

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
INSTITUTO DE EDUCAÇÃO AGRICULTURA E AMBIENTE
CAMPUS VALE DO RIO MADEIRA
CURSO DE AGRONOMIA

**VARIABILIDADE ESPACIAL DOS ATRIBUTOS QUÍMICOS EM ÁREA DE
TERRA PRETA ARQUEOLÓGICA SOB CULTIVO DE CAFÉ NA REGIÃO DE
APUÍ, AM**

SELMA FERREIRA VIANA

HUMAITÁ

2017

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
INSTITUTO DE EDUCAÇÃO AGRICULTURA E AMBIENTE
CAMPUS VALE DO RIO MADEIRA
CURSO DE AGRONOMIA

SELMA FERREIRA VIANA

**VARIABILIDADE ESPACIAL DOS ATRIBUTOS QUÍMICOS EM ÁREA DE
TERRA PRETA ARQUEOLÓGICA SOB CULTIVO DE CAFÉ NA REGIÃO DE
APUÍ, AM**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentada ao Curso de Graduação
em Agronomia da Universidade Federal
do Amazonas, como requisito parcial
para a obtenção do título de Bacharel
em Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Milton César Costa Campos

HUMAITÁ

2017

SELMA FERREIRA VIANA

VARIABILIDADE ESPACIAL DOS ATRIBUTOS QUÍMICOS EM ÁREA DE
TERRA PRETA ARQUEOLÓGICA SOB CULTIVO DE CAFÉ NA REGIÃO DE
APUÍ, AM

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Graduação
em Agronomia da Universidade Federal
do Amazonas, como requisito parcial
para a obtenção do título de Bacharel
em Agronomia.

Aprovado em de de 2017.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Milton César Costa Campos
Universidade Federal do Amazonas

Julimar da Silva Fonseca
Universidade Federal do Amazonas

Half Weinberg Corrêa Jordão
Universidade Federal do Amazonas

Dedico este trabalho primeiramente a Deus, por ser essencial em minha vida, autor de meu destino e meu guia, ao meu pai Osvaldino que apesar de todas as dificuldades me fortaleceu e que para mim foi muito importante, minha mãe Ângela heroína que me deu apoio, incentivo nas horas difíceis, de desânimo e cansaço, e aos meus irmãos Simone, Samuel, César e Vitória, que com muito carinho e apoio não mediram esforços para que eu chegasse até esta etapa de minha vida.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus que permitiu que tudo isso acontecesse, ao longo de minha vida, e não somente nestes anos como universitária, mas que em todos os momentos é o maior mestre que alguém pode conhecer.

À Universidade Federal do Amazonas (UFAM), em especial ao Instituto de Educação, Agricultura e Ambiente (IEAA/UFAM).

A FAPEAM, CNPq e a PROEXT/ UFAM, que financiaram minhas bolsas durante a graduação.

Ao Prof. Dr. Milton César Costa Campos pela orientação, apoio e confiança.

Agradeço a todos os professores por me proporcionar o conhecimento não apenas racional, mas a manifestação do caráter e afetividade da educação no processo de formação profissional, não somente por terem me ensinado, mas por terem me feito aprender. Muito obrigado, aos professores dedicados aos quais sem nominar terão os meus eternos agradecimentos.

Obrigada meus irmãos e sobrinhos, que nos momentos de minha ausência dedicados ao estudo superior, sempre fizeram entender que o futuro é feito a partir da constante dedicação no presente!

Meus agradecimentos aos amigos Wellisan Sá, Erika Micheilla, Vanessa Gomes, Flaviana Ximenes, Maria das Dores Parente, Isma Souza, Juzele Gomes, Thamiris Machado, Willian Barros, Roneres Deniz, Romaria Gomes, companheiros de trabalhos e irmãos na amizade que fizeram parte da minha formação e que vão continuar presentes em minha vida com certeza.

Ao grupo de Pesquisa Solos e Ambientes Amazônicos, onde tive a oportunidade de realizar este trabalho e adquirir substancial conhecimento, em especial a toda equipe do Laboratório de Solos e Nutrição de Plantas do IEAA.

A todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigado.

RESUMO

Na Amazônia, os solos que apresentam horizonte A antrópico estão associados à prolongada ocupação humana pré-histórica, realizada por sociedades indígenas do período pré-colombiano, de coloração escura, com presença de fragmentos cerâmicos, popularmente denominado Terra Preta de Índio ou Terra Preta Arqueológica. Desse modo, o objetivo desse trabalho foi avaliar a variabilidade espacial dos atributos químicos em áreas de TPA sob o cultivo de café na região de Apuí, AM. Foi demarcada uma malha de 42 x 100 m, com espaçamento regular de 08 x 10 m, nas profundidades de amostragem 0,0-0,05, 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m, totalizando 88 pontos em cada uma das profundidades. Foram realizadas as seguintes análises químicas: pH em água, Ca, Mg, K, Al trocáveis e P disponível. Os dados foram analisados utilizando técnicas estatísticas descritivas e de geoestatística. Os atributos químicos estudados apresentaram estrutura de dependência espacial, com exceção da variável alumínio, cálcio e magnésio que indicou efeito pepita puro. As variáveis em estudo apresentaram diferentes valores de alcance de ordem de 8,73 a 104,00 m, não estando dentro do limite estabelecido pela malha de estudo.

Palavras Chave: Atributos do solo, solos antrópicos, geoestatística.

ABSTRACTS

In the Amazon, the soils that present anthropic horizon A are associated with the prolonged prehistoric human occupation, carried out by indigenous societies of the pre-columbian period, dark color, with the presence of ceramic fragments, popularly called Black Earth of Indian or Black Earth Archaeological. Thus, the objective of this work was to evaluate the spatial variability of chemical attributes in TPA areas under coffee cultivation in the region of Apuí, AM. A 42 x 100 m mesh was demarcated, with regular spacing of 08 x 10 m, totaling 88 points in each of the depths. The following chemical analyzes were performed: pH in water, exchangeable Ca, Mg, K, Al and available P. The data were analyzed using statistical descriptive techniques and geostatistics. The chemical attributes studied presented structure of spatial dependence, with the exception of the aluminum variable, calcium and magnesium which indicated pure nugget effect. The variables under study presented different values ranging from 8.73 to 104.00 m, not being within the limit established by the study mesh.

Keywords: Soil attributes, anthropogenic soils, geostatistics.

Sumário

1. INTRODUÇÃO.....	9
2. JUSTIFICATIVA.....	10
3. OBJETIVOS.....	10
3.1. Geral.....	10
3.2. Específicos	10
4. REVISÃO DE LITERATURA	10
4.1. Origem.....	10
4.2. Atributos químicos.....	11
4.2. Geoestatística	12
5. METODOLOGIA.....	13
5.1. Caracterização do Meio Físico	13
5.2. Metodologia de Campo e Laboratório	14
5.3. Análise estatística e geoestatística	14
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO	16
7. CONCLUSÕES.....	20
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	21

1. INTRODUÇÃO

Na Amazônia, os solos que apresentam horizonte A antrópico estão associados à prolongada ocupação humana pré-histórica, realizada por sociedades indígenas do período pré-colombiano (EMBRAPA, 2013), de coloração escura, com presença de fragmentos cerâmicos, popularmente denominado Terra Preta de Índio (TPI) ou Terra Preta Arqueológica (TPA) (KÄMPF & KERN, 2005), as quais formaram extensos depósitos de resíduos, ou simplesmente rejeitos, que alteraram significativamente as propriedades dos solos (AQUINO *et al.*, 2016), de modo que estes apresentaram variações expressivas nas propriedades físicas, químicas, biológicas e mineralógicas quando comparados aos solos adjacentes.

Quanto a distribuição das TPA, Kern *et al.*, (2003) afirma que estes ocorrem em manchas de solos por toda a Amazônia especialmente no Brasil, Colômbia, Guiana, Equador, Peru e Venezuela. De acordo German (2003), as mesmas são encontradas adjacentes aos cursos de água, ocupando várzeas, elevações marginais, com extensão variando de um hectare a centenas de hectares, ao longo de rios e interflúvios, estão situadas em locais com posição topográfica que permita boa visualização espacial.

O conhecimento da variabilidade espacial dos atributos químicos do solo torna-se fundamental para aperfeiçoar as aplicações localizadas de corretivos e fertilizantes, reduzindo a degradação ambiental provocada pelo excesso destes, melhorando o controle do sistema de produção das culturas (SOUZA *et al.*, 2004; SILVA *et al.*, 2008).

Souza *et al.* (2007) ressalta a importância em conhecer a variabilidade espacial dos atributos do solo em unidades de mapeamentos de solo, principalmente para estimar a amostragem ideal em levantamentos de solos para agricultura de precisão. Esses conceitos são fundamentais para áreas com predominância de solos altamente intemperizados, como é o caso do Brasil, que apresenta vasto potencial agrícola com presença destes solos, sendo muita das vezes, sub-explorados.

A geoestatística, ferramenta estatística utilizada para estudar a variabilidade espacial, possibilita a interpretação dos resultados com base na estrutura da variabilidade natural dos atributos avaliados, considerando a dependência espacial dentro do intervalo de amostragem. O estudo da

variabilidade espacial pode ser feito em grandes áreas, abrangendo diversos tipos de solos (BERG & KLAMT, 1997; COUTO *et al.*, 2000), e em áreas menores (ALBUQUERQUE *et al.*, 1996; BERTOLANI & VIEIRA, 2001).

2. JUSTIFICATIVA

São poucos os estudos preocupados em quantificar as alterações nas Terras Pretas Arqueológicas transformadas na região Sul do Amazonas.

O conhecimento dos atributos químicos do solo, especialmente em áreas de Terras Pretas Arqueológicas, é fundamental, tanto para capacidade de produção das culturas, como no desempenho das funções ambientais.

Estudos que visam analisar os efeitos causados pela ação antrópica sobre propriedades químicas dos solos constituem valiosos recursos para avaliações e/ou previsões sobre os danos causados ao ambiente, sendo que o mesmo visa fornecer subsídios para a prevenção do processo de degradação do solo e elaboração de estratégias de recuperação destas áreas.

3. OBJETIVOS

3.1. Geral

Avaliar a distribuição espacial dos atributos químicos em área de Terra Preta Arqueológica sob cultivo de café na região de Apuí, AM.

3.2. Específicos

1. Determinar a distribuição espacial dos atributos químicos: pH em água, Ca, Mg, K, Al trocáveis e P disponível em área de Terra Preta Arqueológica sob cultivo de café em Apuí, AM.

2. Avaliar os atributos químicos nas diferentes profundidades 0,0-0,05, 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m em área de Terra Preta Arqueológica sob café em Apuí, AM;

3. Investigar o grau de dependência espacial para cada atributo estudado sob cultivo de café em Apuí, AM.

4. REVISÃO DE LITERATURA

4.1. Origem da Terras Pretas

A formação das TPAs ainda não é bem explicada, sendo motivo de controvérsias e de vários estudos entre os pesquisadores, a grande maioria

relaciona o seu aparecimento à atividade humana (SMITH, 1980), provavelmente por populações pré-colombianas.

Embora aceita, esta relação ainda gera uma série de dúvidas, entre as quais o questionamento da formação intencional ou como decorrência da ocupação humana (NEVES *et al.*, 2003). Pois localizam-se em antigos assentamentos que contem artefatos culturais, cuja coloração escura é proveniente de material orgânico decomposto, em parte na forma de carvão pirogênico, como resíduo de fogueiras domésticas e de queimadas para uso agrícola do solo (LIMA *et al.*, 2002).

Para Glaser (2007) as TPAs se originaram, provavelmente, do carvão, resíduos de alimentos e restos de material arqueológico. Lima *et al.* (2002) acrescentaram ainda à sua origem, atividades domésticas e agrícolas que geraram grandes quantidades de material orgânico decomposto, em parte na forma de carvão, como resíduo de fogueiras domésticas e de queimadas para uso agrícola do solo.

Na paisagem, as TPAs são encontradas geralmente próximas aos cursos de água, ocupando várzeas, elevações marginais adjacentes, com extensão variando de um a centenas de hectares, ao longo de rios e interflúvios. Estes locais são bem drenados, localizados em áreas com posição topográfica que permite boa visualização espacial e acesso aos recursos de diferentes ambientes (KÄMPF & KERN, 2005).

4.2. Atributos químicos

Em pesquisa com caracterização e classificação de TPAs, Campos *et al.* (2011) encontraram teores altos e muito altos de P disponível em horizontes antrópicos, afirmando que esses ambientes são caracterizados por elevados teores de Ca^{2+} , K^+ e Mg^{2+} .

Quanto aos tores de fósforo, os horizontes antropogênicos apresentam elevada disponibilidade deste nutriente (SILVA *et al.*, 2011), devido a incorporação de resíduos orgânicos ricos em fósforo pelas populações pré-colombianas (LIMA *et al.*, 2002).

Quando comparado com solos sob diferentes usos, Oliveira *et al.* (2015) destaca as TPA pela sua alta fertilidade natural. Em função das características adequadas para o cultivo, as TPAs são bastante exploradas na Amazônia,

entretanto, grandes áreas nativas de TPAs estão sendo convertidas em pastagem, levando à degradação do solo.

Assim, de uma maneira geral, pode-se dizer que as TPAs oferecem condições químicas favoráveis ao crescimento de plantas, baseado nos elevados teores de matéria orgânica e nas altas produtividades obtidas nas culturas principalmente quando comparadas aos solos adjacentes. No entanto, deve-se ressaltar que os aspectos químicos e biológicos do solo, considerados de forma isolada, podem estar comprometidos sem a adequada quantificação das condições físicas do solo (DEXTER, 2004).

4.2. Geoestatística

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).

O estudo da variabilidade espacial por meio da geoestatística possibilita a interpretação dos resultados com base na estrutura da variabilidade natural dos atributos que foram considerados na avaliação, levando em conta a dependência espacial dentro do intervalo de amostragem, permitindo indicar alternativas de uso. Além disso, possibilita melhor compreensão da variabilidade desses atributos e sua influência no ambiente (SILVA NETO *et al.*, 2012).

Vieira (1997) e Silva *et al.* (2004), relataram a importância da incorporação do conhecimento da variabilidade espacial dos atributos do solo ao processo de produção agrícola, pois esta variabilidade influencia de forma decisiva o manejo a ser adotado nas áreas cultivadas.

A variabilidade espacial dos atributos dos solos é resultado de processos pedogenéticos e pode ser demonstrada por resultados dos levantamentos e análises dos solos, bem como pelas diferenças encontradas nas produções das plantas (SILVA *et al.*, 2010).

O estudo da variabilidade espacial dos atributos químicos do solo tem a sua principal importância atribuída à aplicação de fertilizantes e corretivos em

taxas variáveis. Silva et al. (2007) avaliando os atributos químicos do solo sob a cultura do cafeeiro, concluíram que a variabilidade espacial encontrada nos atributos químicos justifica a aplicação diferenciada e localizada de fertilizantes na lavoura de café. A variabilidade espacial dos teores de nutrientes no solo pode não ser igual entre si, ou seja, alguns nutrientes necessitam de número maior de amostras que outros, para que se possa descrever o seu comportamento numa determinada área.

5. METODOLOGIA

5.1. Caracterização do Meio Físico

A área de estudo está situada na região do município de Apuí, sul do Estado do Amazonas, sob as coordenadas geográficas de 7° 30' 24" S e 63° 04' 56" W. A zona climática da região, segundo a classificação de Köppen, pertence ao grupo A (Clima Tropical Chuvoso) e tipo climático AM (chuvas do tipo monção), apresentando um período seco de pequena duração, com precipitação média anual varia entre 2.500 mm, e com período chuvoso iniciando em outubro e prolongando-se até junho. As médias anuais de temperatura variam em torno de 25° C e 27° C, e a umidade relativa do ar varia entre 85 e 90%.

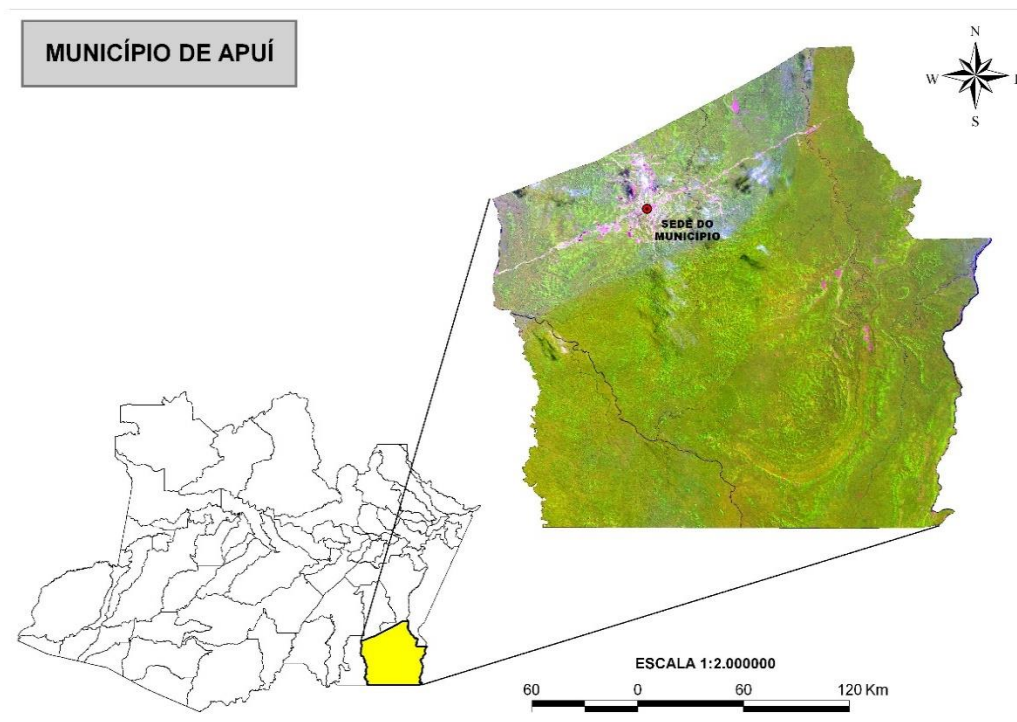


Figura 1: Mapa de localização da área de Terra Preta Arqueológica na região de Apuí, AM.

Segundo LIMA *et al.*, (2002) e CUNHA *et al.*, (2007), encontram-se na região áreas conhecidas com Terra Preta Arqueológicas relacionados com locais de antigos assentamentos, contendo artefatos culturais, e apresentam elevada fertilidade natural.

A vegetação característica desta região é a Floresta Tropical Densa constituída por árvores adensadas e multiestratificadas entre 20 a 50 metros de altura. De acordo com CAMPOS (2012) as paisagens predominantes dessa região são os Campos Naturais, Campos Naturais/ Florestas e Florestas.

De maneira geral, nessas áreas ocorrem solos que sofrem ação direta das características de origem influenciadas por fatores como as condições bioclimáticas e o relevo, porém, nessas áreas também são incrementadas outros fatores determinantes para sua classificação, tais como o nível elevado do lençol freático, inundações periódicas e arraste de sedimentos pelas águas, limitando assim a evolução pedogenética.

5.2. Metodologia de Campo e Laboratório

Foi realizado o mapeamento de uma malha de 42 x 100 m, com espaçamento regular de 08 x 10 m, nas profundidades de amostragem 0,0-0,05, 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m, totalizando 88 pontos em cada uma das profundidades totalizando 264 pontos amostrais.

A determinação do pH foi determinado potenciométricamente utilizando-se água, solução de cloreto de potássio (KCl) 1 mol/l, em relações solo: solução 1:2,5. (EMBRAPA, 1997).

Cálcio, magnésio e alumínio trocáveis foram extraídos por KCl (cloreto de potássio). O potássio e o fósforo disponível, foram extraídos por Mehlich⁻¹, a acidez potencial (H+Al) foi extraída com solução tamponada a pH 7,0 de acetato de cálcio utilizando-se metodologia proposta pela EMBRAPA (1997). Com base nos resultados das análises químicas, serão calculadas as somas de bases (SB), a capacidade de troca catiônica (CTC), a saturação por bases (V%) e por alumínio.

5.3. Análise estatística e geoestatística

Os dados foram submetidos à análise estatística descritiva, sendo determinados a média, valores máximos e mínimos, coeficientes de assimetria e curtose, coeficiente de variação (CV) e distribuição de frequências dos dados.

As hipóteses de normalidade dos dados foram testadas pelo teste de Kolmogorov-Smirnov (KS) ($p \leq 0,05$), por meio do software computacional Minitab 14 (MINITAB, 2000).

A geoestatística foi usada para avaliar a variabilidade espacial dos atributos estudados, segundo VIEIRA *et al.* (1983). Para se fazer a análise geoestatística, foi necessário saber se há dependência espacial ou não dos atributos estudados, o que poderá ser verificado por meio do gráfico do semivariograma.

Para a caracterização da variabilidade espacial, foi utilizada a análise geoestatística (ISAAKS & SRIVASTAVA, 1989). Sob a teoria da hipótese intrínseca, onde o semivariograma experimental é estimado pela Equação:

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

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 .

O semivariograma é uma representação gráfica entre a semivariância $\gamma(h)$, representada na coordenada Y , em função de uma determinada distância (h), representada na coordenada X . Para a caracterização da variabilidade espacial, foi utilizada a análise geoestatística (ISAAKS & SRIVASTAVA, 1989). Com base na pressuposição de estacionariedade da hipótese intrínseca, a qual o semivariograma é estimada por:

O ajuste de um modelo matemático (exponencial, esférico, linear ou gaussiano), aos valores calculados de $\gamma(h)$ foram definidos com base nos coeficientes do modelo teórico para o semivariograma: o efeito pepita (C_0); o patamar ($C_0 + C_1$) e o Alcance (a).

Na análise da razão de dependência espacial (proporção em percentagem do C_0 em relação ao (C_0+C_1)) das variáveis em estudo, utilizou-se a classificação de Cambardella *et al.* (1994), onde valores de $[(C_0/(C_0+C_1))]$ menores que 25% são considerados dependência espacial forte, valores de $[(C_0/(C_0+C_1))]$ entre 25 e 75% indicam dependência espacial moderada e valores de $[(C_0/(C_0+C_1))]$ maiores que 75% dependência espacial fraca.

Na determinação da existência ou não da dependência espacial, utilizou-se a modelagem dos semivariogramas por meio do programa GS+ (ROBERTSON, 1998). Tendo como base para a escolha do melhor ajuste do semivariograma respectivamente, o maior valor do coeficiente de determinação (R^2) e validação cruzada.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados referentes a análise descritiva para os atributos químicos das profundidades de 0,0-0,05 m; 0,05-0,10 m; 0,10-0,20 m são apresentados na (Tabela 1). Observa-se, que os valores das medidas de tendência central (média, mediana) são semelhantes para todas as variáveis, o que prova que a distribuição é simétrica para esses atributos do solo, o que pode ser confirmado pelos valores de assimetria e curtose próximos de zero, com exceção para a variável alumínio na profundidade 0,10-0,20 m.

A proximidade dos valores média e mediana assegura uma distribuição simétrica dos dados, isso significa que a dispersão dos valores não apresenta caudas muito alongadas, o que poderia comprometer a análise geoestatística, ocorre somente que os valores de assimetria e curtose são sensíveis a valores extremos de forma que um único valor pode exercer grande influência nos seus resultados (DIGGLE & RIBEIRO JÚNIOR, 2007). As medidas de dispersão, próximas de 0 e 3 para assimetria e curtose, respectivamente, mostram distribuição normal, conforme FARIAS (1999).

Com relação ao teste de normalidade dos dados submetidos ao teste de Kolmogorov-Smirnov (Tabela 1), o qual mede a distância máxima entre os resultados de uma distribuição a ser testada e os resultados associados à distribuição hipoteticamente verdadeira (GONÇALVES *et al.*, 2001), verificou-se que todas as variáveis foram significativas ao nível de 5% de probabilidade, indicando uma distribuição normal.

A normalidade dos dados não é uma exigência da geoestatística, entretanto é conveniente apenas 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).

Segundo Isaaks & Srivastava (1989), mais importante que a normalidade dos dados é a ocorrência ou não do chamado efeito proporcional, que a média

e a variabilidade dos dados sejam constantes na área de estudo, o que foi observado, ou seja, ocorrência de estacionaridade necessária ao uso da geoestatística.

Tabela 1. Estatística descritiva dos atributos químicos do solo em área de Terra Preta Arqueológica sob cultivo de café no município de Apuí, AM.

Estatística Descritiva	pH	Al+H	Al ³⁺	P	Ca	Mg
	H ₂ O	cmolc /kg ⁻¹		mg Kg ⁻¹		
0,00-0,05 m						
Média	5,32	8,53	0,86	30,64	8,62	2,46
Mediana	3,32	8,58	0,80	29,53	8,10	2,50
Máximo	6,39	14,0	0,16	61,64	18,0	5,00
Mínimo	4,34	2,31	0,04	10,26	3,00	1,00
¹ DP	0,44	2,43	0,02	11,48	3,11	0,92
Variância	0,20	5,95	0,01	131,80	9,71	0,85
² CV%	8,27	28,4	2,32	37,46	31,1	25,2
Assimetria	0,77	0,08	0,46	0,424	0,37	0,13
Curtose	-0,37	-0,07	-0,26	-0,424	-0,07	-0,53
³ d	0,06*	0,05*	0,13*	0,093*	0,08*	0,08*
0,05-0,10 m						
Média	5,03	8,69	0,20	23,84	4,73	1,57
Mediana	4,96	8,58	0,13	22,86	4,37	1,50
Máximo	6,08	15,02	0,65	55,22	10,25	3,00
Mínimo	4,12	2,97	0,03	5,14	1,25	0,25
¹ DP	0,48	2,90	0,017	11,65	2,32	0,59
Variância	0,23	8,45	0,02	135,79	5,42	0,35
² CV%	9,54	33,37	8,5	48,86	49,04	37,57
Assimetria	0,23	0,16	1,13	0,43	0,54	0,12
Curtose	-0,88	-0,44	0,36	-0,50	-0,65	-0,55
³ d	0,07*	0,09*	0,18*	0,09*	0,13*	0,10*
0,10-0,20 m						
Média	4,91	9,78	0,43	24,29	3,77	1,27
Mediana	4,80	9,41	0,26	21,56	3,37	1,25
Máximo	5,84	17,49	1,55	60,13	9,25	2,25
Mínimo	3,96	2,81	0,04	5,94	1,25	0,25
¹ DP	0,45	3,25	0,038	13,30	2,05	0,45
Variância	0,21	10,57	0,14	177,13	4,20	0,20
² CV%	9,16	33,23	8,83	54,75	53,37	35,43
Assimetria	0,34	0,31	0,86	0,66	0,65	0,17
Curtose	-0,90	-0,39	-0,30	-0,19	-0,58	0,08
³ d	0,10*	0,08*	0,20*	0,11*	0,16*	0,17*

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

Pelos limites de coeficiente de variação (Tabela 1) propostos por Warrick & Nielsen (1980) para a classificação de variáveis do solo (CV < 12 %), (12 % < CV < 60 %) e (CV > 60 %) para baixa, média e alta variabilidade,

respectivamente, diz-se que os atributos apresentaram baixa variabilidade para pH em H₂O e alumínio, moderada variabilidade para acidez potencial, fósforo. Segundo Nogueira (2007), um coeficiente de variação maior que 35% revela que a série é heterogênea e a média tem pouco significado; se for maior que 65%, a série é muito heterogênea e a média não tem significado algum, porém se for menor que 35% a série é homogênea e a média tem significado, podendo ser utilizada como representativa da série de onde foi obtida. Desta forma, pode-se dizer que a pH em H₂O, acidez potencial, alumínio, cálcio e magnésio apresentaram série de dados homogêneos e a média apresentando significado, contradizendo as demais variáveis que apresentaram série de dados heterogêneas.

Na tabela 2, são apresentados os parâmetros dos semivariogramas ajustados aos modelos teóricos que melhor descrevem o comportamento da variabilidade espacial dos atributos químicos do solo. Os resultados da validação cruzada (VC) foram superiores a 0,784 para todas as variáveis, o que assegura bom desempenho da interpolação pela krigagem ordinária. Esses resultados são corroborados com os coeficientes de determinação R² acima 0,78 significando que os semivariogramas estão bem ajustados. Conforme a classificação dada por Azevedo (2004), esses resultados mostram, em geral, ajustes dos semivariogramas que possibilitam a obtenção dos mapas da distribuição espacial dos atributos de forma confiável.

Os resultados da análise geoestatística mostram que todos os atributos analisados apresentaram estrutura de dependência espacial. Para tais variáveis que apresentaram dependência espacial, ajustaram-se aos modelo exponencial e esférico, concordando com vários outros resultados que indicam este modelo como o que melhor se ajusta a esses atributos do solo (SOUZA *et al.*, 2004). A variáveis magnésio na profundidade 0,0 – 0,5 m, cálcio na profundidade 0,5 – 0,10 m, e alumínio na profundidade 0,10 - 0,20 m não apresentou estrutura de dependência espacial, na qual apresentou efeito pepita puro (EPP), significando que as amostras são independentes para distâncias maiores que a menor distância entre as amostras utilizadas nesse estudo.

TABELA 2. Modelos e parâmetros estimados aos semivariogramas dos atributos químicos do solo em área de Terra Preta Arqueológica sob cultivo de café no município de Apuí-AM.

Parâmetros Geoestatísticos	pH em H ₂ O	H+Al	Al ³⁺	P	Ca	Mg
		cmolc /kg ⁻¹		mg/dm ³		
0,00-0,05 m						
Modelo	¹ Exp	¹ Exp	¹ Exp	¹ Exp	Esf	EPP
¹ (C ₀)	0.053	0.641	0.015	320.0	225.0	-
² (C ₀ +C ₁)	0.252	4.330	0.071	923.8	598.0	-
³ a (m)	18.50	14.00	61.7	19.17	34.00	-
⁴ R ²	0.963	0.915	0.881	0.920	0.94	-
⁵ GDE (%)	21.03	14.80	21.12	34.63	37.62	-
⁶ VC%	0.960	0.892	0.854	0.987	0.908	-
0,05-0,10 m						
Modelo	Esf	¹ Exp	Exp	Esf	EPP	Exp
¹ (C ₀)	0.080	0.589	0.054	510.00	-	16.70
² (C ₀ +C ₁)	0.253	3.300	0.087	1664.0	-	38.94
³ a (m)	37.30	25.20	28.00	104.00	-	34.05
⁴ R ²	0.860	0.958	0.905	0.930	-	0.987
⁵ GDE (%)	31.62	17.84	62.06	30.64	-	42.88
⁶ VC%	0.935	0.905	0.897	0.955	-	0.954
0,10-0,20 m						
Modelo	Exp	Exp	EPP	¹ Exp	Exp	Esf
¹ (C ₀)	0.020	0.443	-	76.00	101.20	2.69
² (C ₀ +C ₁)	0.180	2.760	-	720.0	208.10	8.26
³ a (m)	10.02	12.90	-	8.73	40.00	20.60
⁴ R ²	0.798	0.917	-	0.854	0.974	0.895
⁵ GDE (%)	11.11	16.05	-	10.55	48.63	32.56
⁶ VC%	0.784	0.799	-	0.894	0.912	0.973

Esf.: Esférico; Exp.: Exponencial; ¹C₀: efeito pepita; ²C₀+C₁: patamar; ³a: alcance (m); ⁴R²: coeficiente de determinação; ⁵GDE%: grau de dependência espacial e; ⁶VC: validação cruzada.

A análise do grau de dependência espacial (GDE) proposto por Cambardella *et al.* (1994), que avalia em termos proporcionais o efeito pepita sobre o patamar (C₀/(C₀+C₁).100), em que são considerados de dependência espacial forte os semivariogramas que têm um GDE ≤ 25% do patamar; dependência espacial moderada, quando o GDE está entre 25 e 75%, e dependência fraca, quando o GDE é > 75% do patamar. Verificou-se que pH em H₂O, acidez potencial, alumínio na profundidade 0,0 – 0,5 m e fósforo e pH na profundidade 0,5 – 0,10 m, apresentaram GDE forte, e Fósforo na profundidade 0,0 -0,5 m, cálcio, alumínio, fósforo e magnésio na profundidade 0,5 – 0,10 m, cálcio e magnésio na profundidade 0,10 – 0,20 m apresentaram GDE moderada.

O alcance estabelece o limite de dependência espacial entre as amostras, isto é, para distâncias iguais ou menores que o alcance, diz-se que os valores vizinhos de uma variável estão espacialmente correlacionados e podem ser utilizados para se estimar valores em qualquer ponto entre eles (REICHARDT, 1985; TRANGMAR *et al.*, 1985). O valor do alcance nos semivariogramas têm uma importância considerável na determinação do limite da dependência espacial, o que pode ser também um indicativo do intervalo entre unidades de mapeamento de solos (WEBSTER, 2000). As variáveis de estudadas apresentaram diferentes alcances de dependência espacial mostrando que alguns destes valores de alcance não estão dentro dos limites estipulados pela malha amostral de 100 m, indicando assim a descontinuidade destes atributos na área de estudo.

7. CONCLUSÕES

1. Todos os atributos químicos estudados apresentaram estrutura de dependência espacial, com exceção da variável alumínio na camada 0,10-0,20 m, cálcio na camada 0,05-0,10 m e magnésio na camada 0,00-0,05 m que indicou efeito pepita puro.

2. As variáveis em estudo apresentaram diferentes valores de alcance de ordem de 8,73 a 104,00 m, estando acima do limite estabelecido pela malha de estudo.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, J.A.; REINERT, D.J. & FIORIN, J.E. Variabilidade de solo e planta em Podzólico Vermelho-Amarelo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 20:151-157, 1996.

AQUINO, R. E. et al. Characteristics of color and iron oxides of clay fraction in Archeological Dark Earth in Apuí region, southern Amazonas. **Geoderma**, v. 262, n. 1, p. 35-44, 2016.

AZEVEDO, E. C. Uso da geoestatística e de recursos de geoprocessamento no diagnóstico da degradação de um solo argiloso sob pastagem no Estado de Mato Grosso. 2004. 132 f. Tese (Doutorado em Água e Solo) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.

BERG, M.V.D. & KLAMT, E. Variabilidade espacial de características de solos na região do planalto médio, RS: I. Análise da variância por amostragem aninhada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 21:393-399, 1997.

BERTOLANI, F.C. & VIEIRA, S.R. Variabilidade espacial da taxa de infiltração de água e espessura do horizonte A, em um Argissolo Vermelho-Amarelo, sob diferentes usos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 25:987-995, 2001.

EMBRAPA, **Brasileira de Classificação de Solos**. Brasília: SPI/Embrapa Produção de Informação, 2013. p. 353.

CAMBARDELLA, C.A.; MOORMAN, T.B.; NOVAK, J.M.; PARKIN, T.B.; KARLEN, D.L.; TURCO, R.F.; KONOPKA, A.E. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v. 58, p.1501-1511, 1994.

CAMPOS, C.C.M; SANTOS, L.A.C; SILVA, D.M.P; MANTOVANELLI, B.C; SOARES, M.D.R. Caracterização física e química de terras pretas arqueológicas e de solos não antropogênicos na região de Manicoré, Amazonas. **Revista Agro Ambiente**, Boa Vista-RR, v. 6, n. 2, p. 102-109, 2012.

CAMPOS, M. C. C.; RIBEIRO, M. R.; SOUZA JÚNIOR, M. S.; RIBEIRO FILHO, M. R.; SOUZA, R. V. C. C.; ALMEIDA, M. C. Caracterização e classificação de terras pretas arqueológicas na Região do Médio Rio Madeira. **Bragantia**, v. 70, n. 3, p. 598-609, 2011.

COUTO, E.G.; KLAMT, E. & STEIN, A. Estimativa do teor de argila e do potássio trocável em solos esparsamente amostrados no sul do estado de Mato Grosso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 24:129-140, 2000.

CUNHA, T.J.F. *et al.* Fracionamento químico da matéria orgânica e características de ácidos húmicos de solos com horizonte A antrópico da Amazônia (Terra Preta). **Acta Amazônia**. n. 37, p. 91-98, 2007.

DEXTER, A.R. Soil physical quality: Part I. Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth. **Geoderma**, Amsterdam, v. 120, n. 3, p. 201-214, 2004.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro, 1997. 212p.

FARIAS, M.S.S. de. Diagnóstico da necessidade de drenagem no perímetro irrigado de São Gonçalo. Campina Grande: UFPB, 1999. 75p. Dissertação Mestrado.

GERMAN, L.A. Historical contingencies in the coevolution of environment and livelihood: contributions to the debate on Amazonian Black Earth. **Geoderma**. 111:307–331, 2003.

GLASER, B. Prehistorically modified soils of central Amazonia: a model for sustainable agriculture in the twenty-first century. **Phil. Trans. R. Soc. B**, v. 362, p. 187-196, 2007.

GONÇALVES, A.C.A.; FOLEGATTI, M.V.; MATA, J.D.V. Análises exploratória e geoestatística da variabilidade de propriedades físicas de um Argissolo Vermelho. **Acta Scientiarum**, Maringá-PR v. 23, n. 5, p. 1149-1157, 2001.

ISAAKS, E.H. & SRIVASTAVA, R.M. An introduction to applied geostatistics. New York: **Oxford University Press**, p. 561, 1989.

KÄMPF, N.; KERN, D. C. O solo como registro da ocupação humana pré-histórica na Amazônia. In: TORRADOVIDAL, P.; ALLEONI, L. R. F.; COOPER,

M.; SILVA, A. P. (Eds.). *Tópicos em ciência do solo*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005. v. 4, p. 277-320.

KERN, D. C.; D'AQUINO, G.; RODRIGUES, T. E.; FRAZÃO, F. J. L.; SOMBROEK, W.; NEVES, E. G.; MYERS, T. P. Distribution of antropogenic dark earths. In: LEHMANN, J.; KERN, D.C.; WOODS, W.; GLASER, B. (Org.). **Amazonian dark Earths: Origin, Properties, Management**. 1 ed. Norwell: KLUWER ACADEMIC PUBLISHERS, v.1, p.51-76. 2003.

LIMA, H. N.; SCHAEFER, C. E. R.; MELLO, J. W. V.; GILKES, R.J.; KER, J.C. Pedogenesis and pre-Columbian land use of "Terra PretaAnthrosols" ("Indian black earth") of Western Amazonia. **Geoderma**. Amsterdam, v. 110, p.1–17, 2002.

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.

MINITAB Release 14.1. **Statistical Software**. US/Canada, 2000.

NEVES, E.G.; PETERSON, J. B; BARTONE, R. N; SILVA, C.A. Historical and socio-cultural origins of Amazonian darck earths. In: LEHMAN, J.; KERN, D.C.; GLASER, B.; WOODS, W.I. **Amazonian dark earths; origin, properties and management**, 1 Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2003. p. 29-50.

NOGUEIRA, M. C. S. **Experimentação agrônômica I**. Piracicaba: Universidade de São Paulo, 2003. 463p.

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 Amazonica**, v. 45, n. 1, p. 1-12, 2015. <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4392201400555>.

REICHARDT, K. Processos de transferência no sistema solo-planta-atmosfera. Campinas, **Fundação Cargill**, 1985. 445p.

SILVA NETO, S. P. et al. Variação espacial do teor de matéria orgânica do solo e produção de gramínea em pastagens de capim-marandu. **Bioscience Journal**, v. 28, p. 41-53, 2012.

SILVA, F. W. R., LIMA, H. N.; TEIXEIRA, W. G., MOTTA, M. B.; SANTANA, R. M. Caracterização química e mineralogia de solos Antrópicos (terras pretas de índio) na Amazônia central. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa - MG, v.35, p. 673-681, 2011.

SILVA, F.W.R. Caracterização química e mineralogia de solos antrópicos da Amazônia (Terras Pretas de Índio) entre Coari-Manaus-AM. Manaus, **Universidade Federal do Amazonas**, 2008. 56p. (Tese de Mestrado).

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.

SILVA, S.A. et al. Variabilidade espacial do fósforo e das frações granulométricas de um Latossolo Vermelho Amarelo. **Revista Ciência Agronômica**, v. 41, n. 01, p. 1-8, 2010.

SILVA, V. R.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J. Variabilidade espacial da resistência do solo à penetração em plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria – RS, v.34, p. 399-406, 2004.

SMITH, N. J. H. Anthrosols and human carrying capacity in Amazonia **Annals of the Association of American Geographers**. V.70, p.553-566, 1980.

SOUZA, Z.M.; BARBIERI, D.M.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G.T.; CAMPOS, M. C. C. Influência da variabilidade espacial de atributos químicos de um latossolo na aplicação de insumos para cultura de cana-de-açúcar. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, n. 2, p. 371-377, 2007.

SOUZA, Z.M.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G.T.; MOREIRA, L.F. Variabilidade espacial do pH, Ca, Mg, e V% do solo em diferentes formas do relevo sob cultivo de cana-de-açúcar. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.34, n.6, p.1.763-71, 2004.

TRANGMAR, B.B.; YOST, R.S.; UEHARA, G. Application of geostatistics to spatial studies of soil properties. **Adv. Agron.**, New York, v.38, n.1, p.45-93, 1985.

VIEIRA, S. R.; HATFIELD, T. L.; NIELSEN, D. R.; BIGGAR, J. W. Geostatistical theory and application to variability of some agronomical properties. **Hilgardia, Berkeley**, v. 51, n. 3, 1-75, 1983.

VIEIRA, S.R. Variabilidade espacial de argila, silte e atributos químicos em uma parcela experimental de um Latossolo Roxo de Campinas, SP. **Bragantia**, Campinas – SP, v. 56, p. 181- 190, 1997

WARRICK, A.W.; NIELSEN, D.R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D. (Ed.). Applications of soil physics. **New York: Academic Press**, 1980. cap. 2, p.319-344.

WEBSTER, R. Is soil variation random? **Geoderma**, Amsterdam, v.97, n.1-2, p.149-163, 2000.

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.