



Técnicas geoestatísticas na avaliação de atributos químicos em Cambissolo com agrofloresta e cana-de-açúcar em Humaitá, Amazonas

Renato Eleoterio de Aquino¹, Milton César Costa Campos², Ivanildo Amorim de Oliveira¹,
Diego Silva Siqueira¹, Marcelo Dayron Rodrigues Soares², Ludmila de Freitas¹

¹ Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal, Via de Acesso Prof. Paulo Donato Castellane, s/n, Vila Industrial, CEP 14884-900, Jaboticabal-SP, Brasil. E-mail: aquino.rea@gmail.com; ivanildoufam@gmail.com; diego_silvasiqueira@yahoo.com.br; ludmilafreitas84@gmail.com

² Universidade Federal do Amazonas, Instituto de Educação, Agricultura e Ambiente, Rua 29 de Agosto, 786, Bairro Divino Pranto, CEP 69800-000, Humaitá-AM, Brasil. E-mail: mcesarsolos@gmail.com; marcelo.dayron@gmail.com

RESUMO

Existe carência de estudos enfocando o comportamento espacial de atributos químicos no Amazonas. Neste sentido, o objetivo deste trabalho foi utilizar técnicas geoestatísticas na avaliação de atributos químicos em solo de agrofloresta e cana-de-açúcar em Humaitá, Amazonas. O estudo foi realizado em uma propriedade rural em Humaitá, Amazonas. Nestas áreas foram estabelecidas malhas de 70,00 m x 70,00 m, com espaçamento regular de 10,00 m totalizando 64 pontos e em seguida, coletadas amostras de solos na profundidade de 0,0-0,20 e 0,40 – 0,60 m. Foram determinados os atributos químicos (pH, MO, P, K, Ca, Mg, SB, CTC, V% e H+Al). Utilizaram-se técnicas de estatística descritiva e geoestatística de onde ajustaram semivariogramas individuais e escalonados, e em seguida, estimou a densidade amostral com base no alcance dos semivariogramas. Os atributos do solo apresentaram estrutura de dependência espacial na sua maioria, com predominância de grau de dependência espacial moderado, nos semivariogramas individuais e escalonado. A densidade amostral e espaçamento do semivariograma escalonado indicaram menor número de pontos e maior espaçamento para representar as áreas de agrofloresta e cana-de-açúcar.

Palavras-chave: atributos do solo, sul do Amazonas, variabilidade espacial

Geostatistical techniques in the evaluation of chemical attributes in Cambisol with agroforestry and sugarcane in Humaita, Amazonas, Brazil

ABSTRACT

There is a lack of studies focusing on the spatial behavior of chemical attributes in the Amazon. In this sense, the objective of this study was to use geostatistical techniques in the evaluation of chemical attributes in agroforestry soil and sugarcane in Humaitá, Amazonas. The study was conducted in a rural property in Humaitá, Amazonas. These areas were established knitwear 70.00 mx 70.00 m, with regular spacing of 10.00 m totaling 64 points and then collected soil samples at a depth of 0.0 to 0.20 and 0.40 to 0.60 m. We determined the chemical attributes (pH, OM, P, K, Ca, Mg, SB, CTC, V% and H + Al). They used descriptive statistics and geostatistics which set individual and scaled semivariogram, and then estimated the sample density based on the achievement of semivariograms. The soil attributes presented spatial dependence structure mostly, predominantly moderate degree of spatial dependence, individual and staggered semivariograms. The sample density and spacing of the stepped semivariogram indicated fewer points and increased spacing to represent the areas of agroforestry and sugarcane.

Key words: soil attributes, southern Amazonas, spatial variability

Introdução

Estudos que visam a analisar os efeitos causados pela ação antrópica sobre propriedades do solo, constituem valiosos recursos para avaliações e previsões sobre os danos causados ao ambiente, servindo como subsídios à discussão sobre a manutenção de ecossistemas ou a sua ocupação racional, com previsões sobre a extensão dos efeitos desta ocupação (Longo, 1999).

Neste sentido, a variabilidade é gerada no tempo, pela intensidade dos processos formadores do solo (Burrough, 1993) e influenciada pela ação antrópica (Silveira et al., 2000). O conhecimento da variabilidade do solo permite um melhor entendimento das relações entre seus atributos e os fatores ambientais (Goovaerts, 1998) e ajuda a determinar práticas de manejo específico (Plant, 2001) contribuindo desta forma para um melhor manejo sustentável, minimizando impactos ao meio ambiente.

A geoestatística é uma ferramenta que avalia a variabilidade espacial dos dados e permite estabelecer um modelo de semivariograma que melhor descreva a variabilidade espacial dos dados (Amaro Filho et al., 2007). Entretanto, deve-se levar em consideração que a determinação da variabilidade requer uma amostragem precisa e confiável, para evitar erros graves de interpretação (Cruz et al., 2010).

Os atributos químicos do solo, com exceção do pH, apresentam maior variação que os atributos físicos, em uma área cultivada (Bottega et al., 2013). Sendo assim, o uso de uma amostragem aleatória, que utiliza a média para caracterizar determinado atributo do solo, seria insuficiente para caracterizar toda uma classe de solo. Entretanto, vários estudos mostraram que os atributos químicos do solo apresentam intensa dependência espacial, verificada por meio da análise geoestatística (Corá et al., 2004, Motomiya et al., 2006, Souza et al., 2006, Cavalcante et al., 2007, Zanão Júnior et al., 2010).

Uma das grandes dificuldades encontradas nos estudos de variabilidade espacial dos atributos do solo tem sido a determinação do espaçamento ideal de amostragem, o que, em algumas situações, inviabiliza a adoção das técnicas da agricultura de precisão (Montanari et al., 2005; Souza et al., 2006). Assim, o estudo dos aspectos da amostragem do solo, a fim de subsidiar definições sobre a utilização e recomendação destas técnicas em ambientes distintos, tem sido preocupação constante de pesquisadores (Montanari et al., 2005; Souza et al., 2006; Coelho et al., 2009).

Alguns trabalhos têm sido desenvolvidos no estado do Amazonas, visando entender o comportamento dos atributos do solo sobre o ponto de vista espacial na região norte (Campos et al., 2012, 2013; Alho et al., 2014; Aquino et al., 2014, 2015; Oliveira et al., 2014, 2015) entretanto, estes trabalhos ainda são incipientes dada a dimensão da região.

Neste contexto, se considerando a carência de estudos enfocando o comportamento espacial de atributos químicos no Amazonas, o objetivo deste trabalho foi utilizar de técnicas geoestatísticas na avaliação de atributos químicos em Cambissolo cultivado com agrofloresta e cana-de-açúcar no município de Humaitá, Amazonas. Esses resultados podem auxiliar futuros trabalhos de caracterização da variabilidade espacial, bem como estudos de mapeamento e relação de causa e efeito.

Materiais e Métodos

O estudo foi realizado em duas propriedades rurais, localizada na região de Humaitá, Estado do Amazonas. A área da cana-de-açúcar localiza-se sob as coordenadas geográficas: 7°54'38" S e 63°14'27" W com altitude média de 70 m e a área de agrofloresta situa-se nas coordenadas geográficas: 7°28'29" S e 63°02'07" W numa altitude média de 63 metros acima do nível do mar (Figura 1).

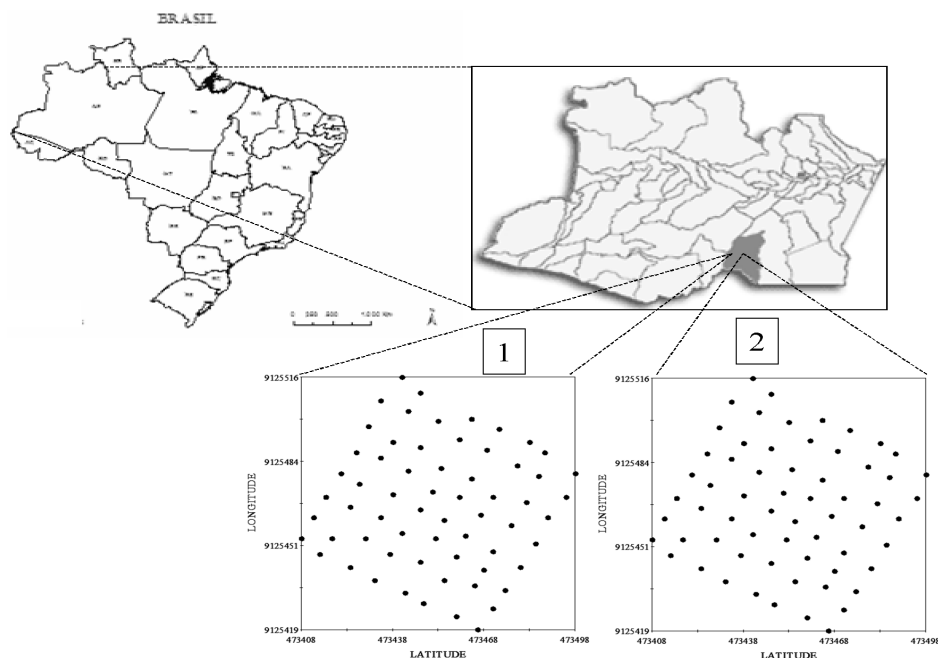


Figura 1. Modelo de Elevação Digital e localização da área de agrofloresta (1) e área com cana-de-açúcar (2) na região de Humaitá-AM

Segundo a classificação de Köppen, o clima da região é do tipo tropical chuvoso tipo Am (chuvas do tipo monção), temperaturas variando entre 25 e 27 °C e precipitação média anual de 2.500 mm, com um período seco de pequena duração e período chuvoso iniciando em outubro e prolongando-se até junho e umidade relativa do ar entre 85 e 90%. O solo foi classificado como Cambissolo Háplico Alítico plântico (CXalf) segundo (Embrapa, 2013).

Nestas áreas foram estabelecidas malhas de 70 m x 70 m e o solo foi amostrado nos pontos de cruzamento da malha, com espaçamentos regulares de 10 em 10 metros, perfazendo um total de 64 pontos amostrais em cada malha (Figura 1). Esses pontos foram georreferenciados com um equipamento de GPS Garmin Etrex® (South American '69). Em seguida, foi realizada a coleta de amostras de solos nas profundidades 0,0-0,20 e 0,40-0,60 m para determinação dos atributos químicos, totalizando 128 amostras de solo em cada malha. A caracterização granulométrica das áreas amostradas se encontra na Tabela 1.

Tabela 1. Análises granulométrica (g.kg⁻¹) para agrofloresta e cana-de-açúcar em Humaitá, AM

Análise granulométrica					
Argila	Silte	Areia	Argila	Silte	Areia
Profundidade 0,0-0,20 m			Profundidade 0,20-0,40 m		
Cana-de-açúcar					
284,94	474,49	240,57	323,27	467,70	209,02
Agrofloresta					
284,94	230,11	220,79	510,89	284,77	204,33

Cálcio, magnésio e potássio trocáveis, assim como o fósforo disponível, foram extraídos utilizando-se o método da resina trocadora de íons (Rajj et al., 1987). A acidez potencial (H+Al) foi determinada por meio da extração com solução tamponada a pH 7,0 de acetato de cálcio, utilizando-se método proposto pela Embrapa (1997). Com base nos resultados das análises químicas, foram calculadas a soma de bases (SB), capacidade de troca catiônica (CTC) e saturação por bases (V%).

O pH foi determinado potenciométricamente utilizando-se relação 1:2,5 de solo: em água. O carbono total foi determinado pelo método de Walkley-Black modificado por Yeomans & Bremner (1988), a matéria orgânica por sua vez, foi estimada por diferença, com base no carbono orgânico, conforme a Eq. 1:

$$MO = 1,724 \times CO \quad (1)$$

onde:

MO - matéria orgânica do solo

CO - teor de C orgânico total na profundidade amostrada (g kg⁻¹)

Após obtenção dos dados, foi avaliada a sua variabilidade primeiramente, pela análise exploratória, calculando-se a média, mediana, desvio padrão, variância, coeficiente de variação, coeficiente de assimetria e coeficiente de curtose. O coeficiente de variação (CV) foi calculado com base no critério de Warrick & Nielsen (1980) que classifica o CV em baixa (CV<12%), média (12<CV<60%) e alta (CV>60%). Para a hipótese de normalidade foi utilizado o teste de Kolmogorov-Smirnov por meio do Minitab 14 (Minitab, 2000).

Para determinação da existência da dependência espacial foram modelados semivariogramas, utilizando análise geoestatística (Matheron, 1963, Robertson, 1998). Sob 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:

$\gamma(h)$ - 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

Com base nos parâmetros dos semivariogramas experimentais dos atributos do solo foi construído o semivariograma escalonado. Os semivariogramas experimentais foram escalonados através da divisão das semivariâncias pela variância estatística (Guimarães, 1993). Neste trabalho os semivariogramas foram escalonados com o objetivo de reduzi-los à mesma escala, facilitando a comparação entre resultados de diferentes variáveis. Além disso, o objetivo foi representar vários semivariogramas simultaneamente para compreender melhor os padrões de similaridade e causas da variabilidade espacial (Ceddia et al., 2009).

Aos semivariogramas experimentais escalonados ajustou-se modelos esféricos (Eq. 3) e exponencial (Eq. 4), identificado nas figuras como: Esf. ($C_0, C_1 + C_0, [(C_0/(C_0+C_1)), a, R^2]$):

$$\begin{cases} \hat{\gamma}(h) = C_0 + C_1 \left[\frac{3}{2} \left(\frac{h}{a} \right) - \frac{1}{2} \left(\frac{h}{a} \right)^3 \right], & \text{se } 0 < h < a \\ \hat{\gamma}(h) = C_0 + C_1, & \text{se } h \geq a \end{cases} \quad (3)$$

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 \left[1 - \exp\left(-\frac{3h}{a}\right) \right], \text{ se } h \geq 0 \quad (4)$$

em que:

C_0 - efeito pepita

$C_0 + C_1$ - patamar

h - distância de separação entre duas observações

a - é o alcance de dependência espacial

Na análise do grau de aleatoriedade espacial das variáveis em estudo, utilizou-se a classificação de Cambardella et al. (1994), segundo a qual valores de $[(C_0/(C_0+C_1)) \times 100]$ menores que 25% são considerados 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% são considerados dependência espacial fraca. Por meio do alcance dos semivariogramas de todos os atributos, foi determinado o número mínimo de amostras para que ainda seja possível promover a caracterização da variabilidade espacial de cada atributo estudado individualmente.

Posteriormente, os semivariogramas individuais e escalonados serviram como base de informação para calcular o número mínimo de amostragem do solo, para determinar a variabilidade de todos os atributos que apresentaram dependência espacial nos ambientes estudados (Eq. 4).

$$N = \frac{A}{\frac{a^2}{10000}} \quad (5)$$

em que:

N - número mínimo de amostras necessárias para a determinação de uma malha de amostragem

A - área total em hectares

a - alcance do semivariograma elevado ao quadrado, se considerando todos os lados de um quadrado ao qual é estimado a variabilidade.

Resultados e Discussões

A distribuição de frequência dos atributos químicos analisados na área de agrofloresta e cana-de-açúcar apresentaram distribuições similares. A média e mediana encontram-se com os seus valores próximos, assim como os indicadores de distribuição dos valores analisados assimetria e curtose que apresentaram valores não muito distantes do valor central zero, indicando que os atributos químicos são simétricos ou contém leve assimetria (Tabela 2).

Alguns destes atributos químicos que não apresentam distribuição simétrica, indicados pelo o distanciamento de diferença de média e mediana, e assimetria e curtose que possivelmente está relacionado a influência de valores extremos, são o Ca, Mg, SB (0,0 – 0,20 m e 0,40 - 0,60 m) e V% (0,40 - 0,60 m) na área de agrofloresta e H+Al e CTC (0,0 – 0,20 m), H+Al, MO, Ca, Mg, SB, CTC e V% (0,40 - 0,60 m) na área de cana-de-açúcar (Tabela 2). Conforme afirmação de Cortez et al. (2011), quanto mais os valores de assimetria e curtose estão próximos de zero, maior a normalidade dos dados. Neste sentido, tais informações destes parâmetros facilita o ajuste “a sentimento” do semivariograma.

Quanto aos valores médios dos atributos químicos em ambas as áreas, se observa na área de cana-de-açúcar valores de pH, MO, Ca, Mg, SB e V% superior ao de agrofloresta, no entanto o P, K, H+Al e CTC são superiores a área com cana-de-açúcar. Estes valores de CTC mais elevados na área de agrofloresta com 194,37 e 214,70 mmol kg⁻¹ nas profundidades 0,0 – 0,20 e 0,40 0,60 m, respectivamente. Estes valores estão sendo fortemente influenciados pela acidez potencial (H+Al) com valores de 189,52 e 211,86 mmol kg⁻¹ nas profundidades 0,0 – 0,20 e 0,40 0,60 m respectivamente. Em contrapartida, a área com cana-de-açúcar apresenta CTC com valores de 112,77 e 132,63 mmol kg⁻¹ nas profundidades 0,0 – 0,20 e 0,40 - 0,60 m respectivamente, sendo estes valores menos influenciados pela acidez potencial, que apresentou valores de 89,64 e 126,66 mmol kg⁻¹ nas duas respectivas profundidades.

Os atributos SB, CTC e V% (0,0 – 0,20 e 0,40 – 0,60 m) para agrofloresta e H+Al, CTC, V% (0,0 – 0,20 m), MO, Ca, SB e CTC (0,40 – 0,60 m) para cana-de-açúcar mostraram

normalidade pelo teste de Kolmogorov-Smirnov, sendo que as demais variáveis, não apresentaram normalidade dos dados para as duas áreas estudadas (Tabela 2).

A medida do coeficiente de variação segundo proposta de Warrick & Nielsen (1980), indicou baixa variabilidade para o pH, H+Al e CTC (0,0 – 0,20 e 0,40 – 0,60 m) na área com agrofloresta e pH (0,0 – 0,20 e 0,40 – 0,60 m) na área com cana-de-açúcar. As demais variáveis de ambos os ambientes apresentaram moderada variabilidade (CV >12% <60%), sendo este, o que mais predominou nos atributos, seguido por alta variabilidade, indicando que nas áreas com agrofloresta e cana-de-açúcar tem maior ocorrência de atributos com moderada a alta heterogeneidade. Estudado a variabilidade espacial de atributos químicos de floresta e pastagem no sul do Amazonas, Aquino et al. (2014) encontraram resultados semelhantes aos apresentados, com predominância de coeficiente de variação moderado e alto.

Segundo Camargo et al. (2008), a medida estatística CV permite comparar a variabilidade entre amostras de variáveis com unidades diferentes, porém não permite analisar a variabilidade espacial dos atributos do solo nem seu padrão espacial. Sendo assim, a variabilidade dos atributos que é observada neste estudo justifica a análise da dependência espacial com uso da geoestatística, o que facilita o entendimento do padrão de ocorrência desses atributos, por meio do ajuste de semivariogramas (Tabela 3). O modelo esférico foi ajustado nos seguintes atributos: P e CTC (0,00-0,20 m) e H+Al, P, Ca, Mg, SB, CTC, V% (0,40-0,60) na área de agrofloresta, e pH, P, Ca, Mg, SB, V% (0,00-0,20 m) e P, K e V% (0,40-0,60 m) na área com cana-de-açúcar. Os demais atributos em ambas as áreas que apresentaram ajustes nos semivariogramas foram exponenciais (Tabela 3). Para pesquisadores como Carvalho et al. (2003) e Cavalcante et al. (2007) os modelos esféricos e exponenciais apresentam-se como os modelos teóricos mais comuns aos atributos do solo e da planta.

Na área com agrofloresta diversos atributos apresentam efeito pepita puro (EPP) (Tabela 3). Quando a variável estudada é independente espacialmente, o seu C₀ (efeito pepita) é igual a C₁ + C₀ (patamar), conhecido como EPP. O EPP não deixa de ser importante, pois indica distribuição casual, ou seja, variabilidade não explicada ou variação não detectada, e pode ocorrer devido a erros de medidas, erros de amostragem, ou microvariação não detectada, considerando ser o espaçamento de amostragem utilizado maior que o necessário para detectar dependência espacial (Cambardella et al., 1994). Tais comportamentos são comuns nos trabalhos em ciência do solo (Campos et al., 2012, Oliveira et al., 2013, Aquino et al., 2014).

Conforme critérios de Cambardella et al. (1994), as propriedades químicas foram classificadas de acordo com a magnitude da sua dependência espacial, levando-se em consideração o efeito pepita observado. Por esse critério, quanto menor a proporção do efeito pepita em relação ao patamar do semivariograma, maior a continuidade do fenômeno e maior a dependência espacial apresentada pela variável e melhor a estimativa pela técnica da krigagem para locais não amostrados.

Tabela 2. Estatística descritiva dos atributos químicos em área de agrofloresta e cana-de-açúcar em Humaitá, AM

Var	Un.	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	DP	Var.	CV%	Curtose	Assim.	d
Agrofloresta 0,0-0,20 m											
pH	H ₂ O	3,78	3,80	3,60	3,90	0,06	0,00	1,53	0,80	-0,48	0,06 ^{ns}
H+Al	mmol kg ⁻¹	189,52	185,00	150,00	228,00	17,54	307,78	9,26	-0,48	-0,51	0,05 ^{ns}
MO	g, dm ⁻³	20,58	20,50	14,00	30,00	3,19	10,15	15,48	0,63	0,79	0,09 ^{ns}
P	mg dm ⁻³	8,19	8,00	6,00	13,00	1,55	2,41	18,96	0,39	0,57	0,04 ^{ns}
K	mmol kg ⁻¹	1,11	1,10	0,60	1,80	0,24	0,06	21,78	0,76	0,59	0,07 ^{ns}
Ca	mmol kg ⁻¹	2,39	2,00	2,00	4,00	0,55	0,31	23,11	0,09	1,03	0,09 ^{ns}
Mg	mmol kg ⁻¹	1,36	1,00	1,00	2,00	0,48	0,23	35,58	-1,69	0,60	0,10 ^{ns}
SB	mmol kg ⁻¹	4,86	4,15	3,60	7,40	1,15	1,33	23,73	-1,29	0,67	0,28*
CTC	mmol kg ⁻¹	194,37	191,40	154,70	232,10	17,45	304,44	8,98	-0,54	-0,51	0,24*
V	%	2,52	2,20	1,77	4,03	0,66	0,44	26,24	-0,80	0,75	0,18*
Agrofloresta 0,40-0,60 m											
pH	H ₂ O	3,81	3,80	3,70	3,90	0,05	0,002	1,23	1,74	0,23	0,06 ^{ns}
H+Al	mmol kg ⁻¹	211,86	205,00	166,00	253,00	18,64	347,36	8,80	-0,81	-0,40	0,06 ^{ns}
MO	g dm ⁻³	10,66	10,50	7,00	19,00	2,39	5,69	22,38	1,81	1,02	0,06 ^{ns}
P	mg dm ⁻³	4,53	5,00	2,00	7,00	1,44	2,06	31,69	-0,66	-0,25	0,04 ^{ns}
K	mmol kg ⁻¹	0,64	0,60	0,40	1,00	0,10	0,01	16,43	2,48	0,95	0,06 ^{ns}
Ca	mmol kg ⁻¹	1,19	1,00	1,00	3,00	0,43	0,19	36,37	4,49	2,23	0,09 ^{ns}
Mg	mmol kg ⁻¹	1,02	1,00	1,00	2,00	0,13	0,02	12,31	64,00	8,00	0,05 ^{ns}
SB	mmol kg ⁻¹	2,84	2,60	2,40	5,70	0,55	0,30	19,20	11,34	2,96	0,32*
CTC	mmol kg ⁻¹	214,70	208,75	168,50	255,60	18,80	353,57	8,76	-0,84	-0,41	0,27*
V	%	1,33	1,25	1,02	2,44	0,23	0,05	17,30	7,77	2,16	0,11*
Cana-de-açúcar 0,00-0,20 m											
pH	H ₂ O	4,43	4,50	3,90	4,70	0,15	0,02	3,39	1,07	-0,85	0,05 ^{ns}
H+Al	mmol kg ⁻¹	89,64	80,00	64,00	205,00	21,09	444,68	23,52	13,43	2,96	0,15 *
MO	g, dm ⁻³	30,48	30,50	11,00	47,00	6,25	39,11	20,52	1,01	-0,05	0,07 ^{ns}
P	mg dm ⁻³	6,36	7,00	3,00	10,00	1,57	2,46	24,64	-0,60	-0,06	0,04 ^{ns}
K	mmol kg ⁻¹	0,49	0,50	0,30	0,70	0,11	0,01	22,98	-0,77	0,02	0,04 ^{ns}
Ca	mmol kg ⁻¹	14,58	15,00	4,00	27,00	4,17	17,42	28,63	0,41	0,07	0,03 ^{ns}
Mg	mmol kg ⁻¹	8,06	8,00	3,00	16,00	2,84	8,06	35,21	0,32	0,75	0,07 ^{ns}
SB	mmol kg ⁻¹	23,13	23,30	7,40	43,60	6,92	47,85	29,90	0,23	0,33	0,06 ^{ns}
CTC	mmol kg ⁻¹	112,77	107,50	91,60	216,70	18,35	336,85	16,27	15,77	3,30	0,19 *
V	%	21,06	21,6	5,4	35,3	6,83	46,70	32,44	-0,45	-0,12	0,05 *
Cana-de-açúcar 0,40-0,60 m											
pH	H ₂ O	4,06	4,10	3,90	4,30	0,07	0,01	1,75	2,77	0,82	0,08 ^{ns}
H+Al	mmol kg ⁻¹	126,66	121,00	80,00	185,00	19,44	378,10	15,35	2,86	1,03	0,10 ^{ns}
MO	g dm ⁻³	8,69	8,00	5,00	20,00	2,48	6,15	28,56	5,94	1,97	0,14 *
P	mg dm ⁻³	5,41	5,00	3,00	8,00	1,11	1,23	20,51	0,51	0,57	0,04 ^{ns}
K	mmol kg ⁻¹	0,40	0,40	0,20	0,60	0,09	0,01	23,31	0,46	0,31	0,03 ^{ns}
Ca	mmol kg ⁻¹	3,63	3,00	2,00	12,00	1,51	2,27	41,56	15,54	3,49	0,19 *
Mg	mmol kg ⁻¹	2,16	2,00	1,00	7,00	0,98	0,96	45,42	12,19	3,02	0,10 ^{ns}
SB	mmol kg ⁻¹	6,18	5,40	3,30	19,50	2,48	6,16	40,16	14,35	3,40	0,30 *
CTC	mmol kg ⁻¹	132,83	126,40	94,50	190,50	18,52	342,82	13,94	2,95	1,42	0,23 *
V%	%	4,83	4,27	2,65	19,60	2,64	6,99	54,72	18,49	3,96	0,26 ^{ns}

Un. = Unidade; DP = Desvio Padrão; Var. = Variância; CV = Coeficiente de Variação; Assim. = Coeficiente de Assimetria; d = teste de normalidade, *significativo pelo teste de Kolmogorov-Smirnov ($p < 0,05$).

Na área de agrofloresta a H+Al e P (0,00-0,20 m), pH, Ca e SB (0,40-0,60 m) foi classificada como GDE moderada, no entanto, as demais variáveis foram classificadas com um GDE fraco para ambas profundidades. Este comportamento se repete na área de cana-de-açúcar onde observamos que apenas Mg e V% (0,00-0,20 m), MO, K, CTC e V% (0,40-0,60 m) foram classificadas com GDE moderado, enquanto que as demais foram classificadas como GDE fraca (Tabela 3). Trabalhos como de Souza et al. (2006), Marques Júnior et al. (2008) e Campos et al. (2007) encontraram GDE em cultivo de cana-de-açúcar variando de forte a moderada.

Conforme afirmação de Cambardella et al. (1994) a forte dependência espacial dos atributos do solo é atribuída aos fatores intrínsecos, ao passo que aos extrínsecos atribui-se fraca dependência. Portanto, a dependência espacial moderada e fraca, ocorre devido à homogeneização do solo nos diferentes sistemas de uso e manejo (Cavalcante et al., 2007).

À distância na qual a semivariância se estabiliza é considerada o alcance da dependência espacial. É uma medida importante para planejamento e avaliação experimental,

podendo auxiliar na definição de procedimentos amostrais tendo aplicação direta no plano de amostragem. O alcance na área de agrofloresta variam de 45,60 m a 84,64 m (0,00-0,20 m) e 19,80 m a 68,17 m (0,40-0,60 m), enquanto que na área de cana-de-açúcar os valores vão de 13,90 m a 33,00 m (0,00-0,20 m) e 21,30 m a 57,70 m (0,40-0,60 m) (Tabela 3). Na área de agrofloresta os valores de alcance são bem maiores quando comparados aos valores da área de cana-de-açúcar, indicando uma maior continuidade espacial. Portanto, além da variabilidade vertical, há também variabilidade horizontal entre as profundidades pra ambas as áreas, visto que o alcance foi diferente para as variáveis, nas diferentes profundidades.

Outra maneira de avaliar a variabilidade espacial dos atributos do solo por meio da geoestatística é utilizando os semivariogramas escalonados (Figura 2). O modelo esférico se ajustou na área de agrofloresta, enquanto que o modelo exponencial foi ajustado na área de cana-de-açúcar. Aquino et al. (2014) utilizando semivariograma escalonados na avaliação de atributos físicos no sul do Amazonas encontraram ajustes predominantes ao modelo esférico e Grego & Vieira (2005)

Tabela 3. Modelos e parâmetros estimados dos semivariogramas dos atributos químicos em área de agrofloresta e cana-de-açúcar em Humaitá, AM

Atributos	Unidade	Modelo	Estatística					
			C ₀	C ₀ +C ₁	a (m)	R ²	GDE	CR
Agrofloresta 0,0 - 0,20 m								
pH	H ₂ O	EPP	-	-	-	-	-	-
H+Al	mmol kg ⁻¹	Exp.	0,00	0,00	45,60	0,77	94,00	0,84
MO	g dm ⁻³	EPP	-	-	-	-	-	0,12
P	mg dm ⁻³	Esf.	0,08	2,47	84,64	0,95	96,00	-
K	mmol kg ⁻¹	EPP	-	-	-	-	-	-
Ca	mmol kg ⁻¹	EPP	-	-	-	-	-	-
Mg	mmol kg ⁻¹	EPP	-	-	-	-	-	-
SB	mmol kg ⁻¹	EPP	-	-	-	-	-	-
CTC	mmol kg ⁻¹	Esf.	93,70	282,30	52,50	0,96	67,00	1,13
V	%	EPP	-	-	-	-	-	-
Agrofloresta 0,40 - 0,60 m								
pH	H ₂ O	Exp.	0,00	0,02	37,60	0,82	60,00	0,96
H+Al	mmol kg ⁻¹	Esf.	14,14	371,80	66,58	0,94	96,00	0,89
MO	g dm ⁻³	Exp.	0,30	5,70	29,10	0,74	94,00	0,87
P	mg dm ⁻³	Esf.	7,0 ⁵	0,02	35,75	0,99	99,00	0,96
K	mmol kg ⁻¹	EPP	-	-	-	-	-	-
Ca	mmol kg ⁻¹	Esf.	0,03	0,06	65,94	0,90	49,00	0,73
Mg	mmol kg ⁻¹	Esf.	0,001	0,02	54,00	1,00	90,00	0,90
SB	mmol kg ⁻¹	Esf.	0,13	0,20	44,75	0,88	34,00	0,40
CTC	mmol kg ⁻¹	Esf.	9,31	382,73	68,17	0,95	97,00	0,55
V	%	Esf.	0,001	0,03	19,80	0,69	94,00	0,70
Cana-de-açúcar 0,0-0,20 m								
pH	H ₂ O	Esf.	0,00	0,01	17,40	0,83	77,00	0,35
H+Al	mmol kg ⁻¹	Exp.	40,20	205,02	23,35	0,81	80,00	0,78
MO	g dm ⁻³	Exp.	8,11	40,40	26,10	0,97	79,00	0,66
P	mg dm ⁻³	Esf.	0,26	2,34	33,00	0,77	88,00	0,38
K	mmol kg ⁻¹	Esf.	0,00	0,01	18,70	0,57	84,00	0,97
Ca	mmol kg ⁻¹	Esf.	2,43	13,08	15,70	0,59	81,00	0,43
Mg	mmol kg ⁻¹	Esf.	2,10	6,50	14,10	0,91	67,00	0,53
SB	mmol kg ⁻¹	Esf.	0,01	0,07	18,50	0,81	77,00	0,46
CTC	mmol kg ⁻¹	Exp.	34,04	174,30	26,70	0,97	80,00	0,78
V	%	Esf.	0,02	0,12	13,90	0,81	75,00	0,30
Cana-de-açúcar 0,40-0,60 m								
pH	H ₂ O	Exp.	0,00	0,002	28,20	0,93	78,00	0,76
H+Al	mmol kg ⁻¹	Exp.	29,32	285,27	28,65	0,82	89,00	0,81
MO	g, dm ⁻³	Exp.	1,08	3,82	27,30	0,90	71,00	0,89
P	mg dm ⁻³	Esf.	0,12	1,49	57,70	0,97	91,00	0,95
K	mmol kg ⁻¹	Esf.	0,004	0,008	31,00	0,93	50,00	1,08
Ca	mmol kg ⁻¹	Exp.	0,07	0,42	21,30	0,79	82,00	0,72
Mg	mmol kg ⁻¹	Exp.	0,07	0,22	47,40	0,98	82,00	1,08
SB	mmol kg ⁻¹	Exp.	0,26	1,35	21,60	0,92	80,00	0,77
CTC	mmol kg ⁻¹	Exp.	80,16	280,72	29,72	0,74	71,00	0,75
V	%	Esf.	0,02	0,80	34,20	0,96	71,00	0,83

C₀ = Efeito Pepita; C₀+C₁ = Patamar; a= alcance; GDE= grau de dependência espacial; R² = Coeficiente de determinação; Exp = exponencial; Esf = esférico; EPP = efeito pepita puro; CR= Coeficiente de regressão da validação cruzada.

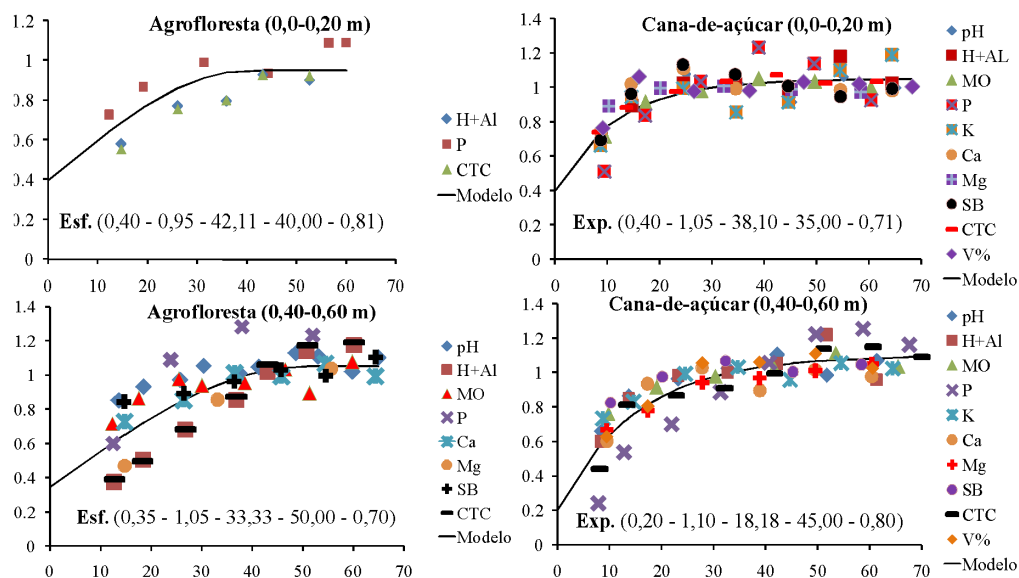


Figura 2. Semivariogramas escalonados para os atributos químicos em área de agrofloresta e pastagem na região Sul do Amazonas

afirmaram que este modelo é o que predomina nos trabalhos em ciência do solo.

O efeito pepita (EP) apresentou valores similares em ambos os ambientes, diferentemente dos apresentados nos semivariogramas simples (Tabela 3) onde se verificou grande discrepância entre os atributos de cada área. Na avaliação do GDE, os semivariogramas escalonados foram classificados com moderada dependência espacial na área de agrofloresta e cana-de-açúcar, seguindo a mesma tendência dos semivariogramas individuais (Tabela 3). Já os valores de alcance foram superiores na área de agrofloresta (42,11 e 33,33 m) respectivamente, enquanto que na área com cana-de-açúcar (38,10 e 18,18 m) respectivamente, confirmando a maior variabilidade espacial já encontrada nos semivariogramas individuais. Trabalhos de Aquino et al. (2015) e Oliveira et al. (2015) desenvolvidos na região sul do Amazonas estão de acordo com os encontrados neste trabalho.

Neste sentido, Souza et al. (2009) afirmam que uma das principais utilizações dos semivariogramas é na determinação do número ideal de amostras para a estimação das características do solo. E a geoestatística, com base no parâmetro alcance permite calcular o número mínimo de subamostras para estimar o valor de um atributo em uma determinada área (Tabela 4).

Os valores estimados de número de pontos e espaçamentos obtidos pelo alcance dos semivariogramas individuais foi maior na área com agrofloresta, conforme demonstrado na tabela 4, indicando que é necessário um acréscimo de pontos maiores em relação a cana-de-açúcar para levantamentos seguros de características do solo na profundidade 0,0-0,20 m e menor na profundidade 0,40-0,60 m. Já os resultados obtidos pelos semivariogramas escalonados apresentaram valores próximos para ambas as áreas e com número de pontos

Tabela 4. Valores de densidade amostral e espaçamento ideal de acordo com base no alcance estimado na análise geoestatística para os atributos químicos em área de agrofloresta e cana-de-açúcar em Humaitá, AM

Planejamento amostral - alcance				
Atributos	Agrofloresta		Cana-de-açúcar	
	Densidade amostral (pontos/ha)	Espaçamento (m)	Densidade amostral (pontos/ha)	Espaçamento (m)
Profundidade 0,0 – 0,20 m				
pH	-	-	33	17
H+Al	5	46	18	23
MO	-	-	15	26
P	1	85	9	33
K	-	-	29	19
Ca	-	-	41	16
Mg	-	-	50	14
SB	-	-	29	19
CTC	4	53	14	27
V	-	-	52	14
Média dos atributos	3	61	29	21
Escalonado	6	42	9	33
Profundidade 0,40 – 0,60 m				
pH	7	38	13	28
H+Al	2	67	12	29
MO	12	29	13	27
P	8	36	3	58
K	-	-	10	31
Ca	2	66	22	21
Mg	3	54	4	47
SB	5	45	21	22
CTC	2	68	11	30
V	26	20	9	34
Média dos atributos	7	47	12	33
Escalonado	7	38	30	18

inferiores a média dos semivariogramas individuais. Apesar da área de agrofloresta indicar menor densidade amostral, a sua variabilidade é elevada, uma vez que os valores médios representativos para determinação da densidade amostral são somente os atributos MO, P e CTC que apresentaram ajustes de semivariogramas individuais (Tabela 3). Este caso indica que apesar da menor densidade amostral, a variabilidade espacial nesta área é extremamente elevada.

Estas informações podem viabilizar o trabalho em campo, uma vez que vários estudos de amostragem têm sido conduzidos visando reduzir a variabilidade das características do solo (Montanari et al., 2005; Weindorf & Zhu, 2010; Aquino et al., 2014, 2015; Oliveira et al., 2014, 2015). Entretanto, os trabalhos normalmente, não consideram a variabilidade das amostras simples na composição da amostra composta e a forma como as glebas são definidas.

Conclusões

Os atributos do solo apresentaram estrutura de dependência espacial na sua maioria, com predominância de grau de dependência espacial moderado, nos semivariogramas individuais e escalonado.

O planejamento amostral baseado no alcance dos semivariogramas individuais recomendado apresentou na cana-de-açúcar uma densidade amostral de 29 (0,00-0,20 m) e 12 (0,40-0,60 m) pontos/ha e espaçamento de 21 m (0,00-0,20 m) e 33 m (0,40-0,60 m), e na agrofloresta foi encontrado uma densidade amostral de 3 (0,00-0,20 m) e 7 (0,40-0,60 m), com espaçamentos de 61 m (0,00-0,20 m) e 47 m (0,40-0,60 m).

Os resultados obtidos neste estudo servirão como base para estudos futuros nestes ambientes e demais sistemas dentro da região, servindo, no entanto como base para planejamentos agrícolas que visem uma melhor sustentabilidade do ambiente.

Agradecimentos

Os autores agradecem a FAPEAM e FAPESP pelo financiamento e apoio da pesquisa.

Literatura Citada

- Alho, L. C.; Campos, M. C. C.; Silva, D. M. P.; Mantovaneli, B. C.; Souza, Z. M. Variabilidade espacial da estabilidade de agregados e estoque de carbono em Cambissolo e Argissolo. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v. 44, n. 3, p. 246-254, 2014. <<http://dx.doi.org/10.1590/S1983-40632014000300001>>.
- Amaro Filho, J.; Negreiros, R. F. D.; Assis Júnior, R. N.; Mota, J. C. A. Amostragem e variabilidade espacial de atributos físicos de um Latossolo Vermelho em Mossoró, RN. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, v. 31, n. 3, p. 415-422, 2007. <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832007000300001>>.
- Aquino, R. E.; Campos, M. C. C.; Marques Júnior, J.; Oliveira, I. A.; Mantovaneli, B. C.; Soares, M. D. R. Geoestatística na avaliação dos atributos físicos em Latossolo sob floresta nativa e pastagem na região de Manicoré, Amazonas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 38, n. 2, p. 397-406, 2014. <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832014000200004>>.

- Aquino, R. E.; Marques Júnior, J.; Campos, M. C. C.; Oliveira, I. A.; Teixeira, D. B.; Cunha, J. M. Use of scaled semivariograms in the planning sample of soil physical properties in southern Amazonas, Brazil. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, v. 39, n. 1, p. 21-30, 2015. <<http://dx.doi.org/10.1590/01000683rbcscs20150524>>.
- Bottega, E. L.; Queiroz, D. M.; Pinto, F. A. C.; Souza, C. M. A. Variabilidade espacial de atributos do solo em sistema de semeadura direta com rotação de culturas no Cerrado brasileiro. *Revista Ciência Agronômica*, v. 44, n. 1, p. 1-9, 2013. <<http://dx.doi.org/10.1590/S1806-66902013000100001>>.
- Burrough, P. A. Soil variability: a late 20th century view. *Soils and Fertilizers*, v. 56, n. 5, p. 529-562, 1993.
- Camargo, L. A.; Marques Junior, J.; Pereira, G. T.; Horvat, R. A. Variabilidade espacial de atributos mineralógicos de um Latossolo sob diferentes formas do relevo. II - correlação espacial entre mineralogia e agregados. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 32, n. 6, p. 2279-2288, 2008. <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832008000600007>>.
- 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 America Journal*, v. 58, n. 4, p. 1501-1511, 1994. <<http://dx.doi.org/10.2136/sssaj1994.03615995005800050033x>>.
- Campos, M. C. C.; Marques Júnior, J.; Pereira, G. T.; Freitas, E. V. S. Dependência espacial de atributos químicos em área cultivada com cana-de-açúcar em Pereira Barreto, SP. *Revista Ciência Agronômica*, v. 38, n. 4, p. 350-359, 2007. <<http://www.ccarevista.ufc.br/seer/index.php/ccarevista/article/view/93/319>>. 20 Fev. 2013.
- Campos, M. C. C.; Aquino, E. A.; Oliveira, I. A.; Bergamin, A. C. Variabilidade espacial da resistência mecânica do solo à penetração e umidade do solo em área cultivada com cana-de-açúcar na região de Humaitá, Amazonas, Brasil. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v. 8, n. 2, p. 305-310, 2013. <<http://dx.doi.org/10.5039/agraria.v8i2a2091>>.
- Campos, M. C. C.; Oliveira, I. A.; Santos, L. A. C.; Aquino, E. A.; Soares, M. D. R. Variabilidade espacial da resistência do solo à penetração e umidade em áreas cultivadas com mandioca na região de Humaitá, AM. *Revista Agro@mbiente*, v. 6, p. 9-16, 2012. <<http://revista.ufr.br/index.php/agroambiente/article/view/689/654>>. 31 Mar. 2013.
- Carvalho, M. P.; Takeda, E. Y.; Freddi, O.S. Variabilidade espacial de atributos de um solo sob videira em Vitória Brasil (SP). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 27, n. 4, p. 695-703, 2003. <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832003000400014>>.
- Cavalcante, E. G. S.; Alves, M. C.; Souza, Z. M.; Pereira, G. T. Variabilidade espacial de atributos químicos do solo sob diferentes usos e manejos. *Revista Brasileira de Ciência Solo*, v. 31, n. 6, p. 1329-1339, 2007. <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832007000600012>>.
- Ceddia, M. B.; Vieira, S. R.; Villela, A. L. O.; Mota, L. S.; Anjos, L. H. C.; Carvalho, D. F. Topography and spatial variability of soil physical properties. *Scientia Agrícola*, v. 66, n. 3, p. 338-352, 2009. <<http://dx.doi.org/10.1590/S0103-90162009000300009>>.
- Coelho, E. C.; Souza, E. G.; Uribe-Opazo, M. A.; Pinheiro Neto, R. Influência da densidade amostral e do tipo de interpolador na elaboração de mapas temáticos. *Acta Scientiarum Agronomy*, v. 31, n. 1, p. 165-174, 2009. <<http://dx.doi.org/10.4025/actasciagron.v31i1.6645>>.
- Corá, J. E.; Araújo, A. V.; Pereira, J. T.; Beraldo, M. G. Variabilidade espacial de atributos do solo para adoção do sistema de agricultura de precisão na cultura de cana-de-açúcar. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 28, n. 6, p. 1013-1021, 2004. <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832004000600010>>.
- Cortez, J. W.; Alves, A. D. S.; Moura, M. R. D.; Olszewski, N.; Nagahama H. J. Atributos físicos do argissolo amarelo do semiárido nordestino sob sistemas de preparo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 35, n. 4, p. 1207-1216, 2011. <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832011000400014>>.
- Cruz, J. S.; Assis Júnior, R. N.; Matias, S. S. R.; Camacho-Tamayo, J. H.; Tavares, R. C. Análise espacial de atributos físicos e carbono orgânico em argissolo vermelho-amarelo cultivado com cana-de-açúcar. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 34, n. 2, p. 271-278, 2010. <<http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542010000200001>>.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro, 1997. 212p.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa. Sistema brasileiro de classificação de solos. 3.ed. Brasília: Embrapa Solos; 2013. 353p.
- Goovaerts, P. Geostatistical tools for characterizing the spatial variability of microbiological and physicochemical soil properties. *Biology and Fertility of Soils*, v. 27, n. 4, p. 315-334, 1998. <<http://dx.doi.org/10.1007/s003740050439>>.
- Grego, C. R.; Vieira, S. R. Variabilidade espacial de propriedades físicas do solo em uma parcela experimental. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, v. 29, n. 2, p. 169-177, 2005. <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832005000200002>>.
- Guimarães, E. C. Variabilidade espacial da umidade e da densidade do solo em um Latossolo Roxo. Campinas: Universidade de Campinas, 1993. 138p. Dissertação Mestrado.
- Longo, R. M. Modificações em parâmetros físicos e químicos de latossolos argilosos decorrentes da substituição da Floresta Amazônica e do Cerrado por pastagens. Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 1999. 102p. Tese Doutorado.
- 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 Ciências da Terra*, v. 8, n. 1, p. 153-152, 2008. <<http://eduep.uepb.edu.br/rbct/sumarios/pdf/marquesjunior.pdf>>. 20 Fev. 2013.
- Matheron, G. Principles of geostatistics. *Economic Geology*, v. 58, n. 8, p. 1246-1266, 1963. <<http://dx.doi.org/10.2113/gsecongeo.58.8.1246>>.
- Minitab. Minitab Release 14.1. User's Manual. New York: Addison-Wesley, 2000.

- Montanari, R.; Marques Júnior, J.; Pereira, G. T.; Souza, Z. M. Forma da paisagem como critério para otimização amostral de latossolos sob cultivo de cana-de-açúcar. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 40, n. 1, p. 69-77, 2005. <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2005000100010>>.
- Motomiya, A. V. A.; Corá, J. E.; Pereira, G. T. Uso da krigagem indicatriz na avaliação de indicadores de fertilidade do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 30, n. 3, p. 485-496, 2006. <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832006000300010>>.
- Oliveira, I. A.; Marques Junior, J.; Campos, M. C. C.; Aquino, R. E.; Siqueira, D. S.; Freitas, L. Spatial variability and sampling density of chemical attributes in archaeological black earth and native forest soil in Manicoré, AM. *Floresta*, v. 44, n. 4, p. 735-746, 2014. <<http://dx.doi.org/10.5380/rev.v44i4.29988>>.
- Oliveira, I. A.; Campos, M. C. C.; Marques Junior, J.; Aquino, R. E.; Teixeira, D. B.; Silva, D. M. P. Use of scaled semivariograms in the planning sample of soil physical properties in southern Amazonas, Brazil. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, v. 39, n. 1, p. 31-39, 2015. <<http://dx.doi.org/10.1590/01000683rbc20150525>>.
- Oliveira, I. A.; Campos, M. C. C.; Soares, M. D. R.; Aquino, R. E.; Marques Júnior, J.; Nascimento, E. P. Variabilidade espacial de atributos físicos em um Cambissolo Háplico, sob diferentes usos na região Sul do Amazonas. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, v. 37, n. 4, p. 1103-1112, 2013. <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832013000400027>>.
- Plant, R. E. Site-specific management: the application of information technology to crop production. *Computers and Electronics in Agriculture*, v. 30, n. 1/3, p. 9-29, 2001. <[http://dx.doi.org/10.1016/S0168-1699\(00\)00152-6](http://dx.doi.org/10.1016/S0168-1699(00)00152-6)>.
- Raij, B. van; Quaggio, J. A.; Cantarella, H. Análise química do solo para fins de fertilidade. Campinas, Fundação Cargill, 1987. 107p.
- Robertson, G. P. *GS+ geostatistics for the environmental sciences: GS+ user's guide*. Plainwell: Gamma Design Software, 1998, 152p.
- Silveira, P. M.; Zimmerman, F. J. P.; Silva, S. C da; Cunha, A. A. Amostragem e variabilidade espacial de características químicas de um latossolo submetido a diferentes sistemas de preparo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 35, n. 10, p. 2057-2067, 2000. <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X200001000018>>.
- Souza, Z. M.; Marques Júnior, J.; Pereira, G. T.; Montanari, R.; Campos, M. C. C. Amostragem de solo para determinação de atributos químicos e físicos em área com variação nas formas do relevo. *Científica*, v. 34, n. 2, p. 249-256, 2006. <<http://www.cientifica.org.br/index.php/cientifica/article/view/126/91>>. 20 Mar. 2013.
- Souza, Z. M.; Marques Júnior, J.; Pereira, G. T. Geoestatística e atributos do solo em áreas cultivadas com cana-de-açúcar. *Revista Ciência Rural*, v. 40, n. 1, p. 48-56, 2009. <<http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782009005000243>>.
- 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 13, p. 319-344.
- Weindorf, D. C.; Zhu, Y. Spatial variability of soil properties at Capulin volcano, New Mexico, USA: implications for sampling strategy. *Pedosphere*, v. 20, n. 2, p. 185-197, 2010. <[http://dx.doi.org/10.1016/S1002-0160\(10\)60006-9](http://dx.doi.org/10.1016/S1002-0160(10)60006-9)>.
- 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. 3, p. 1467-1476, 1988. <<http://dx.doi.org/10.1080/00103628809368027>>.
- Zanão Júnior, L. A.; Lana, R. M. Q.; Carvalho-Zanão, M. P.; Guimarães, E. C. Variabilidade espacial de atributos químicos em diferentes profundidades em um latossolo em sistema de plantio direto. *Revista Ceres*, v. 57, n. 3, p. 429-438, 2010. <<http://dx.doi.org/10.1590/S0034-737X2010000300021>>.