



Variabilidade espacial de agregados e estoque de carbono em solos antropogênicos sob floresta nativa

Lucas Firmo Dantas SILVA¹, José Maurício CUNHA², Milton Cesar Costa CAMPOS²,
Alan Ferreira Leite LIMA¹, José Carlos Marques PANTOJA¹, Marcelo Dayron Rodrigues SOARES¹,
Bruno Campos MANTOVANELLI³

¹Instituto de Educação, Agricultura e Ambiente, Universidade Federal do Amazonas, Humaitá, Amazonas, Brasil.

²Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Universidade Federal do Amazonas, Humaitá, Amazonas, Brasil.

³Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil
*E-mail: maujmc@gmail.com

Recebido em maio/2017; Aceito em agosto/2017.

RESUMO: As terras pretas de índio são caracterizadas por um horizonte A antrópico, de cor escura, com alto teor de matéria orgânica. No cenário atual, muitos aspectos de sua origem e formação ainda não estão elucidados, sendo objetos de pesquisa e discussão perante a comunidade científica. O objetivo deste trabalho foi avaliar o perfil da variabilidade espacial da estabilidade de agregados e estoque de carbono em terras pretas de índio sob floresta nativa na região de Novo Aripuanã, Amazonas. Foi delimitada uma área com 4.480 m², estabelecido com dimensão de 56 × 80 m e demarcados pontos equidistantes espaçados a cada 7 e 8 m, totalizando 88 pontos amostrais. Foram coletadas amostras em estrutura preservada em cilindros volumétricos e agregados nas camadas de 0,00-0,05; 0,05-0,10; 0,10-0,20 m, totalizando 264 amostras de solo. Determinou-se os seguintes atributos: diâmetro médio ponderado e o diâmetro médio geométrico, agregados nas classes < 2mm e > 2mm, densidade do solo, carbono orgânico e estoque de carbono. Os dados foram submetidos a análise descritiva e geoestatística. Os atributos estudados apresentaram dependência espacial em todas as camadas. O grau de dependência espacial foi classificado como moderado e forte. Foi constatado o efeito do carbono orgânico nas propriedades da estabilidade de agregados indicando assim a influência direta desta variável. Os semivariogramas escalonados evidenciaram heterogeneidade entre as variáveis avaliadas conjuntamente.

Palavras-chave: Amazonas, matéria orgânica, A antrópico.

Spatial variability of aggregates and carbon stock in anthropogenic soils under native forests

ABSTRACT: The black Indian lands are characterized by an Anthropogenic horizon of dark color, with high content of organic matter. In the current scenario, many aspects of its origin and formation are not yet elucidated, being objects of research and discussion before the scientific community. The objective of this work was to evaluate the spatial variability profile of the aggregate stability and carbon stock in black Indian lands under native forest in the region of Novo Aripuanã, Amazonas. An area of 4,480 m² was established, established with dimensions of 56 × 80 m and demarcated equidistant points spaced every 7 and 8 m, totaling 88 sample points. Samples were collected in a preserved structure in volumetric cylinders and aggregates in the layers of 0.00-0.05; 0.05-0.10; 0.10-0.20 m, totaling 264 soil samples. The following attributes were determined: weighted mean diameter and geometric mean diameter, aggregates in the classes <2mm and > 2mm, soil density, organic carbon and carbon stock. The data were submitted to descriptive and geostatistical analysis. The attributes studied presented spatial dependence in all layers. The degree of spatial dependence was classified as moderate and strong. It was verified the effect of organic carbon on the stability properties of aggregates, thus indicating the direct influence of this variable. The phased semivariogram showed heterogeneity among the variables evaluated together.

Keywords: Amazon; organic matter; A anthropic.

1. INTRODUÇÃO

A região Amazônica é reconhecida mundialmente pelas suas características de apresentar solos altamente intemperizados e com baixíssima fertilidade natural, muito em função dos processos de antropofização exercidos nestes ambientes, seja pela exploração agrícola ou a degradação de áreas a partir da ocupação e posterior abandono devido ao solo não apresentar condições aptas ao cultivo. Entretanto, dentre estas características citadas anteriormente, destacam-se solos com horizonte A antrópico (Au), popularmente

denominados “Terra Preta de Índio” (TPI) ou “Terra Preta Arqueológica” (TPA) (KÄMPF & KERN, 2005).

As TPIs são caracterizadas por um horizonte A antrópico, de cor escura, com alto teor de matéria orgânica. No cenário atual, muitos aspectos de sua origem e formação ainda não estão elucidados, sendo objetos de pesquisa e discussões perante a comunidade científica, tendo sido formado, provavelmente, pelo homem pré-colombiano e abandonado depois da invasão dos europeus (KERN e KÄMPF, 1989; MOREIRA, 2007). Porém, muitas dúvidas permanecem,

entre elas destaca-se a alta capacidade de manutenção da fertilidade com o uso contínuo da terra, mesmo nas condições edafoclimáticas locais.

Dentre as propriedades físicas e químicas destes solos, as que merecem destaque são o teor de material orgânico e o índice de estabilidade de agregados, que estão diretamente interligadas e apresentam efeitos que contribuem diretamente na qualidade destes solos e conseqüentemente na manutenção do estoque de carbono. A capacidade das TPI's de manter o alto teor de carbono orgânico ocorre, possivelmente, devido às características químicas e da resistência do material à decomposição microbiana, com isso seus efeitos atuam sobre a agregação do solo, levando a formação de agregados estáveis e atuando sobre o armazenamento de água, porosidade e densidade do solo (MOREIRA, 2007; SILVA et al., 2016).

Em estudos de TPI's sob cultivo de cacau na região Sul do Amazonas, foi observado que o efeito da matéria orgânica atuou positivamente na densidade do solo, agregação e estoque de carbono, indicando assim a qualidade exercida pela matéria orgânica nestes ambientes de cultivo e destacando o que vários estudos vem abordando (SILVA et al., 2016). AQUINO et al. (2014) estudando atributos físicos de solos antropogênicos encontram agregados estáveis e com diâmetros maiores quando comparados a solos não antropogênicos, atribuindo assim estes resultados à sua formação 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 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 por meio da krigagem, uma vez que o modelo da dependência espacial seja conhecido por

meio do semivariograma (SILVA et al., 2010). Visto que as TPI's apresentam grande variabilidade e não são homogêneas ao longo de sua mancha de distribuição, as técnicas geoestatísticas associadas ao uso de semivariogramas escalonados, pode se tornar ferramenta indispensável para se conhecer os efeitos ocorridos nestes ambientes, principalmente por se tratar de áreas naturais, visto que poucos são os estudos encontrados na literatura que procura desvendar estes efeitos espaciais a partir de ambientes nativos.

Dado à necessidade de entender o comportamento espacial da estabilidade de agregados e estoque de carbono, o objetivo deste trabalho foi avaliar o perfil da variabilidade espacial da estabilidade de agregados e estoque de carbono em Terra Preta de Índio sob floresta nativa na região de Novo Aripuanã, Amazonas.

2. MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo está localizada no sul do Estado do Amazonas, nas imediações da comunidade de Santo Antônio do Matupi, às margens da BR 230 - Rodovia Transamazônica, município de Novo Aripuanã (05° 48' 33" S 61° 18' 01" W 90 m) (Figura 1).

O estudo incluiu uma área de Terra Preta de Índio com fragmento florestal (FN) que vem sendo preservada a mais de vinte e cinco anos, com árvores secundárias de porte entre quinze e vinte metros de altura. Nas Tabelas 1 e 2 são apresentados os atributos físicos e químicos do solo, classificado como Latossolo Amarelo Eutrófico argissílico (EMBRAPA, 2013).

O material de origem é proveniente da Formação Içá, caracterizada com produto de sedimentação pleistocênica, coberta por depósitos eólicos (CPRM, 2005). O relevo é constituído por platôs com superfícies planas, sendo a zona de borda marcada por colinas e cristas alinhadas e localmente escarpadas, enquanto as áreas planas têm como principal característica a presença de uma superfície pediplanada (CPRM, 2005).

541

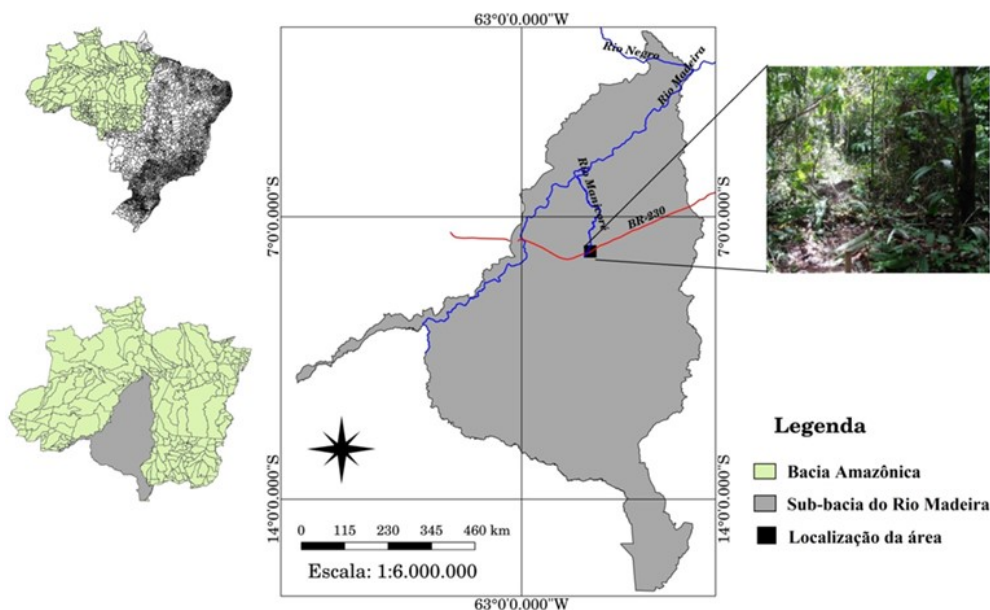


Figura 1. Mapa de localização da área com Terra Preta de Índio sob floresta no município de Novo Aripuanã, AM, Brasil.

Figure 1. Location map of the area with Indian black lands under forest in the municipality of Novo Aripuanã, AM, Brazil.

A zona climática da região é Clima Tropical Chuvoso, apresentando um período seco de pequena duração. A pluviosidade média varia entre 2,250 e 2,750 mm ao ano, com período chuvoso entre outubro a junho. As temperaturas médias anuais variam entre 25°C e 27°C e a umidade relativa fica entre 85 e 90% (BRASIL, 1978).

Foi escolhida uma área de TPI sob floresta nativa no qual foi delimitada uma área de 4480 m² que abrangeu a mancha de maior representatividade e foi estabelecido

um grid com dimensão 56 × 80 m e demarcados pontos equidistantes nessa malha, espaçados a cada 7 e 8 m, totalizando 88 pontos amostrais. Esses pontos foram georreferenciados com um equipamento de GPS Garmin Etrex (South American'69), para posterior construção do modelo digital de elevação (MDE). Foram coletadas amostras em estrutura preservada em cilindros volumétricos e agregados nas profundidades de 0,00-0,05; 0,05-0,10; 0,10-0,20 m, totalizando 264 amostras de solo.

Tabela 1. Características químicas do solo de Terra Preta de Índio em Novo Aripuanã, Amazonas, Brasil, 2015
Table 1. Chemical soil characteristics of Indian black lands in Novo Aripuanã, Amazonas, Brazil 2015

Perfil	pH em H ₂ O	pH em KCl	ΔpH	Ca	Mg	K	SB	Al	H+Al	CTC	V	m	P	CO	MO
				cmol dm ⁻³						(%)		mg dm ⁻³	----g kg ⁻¹ ----		
0-14	5,49	5,78	0,29	4,71	0,4	0,05	5,16	0,02	5,92	11,1	46,62	0,39	50	26,61	45,77
14-38	5,92	5,29	-0,63	6,02	0,62	0,03	6,67	0	4,47	11,17	59,97	0	117	25,88	44,51
38-51	6,12	5,50	-0,62	3,86	0,54	0,01	4,41	0	2,54	6,96	63,47	0	56	14,14	24,33
51-76	6,2	5,62	-0,58	2,22	0,68	0,01	2,91	0	1,2	4,12	70,74	0	24	7,28	12,52
76-89	6,27	5,35	-0,92	1,48	0,63	0,01	2,12	0	1,3	3,42	61,92	0	19	4,51	7,75
89-128	6,25	5,27	-0,98	1,1	0,62	0,01	1,73	0	1,07	2,81	61,82	0	24	2,89	4,98
128-170	6,31	5,33	-0,98	0,79	0,54	0,00	1,33	0	0,83	2,16	61,84	0	15	2,63	4,53

ΔpH: diferença entre pH em H₂O com pH em KCl; Ca: cálcio; Mg: magnésio; K: potássio; Al: alumínio; P: fósforo; CO: carbono orgânico; MO: matéria orgânica; H+Al: acidez potencial; SB: soma de bases; CTC: capacidade de troca catiônica; V: índice de saturação por bases; m: índice de saturação por alumínio;

Tabela 1. Características físicas do solo de Terra Preta de Índio em Novo Aripuanã, Amazonas, Brasil, 2015.
Table 2. Physical soil characteristics of Indian black lands in Novo Aripuanã, Amazonas, Brazil, 2015.

Perfil	Ds		Dp	VTP	Areia	Silte	Argila	S/A
	mg kg ⁻¹			%	g kg ⁻¹			
0-14	1,11	1,11	2,58	56,79	689,05	136,51	174,44	0,78
14-38	1,21	1,21	2,53	52,13	693,16	132,88	173,96	0,76
38-51	1,40	1,40	2,60	46,11	747,59	99,25	153,16	0,65
51-76	1,63	1,63	2,66	38,81	725,08	77,64	197,28	0,39
76-89	1,76	1,76	2,60	32,35	646,32	140,64	213,04	0,66
89-128	1,73	1,73	2,63	34,32	623,60	121,20	255,20	0,47
128-170	1,64	1,64	2,59	36,52	628,54	76,06	295,40	0,26

Ds: densidade do solo; Dp: densidade de partícula; VTP: volume total de poros; S/A: relação silte e argila.

Para os ensaios de estabilidade de agregados, estes foram manualmente confeccionados para apresentarem diâmetro médio de 5,9 mm (obtidos a partir de tamisação a seco em peneira de 7,1 mm e retidos na peneira de 4,7 mm). A estabilidade de agregados via úmida foi determinada conforme o princípio de umedecimento lento, descrito por KEMPER; ROSENAU (1986). Depois desse pré-umedecimento, as amostras foram mantidas em repouso em temperatura ambiente por 10 minutos. Em seguida, estas amostras foram colocadas no aparelho de oscilação vertical sobre um conjunto de peneiras de 2,00 e 1,00 mm, 0,50; 0,25; 0,125 e 0,063 μm de malha, conforme descrito por KEMPER; ROSENAU (1986). A partir dos valores dessas massas e conhecendo os teores de água das amostras de solo submetidas ao tamisamento, foram calculados a porcentagem de agregados retidos na peneira de 2 mm (agregados > 2 mm), o diâmetro médio ponderado (DMP) e o diâmetro médio geométrico (DMG).

A determinação da densidade do solo foi realizada conforme descrito em GROSSMAN; REINSCH (2002), onde o solo contido em anel volumétrico é seco em estufa à 105°C, até peso constante.

O carbono total foi determinado pelo método de Walkley-Black modificado por YEOMANS; BREMNER (1988), a matéria orgânica por sua vez, foi estimada com

base no carbono orgânico. O estoque de carbono (Est C), foi calculado pela da equação 1 de (WELDKAMP, 1994):

$$\text{Est C} = (\text{CO} \times \text{Ds} \times e) \quad (1)$$

em que: Est C = estoque de carbono orgânico do solo (Mg ha⁻¹); CO = teor de carbono orgânico (g kg⁻¹); Ds = densidade do solo (kg dm⁻³); e = espessura da camada considerada (cm).

Após obtenção dos dados, foram realizadas as análises exploratórias, calculando-se a média, a mediana, o desvio padrão, o coeficiente de variação, de assimetria e de curtose. O coeficiente de variação (CV) foi calculado com base no critério de WARRICK; NIELSEN (1980), que classifica o CV como baixo <12%, médio de 12% a 24% e alto >24%. Para a hipótese de normalidade, foi utilizado o teste de Kolmogorov-Smirnov. Para a caracterização da variabilidade espacial, utilizou-se a análise geoestatística. Sob a teoria da hipótese intrínseca, o semivariograma experimental foi estimado pela Eq. 2:

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

em que: $\hat{\gamma}(h)$ = 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 ; variância estrutural, C_1 ; patamar, $C_0 + C_1$; e alcance, a) (TRANGMAR et al., 1985). Na determinação da existência ou não da dependência espacial (DE), 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 coeficiente de determinação (R^2). Para analisar o grau da dependência espacial (GDE) dos atributos em estudo, utilizou-se a classificação de CAMBARDELLA et al. (1994), em que são considerados dependência espacial forte os semivariogramas que têm efeito pepita menor ou igual a 25% do patamar, moderada quando está entre 25% e 75% e fraca quando for maior que 75%.

Para a modelagem dos semivariograma escalonado, primeiramente foram modelados os atributos do solo no software Gs+, para a escolha do melhor modelo, para que se fosse obtido distância média e semivariância média de cada atributo, estes valores foram colocados em planilha Excel, para a modelagem do semivariograma escalonado pela Eq. 3.

$$\hat{\gamma}(h) = C_0 + C_1 \left[1 - \exp\left(-3 \frac{h}{a}\right) \right], 0 < h < d \quad (3)$$

em que: C_0 = efeito pepita; $C_0 + C_1$ = patamar; $[(C_0/(C_0 + C_1)) \times 100]$ = grau de dependência espacial (GDE); a = distância com que os atributos estão correlacionados, de acordo com uma área com um raio uniforme estimado; d = máxima distância em que o semivariograma foi definido.

3. RESULTADOS

Os valores de carbono orgânico CO oscilaram conforme as camadas avaliadas variando entre 22,96; 23,28 e 18,07 g kg⁻¹, respectivamente as camadas de 0,00-0,05; 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m (Tabela 3). A partir da análise descritiva dos dados apresentados na Tabela 3, percebe-se que os coeficientes de curtose e assimetria encontram-se com valores próximos a zero tendendo neste caso a valores que evidenciam a uma aproximação da normalidade, ou seja, estes dados tendem a serem simétricos a partir da área estudada. Esse fato é justificado pelos valores de média e mediana estarem próximos, corroborando RODRIGUES et al. (2012); AQUINO et al. (2014); SILVA et al. (2016).

Os resultados referentes ao teste Kolmogorov-Smirnov indicou normalidade para todas os atributos estudados. Contudo, a condição de normalidade não é caracterizada como um dos pré-requisitos fundamentais para a realização das análises geoestatísticas (CAMBARDELLA et al., 1994). Todavia, é desejável que a distribuição dos dados não tenha caudas muito alongadas, o que poderia comprometer a análise, principalmente as estimativas da krigagem, que são baseadas em valores médios (ISAACS & SRIVASTAVA, 1989). Desta forma, as informações geradas pela análise exploratória permitem afirmar que, as variáveis apresentam distribuição suficientemente simétrica para o emprego das análises geoestatísticas e maior precisão das estimativas de krigagem por meio de seus valores médios.

Tabela 2. Estatística descritiva dos atributos do solo em Terra Preta de Índio sob floresta nativa na região de Novo Aripuanã, Amazonas, 2015.

Table 3. Descriptive statistics of soil attributes in Indian black lands under native forest in the region of Novo Aripuanã, Amazonas, 2015.

Estatística	Densidade do Solo	Carbono Orgânico	Estoque de Carbono	Diâmetro Médio Geométrico	Diâmetro Médio Ponderado	Agregados <2mm	Agregados >2mm
	mg m ⁻³	g kg ⁻¹	Mg ha ⁻¹	-----mm-----		-----%-----	
0,0-0,05 m							
Mediana	1,27	22,17	141,70	2,74	3,09	8,83	91,13
Média	1,27	22,96	145,80	2,70	3,07	8,94	90,94
Desvio Padrão	0,08	4,50	25,80	0,28	0,13	4,20	4,11
Coefficiente de Variação (%)	6,30	19,60	17,82	10,54	4,45	47,00	4,52
Curtose	0,05	0,29	0,40	-0,22	0,31	-0,32	-0,38
Assimetria	0,17	-0,53	-0,02	-0,60	-0,80	0,44	-0,52
Teste de Normalidade (KS)	0,20*	0,20*	0,20*	0,00	0,20*	0,20*	0,20*
0,05-0,10 m							
Mediana	1,37	24,00	161,47	2,08	2,74	20,92	78,92
Média	1,36	23,28	158,30	2,04	2,64	24,17	75,26
Desvio Padrão	0,07	4,97	30,29	0,47	0,37	13,17	12,79
Coefficiente de Variação (%)	5,29	21,35	19,18	23,26	13,96	54,50	16,99
Curtose	-0,13	0,02	0,03	-0,84	-0,29	-0,39	-0,42
Assimetria	0,26	-0,23	-0,37	-0,30	-0,68	0,54	-0,64
Teste de Normalidade (KS)	0,20*	0,20*	0,07*	0,20*	0,00	0,00	0,04
0,10-0,20 m							
Mediana	1,37	17,69	247,40	1,21	1,96	46,84	50,78
Média	1,37	18,07	247,56	1,32	1,96	47,19	50,53
Desvio Padrão	0,09	6,53	82,43	0,48	0,53	19,68	19,88
Coefficiente de Variação (%)	6,57	36,14	33,74	36,56	27,04	42,71	39,34
Curtose	-0,22	-0,12	-0,17	-0,29	-0,70	-0,33	-0,20
Assimetria	-0,50	-0,68	-0,44	0,52	0,00	-0,13	-0,27
Teste de Normalidade (KS)	0,20*	0,08*	0,20*	0,00	0,20*	0,20*	0,20*

De acordo com a classificação do coeficiente de variação (CV) proposta por (WARRICK; NIELSEN, 1980), na Tabela 3, o DMG e DMP e classe de agregados >2mm na profundidade 0,0-0,05m apresentaram valores baixos (<12 %) indicando a menor variabilidade ou maior homogeneidade dos dados. As demais variáveis apresentaram CV entre 12% e 60%, indicando assim moderada variabilidade dos dados. Tais resultados obtidos estão em acordo com trabalhos desenvolvidos por (CRUZ et al., 2010; CAMPOS et al., 2011 e AQUINO et al., 2014), o qual discorrem que a média e baixa variabilidade deve-se à similaridade dos processos de formação destes solos antropogênicos e a atuação efetiva da matéria orgânica.

Os resultados das análises geoestatísticas para os atributos estudados são apresentados na Tabela 4. Foi observado que todos os atributos estudados apresentaram estrutura de dependência espacial, visto que não foi constatado efeito aleatório nas variáveis, indicando assim que a variação espacial foi constatada a partir da área delimitada.

Os ajustes dos semivariogramas pela análise geoestatística evidenciou que os atributos estudados foram homogêneos. As técnicas geoestatísticas conseguem explicar

com maior precisão a variabilidade espacial quando comparado ao coeficiente de variação (CV), pois o CV caracteriza apenas a variação do conjunto de dados (populacional), enquanto as ferramentas geoestatísticas são técnicas refinadas que explicam a variação espacial dos atributos por meio do alcance e grau de dependência espacial. Com isso as estimativas de krigagem apresentam maior confiabilidade, quando são utilizados o GDE e alcance de dependência espacial como critérios de caracterização da variabilidade espacial.

O grau de dependência espacial (GDE) para os semivariogramas foi classificado como moderada dependência espacial para COT, Est C, agregados < 2mm e > 2mm na camada de 0,0-0,05 m, enquanto que para a camada de 0,05-0,10 m apenas COT e Est C, para a camada de 0,10-0,20 m apenas DMG, DMP e agregados < 2 mm e > 2mm apresentaram estrutura de dependência espacial moderada (25% < GDE < 75%). Os atributos que apresentaram forte dependência espacial foram DMG e DMP na camada de 0,0-0,05 m, para a camada de 0,05-0,10 m DMG, DMP e agregados < 2mm e > 2mm e camada de 0,10-0,20 houve apenas COT e Est C (GDE < 25%) (Tabela 4).

Tabela 3. Modelos e parâmetros estimados aos semivariogramas dos atributos do solo em Terra Preta de Índio sob floresta nativa na região de Novo Aripuanã, Amazonas, 2015.

Table 4. Estimated models and parameters to semivariograms of soil attributes in Indian black lands under native forest in the region of Novo Aripuanã, Amazonas, 2015.

Geoestatística	Carbono Orgânico	Estoque de Carbono	Diâmetro Médio Geométrico	Diâmetro Médio Ponderado	Agregados <2mm	Agregados >2mm
	----g kg ⁻¹ ----		----mm----		----%----	
0,0-0,05 m						
Modelo	Exp	Exp	Exp	Exp	Exp	Exp
Efeito Pepita	25,90	8,70	0,01	0,00	12,87	6,21
Patamar	87,20	17,41	0,08	0,01	25,75	20,91
Alcance (m)	20,73	56,67	14,55	14,97	120,33	27,55
Grau de Dependência Espacial (%)	29,70	49,97	10,53	0,10	49,98	29,70
Coeficiente de Determinação	0,89	0,88	0,84	0,86	0,94	0,77
Validação Cruzada (%)	0,98	0,87	1,00	0,94	0,95	1,02
0,05-0,10 m						
Modelo	Exp	Exp	Exp	Exp	Exp	Exp
Efeito Pepita	44,50	5,28	0,01	0,01	7,20	8,90
Patamar	128,90	11,49	0,23	0,13	171,00	168,80
Alcance (m)	51,00	31,68	10,09	11,94	14,28	15,12
Grau de Dependência Espacial (%)	34,52	45,95	4,35	7,69	4,21	5,27
Coeficiente de Determinação	0,98	1,00	0,87	0,86	0,83	0,82
Validação Cruzada (%)	0,88	0,82	0,96	0,93	1,02	1,02
0,10-0,20 m						
Modelo	Exp	Exp	Exp	Exp	Exp	Exp
Efeito Pepita	34,60	20,00	0,08	0,11	139,00	115,30
Patamar	189,10	121,80	0,23	0,36	466,20	427,70
Alcance (m)	31,77	67,59	29,58	70,41	60,19	61,86
Grau de Dependência Espacial (%)	18,29	16,42	34,78	30,55	29,82	26,96
Coeficiente de Determinação	0,99	0,94	0,88	0,93	0,87	0,87
Validação Cruzada (%)	0,92	0,95	0,89	0,98	0,98	0,99

Os semivariogramas escalonados dos atributos são apresentados na Figura 2, onde para os atributos estudados o modelo que melhor se ajustou foi o modelo exponencial, evidenciando o ajuste encontrado para as variáveis individuais. O grau de dependência espacial (GDE) apresentou-se alto para os atributos nas camadas de 0,0 - 0,05 e 0,05 - 0,10 m e moderado na camada de 0,10 - 0,20 m demonstrando assim comportamento variado entre os atributos avaliados.

4. DISCUSSÃO

Para os valores de carbono orgânico CO, por se tratar de um ambiente natural com horizonte antrópico, os resultados da Tabela 3 percebe-se valores elevados quando comparados a solos adjacentes encontrados para esta mesma região, conforme destacam estudos desenvolvidos por CAMPOS et al. (2012). Resultados similares foram obtidos por CAMPOS et al., (2011) e SANTOS et al., (2013). O teor elevado de carbono nas TPIs, mesmo estando em ambiente propício à

decomposição da matéria orgânica e lixiviação, pode ser atribuído à composição da matéria orgânica rica em carbono pirogênico (carvão), adicionada ao solo pela atividade dos povos indígenas pré-colombianos (GLASER et al., 2000).

Os elevados teores de carbono orgânico são atribuídos às alterações antrópicas, em função do uso destinado a lixeiras exercidas pelos povos pré-colombianos, ao qual este solo sofreu. FALCÃO & BORGES (2006) relatam que as áreas de TPA apresentam elevados teores de matéria orgânica e mais intensa atividade biológica que os solos não antropogênicos, os autores ainda relatam que estes valores elevados podem ser provenientes de restos de ossos humanos e de animais.

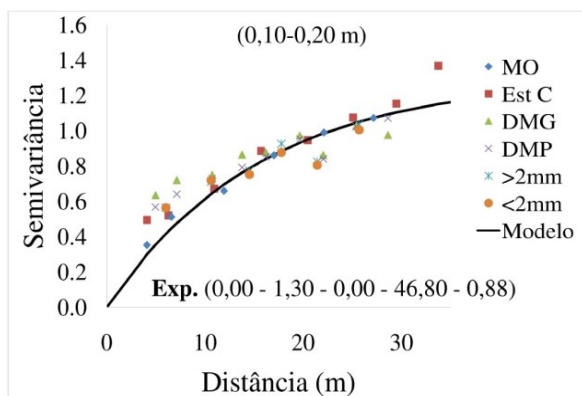
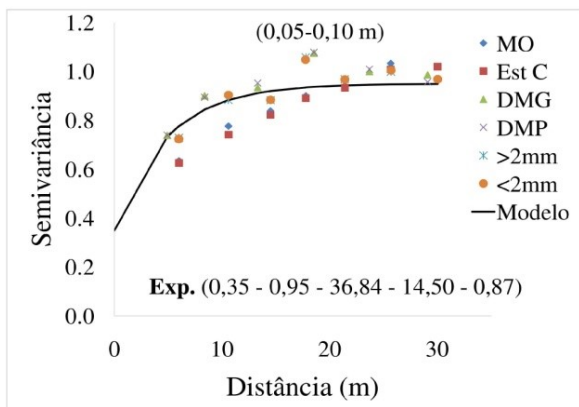
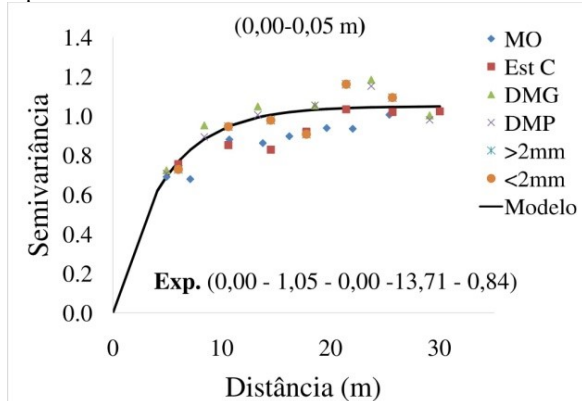


Figura 2. Parâmetros e modelos estimados aos semivariogramas dos atributos do solo em Terra Preta de Índio sob floresta nativa na região de Novo Aripuanã, Amazonas. Modelo; Exp. = Exponencial; [modelo (efeito pepita - patamar - GDE - alcance - R²)]. GDE = grau de dependência espacial; R² = coeficiente de determinação.

Figure 2. Parameters and models estimated to semivariograms of soil attributes in Indian black lands under native forest in the region of Novo Aripuanã, Amazonas. Fashion model; Exp. = Exponential; [Model (nugget effect - landing - GDE - range - R²)]. GDE = degree of spatial dependence; R² = coefficient of determination.

Avaliando em termos de volume de solo (g kg^{-1}), observou-se aumento no Est C, devido à diferença na espessura das camadas e à tendência de aumento da densidade conforme as camadas avaliadas (Tabela 3). Nota-se que conforme ocorre aumento da profundidade os valores tendem a aumentar proporcionalmente de 145,80 a 247,56 Mg ha^{-1} . Este fato ocorre por se tratar de um ambiente nativo e não perturbado, e com isso a manutenção de poros e agregados estruturais são mantidos, preservando assim o carbono neste ambiente. De acordo com MANTOVANELLI et al. (2015), as práticas agrícolas influenciam na perda de estoques de carbono do solo, nos quais o preparo do solo e a cultura implantada contribuem para este decréscimo. Evidentemente que o grande aporte de COT favorece com que este tipo de solo mantenha seu equilíbrio em relação ao Est C.

Os valores de COT encontrados neste presente estudo, estão muito abaixo dos encontrados por SILVA et al. (2016) em área sob cultivo de cacau que variou de 48 a 59 g kg^{-1} , este fator deve-se diretamente ao efeito de proporção da mancha de estudo, visto que as TPIs não apresentam homogeneidade conforme sua distribuição e que a qualidade da matéria orgânica a partir de suas frações possa inferir neste resultado.

Quanto a distribuição do tamanho de agregados avaliadas pelos índices DMG e DMP, percebe-se a formação de agregados maiores a partir da camada superficial de 0,0-0,05 m (Tabela 3), juntamente com uma maior percentagem de agregados de tamanho maior que 2 mm, corroborando AQUINO et al. (2014) e SILVA et al. (2016). Estes resultados estão relacionados diretamente à formação destes 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; AQUINO et al., 2014).

Nos resultados da geoestatística, as variáveis que evidenciam forte dependência espacial são mais influenciadas por propriedades intrínsecas do solo, ou seja, pelos fatores de formação do solo, enquanto a dependência espacial moderada e baixa possivelmente seria em razão da homogeneização do solo (CAMBARDELLA et al., 1994). Resultados semelhantes foram observados por ALHO et al. (2014) e OLIVEIRA et al. (2015) estudando solos do Sul do Amazonas.

O modelo exponencial ajustou-se a todos os atributos estudados, caracterizado assim como aquele que melhor se ajusta às propriedades físicas e químicas do solo, corroborando CAJAZEIRA & ASSIS JÚNIOR (2011); SILVA et al. (2016); MANTOVANELLI et al. (2016); ALHO et al. (2016) (tabela 4). A área com TPA apresentou valores de alcance menor em relação ao estipulado pela malha amostral em estudo, indicando assim a variabilidade dos dados. Esses valores de alcance forneceram informações a respeito da homogeneidade da distribuição espacial em relação às propriedades estudadas no ambiente de estudo, corroborando OLIVEIRA et al. (2015).

A distância máxima na qual os atributos estão espacialmente correlacionados, foi comparada para os diferentes atributos do solo na área estudada. Avaliando o alcance dos semivariogramas individuais, foi possível observar que os atributos estudados se estabeleceram entre 14 m e 70 m, exceto a variável de agregados < 2mm que

apresentou alcance de dependência espacial da ordem de 120,33 m (Tabela 4). Este resultado obtido indica a maior continuidade na distribuição espacial desta variável, e que neste caso a ação da matéria orgânica é mais atuante na formação de microagregados.

Pode-se afirmar que quanto maior o alcance, menor é a variabilidade, pois, segundo MARQUES JÚNIOR et al. (2008), o alcance representa a distância em que os pontos amostrais estão correlacionados entre si, ou seja, os pontos localizados numa área de raio igual ao alcance são mais homogêneos entre si.

Avaliando os valores do alcance ajustados aos modelos dos semivariogramas escalonados, observou-se que o menor alcance de 0,0 m foi constatado na profundidade de 0,0 – 0,05 e 0,10 – 0,20 m. E o maior alcance para profundidade 0,05 – 0,10 m com 36, 84 m. Esses valores a partir dos semivariogramas escalonados evidenciaram que possivelmente existe uma heterogeneidade dos atributos na área de TPI, fato justificado em razão dos intensos fatores de formação, principalmente do clima, material de origem e também pelo fato desses solos serem formados por influência antrópica, o que ocasiona a maior variabilidade dos atributos estudados (Figura 2).

5. CONCLUSÕES

Os atributos estudados apresentaram dependência espacial em todas as camadas. O grau de dependência espacial foi classificado como forte e moderado para as camadas estudadas.

A partir dos valores médios obtidos para os atributos é constatado o efeito do carbono orgânico nas propriedades da estabilidade de agregados, indicando assim a influência direta desta variável.

Os semivariogramas escalonados evidenciaram heterogeneidade entre as variáveis avaliadas conjuntamente.

6. REFERÊNCIAS

- ALHO, L. C.; CAMPOS, M. C. C.; MANTOVANELLI, B. C.; SILVA, D. M. P.; SOUZA, Z. M.; CUNHA, J. M.; RODRIGUES, M. D. Physical and geospatial attributes of inceptisols and ultisols under native vegetation in Humaitá, AM, Brazil. **Bioscience Journal**, Uberlandia, v. 32, n. 2, p. 422-430, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.14393/BJ-v32n2a2016-32656>
- ALHO, L. C.; CAMPOS, M. C. C.; SILVA, D. M. P.; MANTOVANELLI, B. C.; SOUZA, Z. M. Variabilidade espacial de estabilidade de agregados e estoque de carbono em Cambissolo e Argissolo. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 44, p. 246-254, 2014.
- AQUINO, R. E.; CAMPOS, M. C. C.; OLIVEIRA, I. A.; MARQUES JÚNIOR, J.; SILVA, D. M. P.; SILVA, D. A. P. Variabilidade espacial de atributos físicos de solos antropogênicos e não antropogênicos na região de Manicoré, AM. **Bioscience Journal**. Uberlandia, v. 30, n. 4, p. 988-997, 2014.
- BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Projeto RADAM Brasil - Folha SB. 20, Purus. Rio de Janeiro, 1978. 561p. http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv24035_a.pdf
- CAJAZEIRA, J. P.; ASSIS JÚNIOR, R. N. Variabilidade espacial das frações primárias e agregados de um Argissolo no Estado do Ceará. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 42, n. 2, p. 258-267, 2011.
- 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**, Fitchburg, v. 58, n. 5, p. 1501-1508, 1994.
- 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@ambiente On-line**, Boa Vista, v. 6, n. 2, p. 102-109, 2012.
- 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. 18-27, 2011.
- CRUZ, J. S.; ASSIS JÚNIOR, R. N.; MATIAS, S. S. R.; TAMAYO, J. H. C.; TAVARES, R. C. Análise espacial de atributos físicos e carbono orgânico em Argissolo vermelho-amarelo cultivado com cana de açúcar. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 2, p. 271-278, 2010. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542010000200001>
- EMBRAPA, 2013. Centro Nacional de Pesquisa do Solo. Manual de métodos de análise de solo. 2 ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solo.
- FALCÃO, N. P. S.; BORGES, L. F. Efeito da fertilidade de terra preta de índio da Amazônia Central no estado nutricional e na produtividade do mamão hawái (Caricapapaya L.). **Acta Amazônica**, Manaus, v. 36, n. 4, p. 401-406, 2006.
- GLASER, B.; BALASHOV, E.; HAUMAIER, L.; GUGGENBERGER, G.; ZECH, W. Black carbon in density fractions of anthropogenic soils of the Brazilian Amazon region. **Geochemical**, Rio de Janeiro, v. 31, n. 7, p. 669-678, 2000. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0146-6380\(00\)00044-9](https://doi.org/10.1016/S0146-6380(00)00044-9)
- GROSSMAN, R. B.; REINSCH, T. G. Bulk density and linear extensibility. In: DANE, J. H.; TOPP, C. (Eds.) **Methods of soil analysis: Physical methods**. Madison: Soil Science of Society of America, 2002. p. 201-228.
- ISAAKS, E. H.; SRIVASTAVA, R. M. **An introduction to applied geostatistics**. New York: Oxford University Press, 1989. 561p.
- KÄMPF, 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.; CARDOSO, E. J. (Eds.) **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005. p. 277-320.
- KEMPER, W. D.; ROSENAU, R. C. Aggregate stability and size distribution. In: KLUTE, A. (Ed.) **Methods of soil analysis**. 2. ed. American Society of Agronomy, Madison, Part 1, 1986. p. 425-442.
- KERN, D. C.; KÄMPF, N. O efeito de antigos assentamentos indígenas na formação de solos com terra preta arqueológicas na região de Oriximiná - PA. **Revista**

- Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 13, n. 2, p. 219-225, 1989.
- MANTOVANELLI, B. C.; CAMPOS, M. C. C.; ALHO, L. C.; FRANCISCON, U.; NASCIMENTO, M. F.; SANTOS, L. A. C. Distribuição espacial dos componentes da acidez do solo em área de campo natural na região de Humaitá, Amazonas. **Revista de Ciências Agroambientais**, Alta Floresta, v. 14, n. 1, p. 1-9, 2016.
- MANTOVANELLI, B. C.; SILVA, D. A. P.; CAMPOS, M. C. C.; GOMES, R. P.; SOARES, M. D. R.; SANTOS, L. A. C. Avaliação dos atributos do solo sob diferentes usos na região de Humaitá, Amazonas. **Amazonian Journal**, Belém, v. 58, n. 2, p. 122-130, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.4322/rca.1822>
- 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, p. 133-143, 2008.
- MARQUES JÚNIOR, J.; SOUZA, Z. M.; PEREIRA, G. T.; BARBIERI, D. M. Variabilidade espacial de matéria orgânica, P, K e CTC de um Latossolo cultivado com cana-de-açúcar por longo período. **Revista de Biologia e Ciência da Terra**, São Cristóvão, v. 8, n. 1, p. 125-143, 2008.
- MOREIRA, A. Fertilidade, matéria orgânica e substâncias húmicas em solos antropogênicos da Amazônia Ocidental. **Bragantia**, Campinas, v. 66, n. 2, p. 307-315, 2007.
- OLIVEIRA, I. A.; CAMPOS, M. C. C.; FREITAS, L.; SOARES, M. D. R. Caracterização de solos sob diferentes usos na região sul do Amazonas. **Acta Amazônica**. Manaus, v. 45, p. 1-12, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4392201400555>
- ROBERTSON, G. P. **GS+: Geostatistics for the environmental sciences (version 5.1 for windows)**. 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. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832012000200029>
- SANTOS, L. A. C.; CAMPOS, M. C. C.; AQUINO, R. E.; BERGAMIN, A. C.; SILVA, D. M. P.; MARQUES JÚNIOR, J.; FRANÇA, A. B. C. Caracterização de terras pretas arqueológicas no Sul do Estado do Amazonas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v. 37, n. 4, p. 825-836, 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832013000400001>
- SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – CPRM. **Base Cartográfica digital obtida pela CPRM, a partir da base cartográfica integrada digital do Brasil ao milionésimo elaborada pelo IBGE**. Manaus: SUREG, 2005.
- SILVA, D. M. P.; CAMPOS, M. C. C.; ALHO, L. C.; CUNHA, J. M.; PAULA NETO, de. P. Variação espacial da estabilidade de agregados e estoque de carbono e terra preta arqueológica sob cultivo de cacau. **Revista Brasileira de Agroecologia**, Pelotas, v. 11, n. 3, p. 179-187, 2016.
- 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. 1, p. 15-22, 2010.
- TRANGMAR, B. B.; YOST, R. S.; UEHARA, G. Applications of geostatistics to spatial studies of soil properties. **Advances in Agronomy**, v. 38, p.45-94, 1985.
- WARRICK, A. W.; NIELSEN, D. R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D. **Applications of soil physics**. New York: Academic Press, 1980. cap. 2, p. 319-344.
- WELDKAMP, E. Organic carbon turnover in three tropical soils under pasture after deforestation. **Soil Science Society of America Journal**, Fitchburg, v. 58, n. 1, p. 175-180, 1994.
- YEOMANS, J. C.; BREMNER, J. M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 19, n. 13, p. 1467-1476, 1988. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/00103628809368027>
- 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, n. 4, v. 37, p. 1000-1007, 2007.