibiram moderado CV. Esses resultados estão corroborando com os encontrados por Santos et al. (2012a).

A estabilidade de agregados possuíram CV com baixa variabilidade para o DMP e os demais atributos exibiram moderado CV (Tabela 2),

concordando com os resultados encontrados por Souza et al. (2004).

Os valores do CV para as variáveis em estudo na Tabela 1 e 2 exibem ocorrência de maior heterogeneidade no solo antropogênico com exceção da argila, silte e microporosidade quando comparada ao não antropogênico. Estes efeitos são causados possivelmente pelo elevado conteúdo de

materia orgânica que se distribui de maneira descontínua na área estudada e provoca comportamentos diferenciados neste tipo de ambiente (CAMPOS et al., 2011).

Os resultados das análises geoestatísticas para os atributos físicos do solo estudados são apresentados nas Tabelas 3 e 4.

Tabela 3. Modelos e parâmetros estimados dos semivariogramas dos atributos físicos (argila, silte, areia, macroporosidade, microporosidade, porosidade total e densidade do solo) na profundidade 0,0 a 0,10 m em solo antropogênico e não antropogênico na região de Manicoré, AM

Estatística	Argila	Silte	Areia	Macro	Micro	PT	DS
		g kg ⁻¹		m ³ m ⁻³		%	kg dm ⁻³
Solo Antropogênico							
Modelo	Exp.	Esf.	Exp.	Esf.	Esf.	Exp.	Exp.
Efeito pepita (C ₀)	306,50	1.117,00	189,00	44,31	4,92	6,36	0,008
Patamar (C ₀ +C ₁)	1.612,00	2.235,00	3.073,00	59,47	9,54	22,86	0,01
Alcance (a)	19,80	30,60	31,20	30,68	28,10	23,70	58,02
¹ [C ₀ /(C ₀ +C ₁)]x100	19	49,97	6,15	74,50	51,57	27,82	80
² R ²	0,95	0,83	0,89	0,81	0,88	0,87	0,90
Solo não Antropogênico							
Modelo	Exp.	Esf.	Exp.	⁴ Exp.	³ Esf.	Esf.	⁵ Esf.
Efeito pepita (C ₀)	0,006	0,03	0,008	2,27	1,67	1,22	0,007
Patamar (C ₀ +C ₁)	0,01	0,10	0,02	13,31	3,62	9,91	0,01
Alcance (a)	17,30	44,56	18,90	18,30	52,30	18,00	29,70
¹ [C ₀ /(C ₀ +C ₁)]x100	60,00	30	40	17,05	46,13	12,31	70
² R ²	0,94	0,92	0,59	0,66	0,98	0,86	0,73

¹[C₀/(C₀+C₁)]x100 = grau de dependência espacial; ²R² = coeficiente de determinação Exp. = exponencial; Esf. = esférico; EPP = Efeito Pepita Puro.

Tabela 4. Modelos e parâmetros estimados dos semivariogramas dos atributos físicos em solo antropogênico e não antropogênico na região de Manicoré, AM

Estatística	DMG	DMP	>2,00	2,00 a 1,00	<1,00
	mm		%		
Solo Antropogênico					
Modelo	EPP	Esf.	Exp.	Esf.	EPP
Efeito pepita (C ₀)	-	3,46	12,10	0,05	-
Patamar (C ₀ +C ₁)	-	8,31	80,62	7,90	-
Alcance (a)	-	17,92	19,50	15,44	-
¹ [C ₀ /(C ₀ +C ₁)]x100	-	41,6	15,00	0,63	-
² R ²	-	0,96	0,80	0,87	-
Solo não Antropogênico					
Modelo	EPP	EPP	Exp.	⁴ Esf.	³ EPP
Efeito pepita (C ₀)	-	-	0,005	0,02	-
Patamar (C ₀ +C ₁)	-	-	0,01	0,13	-
Alcance (a)	-	-	13,50	15,90	-
¹ [C ₀ /(C ₀ +C ₁)]x100	-	-	50	15,38	-
² R ²	-	-	0,80	0,92	-

¹EP = Efeito Pepita; ²DP = grau de dependência espacial ([C₀/(C₀+C₁)]x100); ³R² = coeficiente de determinação; EPP: Efeito Pepita Puro; Exp. = exponencial; Esf. = Esférico.

Nota-se na Tabela 3 que todos os atributos estudados exibiram dependência espacial a qual é

expressa por meio dos ajustes aos modelos de semivariogramas. Já na Tabela 4 observa-se efeito

pepita puro (EPP) para as variáveis DMG e classe de agregados < 1,00 mm, em ambos os ambientes estudados e DMP no solo não antropogênico. Isso indica variabilidade não explicada, considerando a distância de amostragem utilizada, no qual a aplicação da geoestatística não foi eficaz. Neste caso é mais apropriado o uso da estatística clássica.

Os ajustes aos modelos matemáticos dos semivariogramas variaram entre esférico e exponencial para os atributos físicos estudados (Tabela 3 e 4).

Para a granulometria o modelo esférico melhor se ajustaram para as variáveis silte, enquanto que a areia e argila ajustou-se ao modelo exponencial em ambos os solos estudados (Tabela 3), estando de acordo com valores encontrados por Carvalho et al. (2002). Para os demais atributos físicos do solo antropogênico o modelo esférico se ajustou aos atributos macroporosidade e microporosidade, já o modelo exponencial foi ajustado as variáveis PT e DS. Em relação ao solo não antropogênico somente a macroporosidade ajustou-se ao modelo exponencial, já as variáveis microporosidade, PT e DS ajustaram-se ao modelo esférico (Tabela 3).

Os modelos esférico e exponencial que se ajustaram aos dados deste estudo se apresentam semelhantes com os resultados de pesquisas que indicam esses modelos como os de maior ocorrência para atributos físicos do solo (SOUZA et al., 2004).

A estabilidade de agregados teve o modelo esférico ajustado para a variável DMP e classe de agregado 2,00 a 1,00 mm e modelo exponencial para a variável classe de agregado > 2,00 mm no solo antropogênico. No solo não antropogênico a classe de agregado > 2,00 mm exibiu ajuste ao modelo exponencial e a classe de agregados 2,00 a 1,00 mm ajustou-se ao modelo esférico (Tabela 4).

Na análise do grau de dependência espacial das variáveis em estudo (Tabela 3 e 4), utilizou-se a classificação de Cambardella et al. (1994). Os teores de areia e argila apresentaram forte dependência espacial e o silte moderada dependência espacial no solo antropogênico, já no solo não antropogênico observou-se moderada dependência espacial para areia, silte e argila.

Para os demais atributos físicos, observou-se dependência espacial moderada para as variáveis macroporosidade, microporosidade, e PT com exceção da DS que apresentou fraca dependência espacial no solo antropogênico enquanto que no não antropogênico a microporosidade e DS apresentaram moderada dependência espacial e a macroporosidade e PT apresentaram forte dependência espacial.

Santos et al. (2012b) estudando atributos físicos em vale aluvial no semiárido de Pernambuco encontrou dependência espacial fraca e moderada, concordando com os resultados aqui apresentados. Para Cambardella et al. (1994), as variáveis que apresentam forte dependência espacial são mais influenciadas por propriedades intrínsecas do solo, ou seja, pelos fatores de formação do solo e as fracas por fatores extrínsecos como o manejo do solo.

Em relação a estabilidade de agregados no solo antropogênico a dependência espacial foi moderada para DMP e fraca para a classe de agregados >2,00 e 2,00 a 1,00 mm. Já no solo não antropogênico foi observado dependência espacial moderada para a classe de agregados >2,00 mm e fraca para a classe de agregados 2,00-1,00 mm. Vieira et al. (2011) encontraram no DMP dependência espacial moderada estudando atributos e agregação do solo em sistema de semeadura direta.

O alcance da dependência espacial é um parâmetro importante do semivariograma uma vez que indica a zona de influência de uma amostra, ou seja, define a distância máxima até onde o valor de uma variável possui relação de dependência espacial com seus vizinhos. Os valores de alcance variaram de 17,91 a 58,02 m no solo antropogênico e 13,50 a 52,30 m no solo não antropogênico (Tabelas 3 e 4).

Os atributos estudados que foram ajustados em modelos de semivariograma apresentaram diferentes valores de alcance (Tabela 3 e 4), e estes foram superiores ao valor de espaçamento utilizado nas malhas de amostragem que foram de 10 m. Isto indica que as amostras estão espacialmente relacionadas e assim, apresentam uma maior continuidade na distribuição espacial das propriedades do solo antropogênico e solo não antropogênico, estando estes valores de acordo com os encontrados por Mendes et al. (2008) e Marasca et al. (2011).

As análises feitas pelas ferramentas da geoestatística por meio do alcance nos fornecem informações que poderão ser usadas para aplicações de técnicas de manejo mais específica e de maior precisão nestes ambientes, assim como a possibilidade de fazer uma leitura mais detalhada do comportamento das propriedades do solo conforme o uso. Desta maneira, pode favorecer o melhor uso do solo e a sua melhor sustentabilidade para a manutenção e conservação destes ambientes.

CONCLUSÕES

Os solos estudados apresentaram comportamentos diferenciados em relação as suas estruturas espaciais.

A variabilidade espacial que predominou no solo antropogênico e não antropogênico foi moderada e fraca indicando que estes solos estão fortemente ligados a alterações ocorridas por fatores extrínsecos no solo.

No solo antropogênico foi observado melhores resultados para a porosidade total,

microporosidade e densidade do solo, evidenciando características superiores para fins agronômicos quando comparado ao solo não antropogênico.

Os valores de alcance encontrado nas duas áreas foram acima do utilizado na malha, evidenciando maior continuidade espacial nestes ambientes.

AGRADECIMENTOS

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

ABSTRACT: Better knowledge of the anthropogenic soils can help create future scenarios for the Amazon region through information that supports the sustainable planning. The aim of this study was to evaluate the spatial variability of soil physical anthropogenic and not anthropogenic in the region of Manipur, AM. In the study area we selected two, one with no anthropogenic soils (native forest) and another with anthropogenic soils (black earth archaeological). In each area, we established a grid measuring 70 x 70 m and the soils were sampled at the points of intersection of the grid with regular spacing of 10 by 10 feet, making a total of 64 sampling points in each landscape. Soil samples were collected at a depth from 0.0 to 0.10 I did the analyzes physical (texture, bulk density, macroporosity, microporosidade, porosity and aggregate stability). Then, the data were subjected to descriptive statistics and geostatistics. It was found that the anthropogenic and non-anthropogenic soils showed different behaviors in relation ace their spatial structures. The spatial variability that prevailed in anthropogenic and non-anthropogenic soil was moderate and weak indicating that these soils are strongly linked to changes in the soil by extrinsic factors. The soil was observed anthropogenic best results for total porosity, microporosity and bulk density, showing superior characteristics compared for agronomic soil not anthropogenic. And the range of values found in the above two areas were used in the mesh, showing greater spatial continuity in these environments.

KEYWORDS: Archaeological dark earths. Geostatistics. Soil attributes.

REFERÊNCIAS

- BRASIL. Ministério das Minas e Energia. **Projeto Radambrasil, folha SB. 20, Purus**. Rio de Janeiro, 1978. 561p.
- 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. **Soil Science Society of American Journal**. Madison, v. 58, N. 6, p. 1501-1511, 1994.
- CAMPOS, M. C. C.; RIBEIRO, M. R.; SOUZA JÚNIOR, V. S.; RIBEIRO FILHO, M. R.; SOUZA, R. V. C, C.; ALMEIDA, M. C. Caracterização e classificação de terras pretas arqueológicas na Região do Médio Rio Madeira. **Bragantia**. Campinas, v. 70, n. 3, p. 598-609, 2011.
- CAMPOS, M. 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 314 solos não antropogênicos na região de Manicoré, Amazonas. **Agro@mbiente On-line**. Boa Vista, v. 6, n. 2, p. 102-109, 2012.
- CARVALHO, L. A.; MEURER, I.; SILVA JÚNIOR, C. A.; CAVALIERI, K. M. V.; SANTOS, C. F. B. Dependência espacial dos atributos físicos de três classes de solos cultivados com cana-de-açúcar sob colheita mecanizada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v. 15, n. 9, p. 940-949, 2011.

- CARVALHO, M.; SORATTO, R. P.; FREDDI, O. S. Variabilidade espacial de atributos físicos em um Latossolo Vermelho Distrófico sob preparo convencional em Selvíria, Estado de Mato Grosso do Sul. **Acta Scientiarum**. Maringá, v. 24, n. 3, p. 1353-1361, 2002.
- CUNHA, T. J. F.; MADARI, B. E.; BENITES, V. M.; CANELAS, L. P.; NOVOTNY, E. H.; MOUTTA, R. O.; TROMPOWSKY, P.; SANTOS, G. A. Fracionamento químico da matéria orgânica e características de ácidos húmicos de solos com horizonte A antrópico da Amazônia (Terra Preta). **Acta Amazônica**, Manaus, v. 37, n. 1, p. 91-98, 2007.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 1997. 212p.
- GLASER, B. Prehistorically modified soils of central Amazonia: a model for sustainable agriculture in the twenty-first century. **Philosophical Transactions of the Royal Society**. Amsterdam, v. 362, n. 1, p. 187-196, 2007.
- ISAAKS, E. H.; SRIVASTAVA, R. M. **An introduction to applied geostatistics**. New York: Oxford University Press, 1989. 561p.
- JARAMILLO, D. F. J.; GÓMEZ, M. L. A.; MONÁ, C. A. R.; SÁNCHEZ, H. A. G.; MEJÍA, F. A. Variables físicas que explican la variabilidad de suelo aluvial y su comportamiento espacial. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 12, p. 1707-1715, 2011.
- KEMPER, W. D.; CHEPIL, W. S. Aggregate stability and size distribution. In: Black, C. A. **Methods of soil analysis**. Madison: ASA, 1965.
- LIMA, H. N.; SCHAEGER, C. G. R.; MELLO, J. W. V.; GILKES, R. J.; KER, J. C. Pedogenesis and pre-Colombian land use of "Terra Preta Anthsol" (Indian black earth) of Western Amazonia. **Geoderma**, Amsterdam, v. 100, n. 2, p. 1-17, 2002.
- MARASCA, I.; OLIVEIRA, C. A. A.; GUIMARÃES, E. C.; CUNHA, J. P. A. R.; ASSIS, R. L.; PERIN, A.; MENEZES, L. A. S. Variabilidade espacial da resistência do solo à penetração e teor de água em sistema de plantio direto, na cultura da soja. **Bioscience Journal**. Uberlândia, v. 27, n. 2, p. 239-246, 2011.
- MARINS, A. C.; URIBE-OPAZO, M. A.; JOHANN, J. A. Estimadores New1 e New2 no estudo de dependência espacial da produtividade da soja e atributos físicos do solo de uma área comercial. **Engenharia na Agricultura**. Viçosa, v. 16, n. 2, p. 133-143, 2008.
- 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**, Fortaleza, v. 39, n. 1, p. 19-27, 2008.
- MINITAB RELEASE 14.1. Statistical Software. US/ Canadá. 2000.
- MOREIRA, A.; MALAVOLTA, E. **Variação das propriedades químicas e físicas do solo e na matéria orgânica em agroecossistemas da Amazônia Ocidental (Amazonas)**. Piracicaba: CENA/USP, 2002. 79p.
- NEVES JUNIOR, A. F. **Qualidade física de solos com horizonte antrópicos (Terra Preta de Índio) na Amazônia Central**. Escola Superior de Agricultura Luiz Queiroz - Piracicaba, 2008. 93p. Tese de Doutorado
- ROBERTSON, G.P. **GS+ geostatistics for the environmental sciences: GS+ user's guide**. Plainwell: Gamma Design Software, 1998.152p.
- RODRIGUES, M. S.; CORÁ, J. E.; FERNANDES, C. Spatial relations hips between soil attributes and corn yield in no-tillage system. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v. 36, n. 2, p. 599-609, 2012.

- SANTOS, D.; SOUZA, E. G.; NÓBREGA, L. H. P.; BAZZI, C. L.; GONÇALVES JÚNIOR, A. C. Variabilidade espacial de atributos físicos de um Latossolo Vermelho após cultivo de soja. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v. 16, n. 8, p. 843–848, 2012a.
- SANTOS, K. S.; MONTENEGRO, A. A. A.; ALMEIDA, B. G.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; ANDRADE, T. S.; FONTES JÚNIOR, R. V. P. Variabilidade espacial de atributos físicos em solos do vale aluvial no semiárido de Pernambuco. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande. v. 16, n. 8, p. 828–835, 2012b.
- SILVA, S. A.; SOUZA LIMA, J. S.; XAVIER, A. C.; TEIXEIRA, M. M. Variabilidade espacial de atributos químicos de um Latossolo Vermelho-amarelo húmico cultivado com café. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v. 34, n. 2, p. 15-22, 2010.
- SOUZA, Z. M; MARQUES JUNIOR, J.; PEREIRA G. T. Variabilidade espacial da estabilidade de agregados e matéria orgânica em solos de relevos diferentes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v. 39, n. 5, p. 491-499. 2004.
- TEIXEIRA, W. G.; MARTINS, G. C. Soil physical characterization. In: LEHMANN, J.; KERN, D.C.; GLASER, B.; WOODS, W.I. (Ed.). **Amazonian dark earths; origin, properties and management**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2003. p. 271-286.
- VIEIRA, S. R.; DECHEN, S. C. F.; SIQUEIRA, G. M.; DUFRANC, G. Variabilidade espacial de atributos físicos e químicos relacionados com o estado de agregação de dois Latossolos cultivados no sistema de semeadura direta. **Bragantia**. Campinas. v. 70, n. 1, p. 185-195, 2011.
- WARRICK, A. W.; NIELSEN, D. R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: Hillel, D. (Ed.). **Applications of soil physics**. Academic Press, v. 2, p. 319-344, 1980.
- WOODS, W. I. Development of antrosol research. In: LEHMANN, J.; KERN, D. C.; GLASER, B.; WOODS, W. I. (Ed.). **Amazonian dark earths; origin, properties and management**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2003. p. 3-14.
- ZANÃO JÚNIOR, L. A.; LANA, R. M. Q.; GUIMARÃES, E. C. Variabilidade espacial do pH, teores de matéria orgânica e micronutrientes em profundidade em um Latossolo Vermelho sob semeadura direta. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 37, n. 4, p. 1000-1007, 2007.