



Variabilidade espacial da resistência do solo à penetração e umidade em áreas cultivadas com mandioca na região de Humaitá, AM¹

Spatial variability of soil resistance to penetration and humidity in areas cultivated with cassava in the region of Humaitá, AM

Milton César Costa Campos^{2*}, Ivanildo Amorim de Oliveira³, Luís Antônio Coutrim dos Santos⁴, Renato Eleotério de Aquino³, Marcelo Dayron Rodrigues Soares⁵

Resumo – A mandioca é uma cultura de grande importância regional devido à sua adaptabilidade e excelente fonte de proteína, por outro lado, o sistema de manejo é fundamental para o sucesso do cultivo. Assim, o preparo do solo é uma das etapas primordiais para o plantio seja realizado de forma inadequada, evitando a compactação e perda da qualidade física. A resistência do solo a penetração (RSP) tem sido um importante indicador da qualidade física do solo, por ser diretamente relacionado ao crescimento das plantas e de fácil determinação. Objetivou-se com este trabalho investigar a variabilidade espacial da resistência do solo a penetração (RSP) e do teor de umidade do solo em diferentes profundidades em área cultivada com mandioca. O experimento foi instalado em um Cambissolo Háplico Alítico plíntico. Os pontos de coleta das amostras foram estabelecidos por meio de uma malha de 70 x 70 m, amostrando-se nos pontos de cruzamento da malha, com espaçamentos regulares de 10 em 10 m. A RSP e umidade foram avaliadas nas profundidades 0,0–0,15, 0,15–0,30 e 0,30–0,45 m. Foram realizadas análises exploratória dos dados e geoestatística. A resistência do solo a penetração (RSP) e o teor de umidade apresentaram dependência espacial em todas as profundidades estudadas, exceto na profundidade de 0,30 - 0,45 m da RSP que apresentou efeito pepita puro. O teor de umidade no solo e a RSP apresentaram valores de alcances maiores que o espaçamento da malha, variando entre 15,10 a 67,76 m.

Palavras-chaves - Atributos físicos. Compactação do solo. Geoestatística.

Abstract - Cassava is a regional culture of great importance because of their adaptability and excellent source of protein, on the other hand, the management system is critical to the success of cultivation. Thus, soil preparation is one of the primary steps for planting is done improperly, preventing compaction and loss of physical quality. The resistance to penetration (RSP) has been an important indicator of soil physical quality, to be directly related to plant growth and easy determination. The objective of this work to investigate the spatial variability of soil resistance to penetration (RSP) and the moisture content of soil at different depths in area planted to cassava. The experiment was conducted in a Cambisol. The sample collection points were established by means of a grid of 70 mx 70 m, sampling at the crossing points of the grid with regular spacing of 10 to 10 meters. The RSP and the humidity was measured at depths from 0.0 to 0.15, 0.15 to 0.30 and from 0.30 to 0.45 m. Analyzes were performed exploratory data and geostatistics. The resistance to penetration (RSP) and moisture content showed spatial dependence at all depths studied, except at a depth of 0.30 to 0.45 m of RSP which showed pure nugget effect. The moisture in the soil and the RSP had values with ranges greater than the spacing of the grid, ranging from 15.10 to 67.76 m.

Key words - Physical attributes. Soil compaction. Geostatistics.

*Autor para correspondência

¹Recebido para publicação em 14/03/2012 e aprovado em 25/04/2012

Projeto de Pesquisa financiado pela FAPEAM e SECT-AM.

²Professor Adjunto do Instituto de Educação, Agricultura e Ambiente, UFAM, Humaitá - AM, Brasil, mcesarsolos@gmail.com

³Mestrando da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, UNESP, Jaboticabal - SP, Brasil, aquino.rea@gmail.com, ivanildoufam@gmail.com

⁴Mestrando do Departamento de Agronomia, UFRPE, Recife - PE, santoslac@gmail.com

⁵Acadêmico de Engenharia Ambiental do Instituto de Educação, Agricultura e Ambiente UFAM, Humaitá - AM, Brasil, marcelo.dayron@gmail.com

Introdução

A mandioca (*Manihot esculenta Crantz*) é uma cultura de grande importância regional devido à sua adaptabilidade e se desenvolve bem em várias regiões do Brasil. A mandioca está presente na maioria das pequenas propriedades familiares, por ser importante fonte de carboidratos na alimentação humana e animal (SCHONS *et al.*, 2009), sendo cultivada em grande parte do estado do Amazonas como espécie de subsistência e fonte de renda para os moradores.

O preparo do solo para o cultivo da mandioca é tradicionalmente realizado com arações e gradagens, o que pode ocasionar problemas de erosão, compactação e empobrecimento progressivo do solo, com consequente diminuição da produtividade dos cultivos (GABRIEL FILHO *et al.*, 2000). A resistência do solo à penetração é um atributo muito utilizado para estimar a compactação (ROQUE *et al.*, 2008), bem como encontrar camadas do solo compactadas (COLET *et al.*, 2009). Por outro lado, a resistência do solo à penetração é influenciada pelo conteúdo de água (umidade), textura e pela condição estrutural do solo (TARDIEU, 1994).

Dada uma determinada condição estrutural, a umidade do solo é o principal fator que estabelecerá o momento em que a resistência do solo irá tornar-se limitante às plantas, no entanto isso depende das condições climáticas no período, por este motivo, uma determinada condição pode se tornar restritiva ao crescimento das plantas, dependendo do conteúdo de água no solo e do período fenológico em que a planta se encontra (KAISER *et al.*, 2009).

Para facilitar o manejo do solo, com uma maior precisão em seu preparo, o uso de técnicas geoestatísticas permitem realizar a modelagem da variabilidade espacial dos atributos solo. De acordo com Cavalcante *et al.*, (2007) com uso da agricultura de precisão pode-se realizar a aplicação de insumos no local e quantidade exata, proporcionando assim o aumento da produtividade das culturas e reduzindo o risco de contaminações ambientais, para áreas cada vez menores e mais homogêneas.

O emprego de tecnologia agregada à variabilidade espacial e temporal é de suma importância, sobretudo na pesquisa agrônoma que estuda o solo e a sua capacidade produtiva. O conhecimento da variabilidade dos atributos do solo e das culturas, no espaço e no tempo, é considerado, atualmente, o princípio básico para o manejo preciso das áreas agrícolas, qualquer que seja sua escala (GREGO; VIEIRA, 2005).

Objetivou-se com o presente trabalho investigar a variabilidade espacial da resistência do solo a penetração e umidade do solo em área cultivada com mandioca na região de Humaitá, AM.

Materiais e métodos

A área de estudo localizou-se nas imediações da BR 319, km 50, sentido Humaitá/AM para Porto Velho/RO na fazenda Dois Irmãos no município de Humaitá-AM, situada nas coordenadas geográficas: 7° 30' 24" S e 63° 04' 56" W. A região apresenta uma vegetação de contato entre Campos e Florestas, que caracterizou-se por apresentar várias formações campestres. A vegetação dominante é a gramíneo-lenhosa baixa e se alterna com pequenas árvores isoladas e galerias florestais ao longo dos rios (BRAUN; RAMOS, 1959). O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo tropical chuvoso, apresentando um período seco de pequena duração (Am), temperaturas oscilando entre 25 e 27°C e precipitação média anual de 2.500 mm, com período chuvoso iniciando em outubro e prolongando-se até junho e umidade relativa do ar entre 85 e 90%.

O experimento foi instalado em um CAMBISSOLO HÁPLICO Alítico plintico que segundo Campos, (2009), são solos predominantes em áreas de campo alto na região Sul do Amazonas. Mapeou-se uma área com cultivo de mandioca com aproximadamente 10 anos de cultivo sucessivo, sendo que a mesma foi corrigida, adubada e gradeada apenas no segundo ano de cultivo, a mesma encontrava-se com quarto mês de plantio. Nesta área foi estabelecida uma malha de 70 x 70 m, marcada no mês de agosto do ano de 2011, o solo foi amostrado nos pontos de cruzamento da malha, com espaçamentos regulares de 10 em 10 metros, totalizando 64 pontos amostrais e nas profundidades 0,0-0,15; 0,15-0,30 e 0,30-0,45 m, totalizando 192 amostras. Os pontos amostrados foram georreferenciados com um equipamento de GPS Garmin Etrex com acurácia de 2,00 m (South American '69).

As variáveis estudadas foram: umidade gravimétrica, determinada com amostras deformadas de solo, conforme o método proposto em Embrapa (1997) e a resistência do solo a penetração (RSP) utilizando um penetrômetro de impacto modelo IAA/Planalsucar, com ângulo de cone de 30°. A transformação da penetração da haste do aparelho no solo (cm por impacto) em resistência à penetração foi obtida segundo Stolf (1991), aplicando a fórmula:

$$R = \frac{Mg + mg + \left(\frac{M}{M+m} \cdot \frac{Mg \cdot h}{x} \right)}{A} \quad (1)$$

onde: R = resistência do solo à penetração, kgf cm⁻² (kgf cm⁻² x 0,098 = MPa); M = massa do êmbolo, 4 kg (Mg - 4 kgf); m = massa do aparelho sem êmbolo, 3,2 kg (Mg - 3,2 kgf); h = altura de queda do êmbolo, 40 cm; x = penetração da haste do aparelho, cm por impacto, e A = área do cone, 1,29 cm².

A variabilidade do solo foi, primeiramente, avaliada pela análise exploratória dos dados, calculando-se a média, mediana, desvio padrão, variância, coeficiente de variação, coeficiente de assimetria, coeficiente de curtose e teste de normalidade. A hipótese de normalidade dos dados foi testada pelo teste de Kolmogorov-Smirnov-Surfer (GOLDEN SOFTWARE INC., 1999).

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

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

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 .

Do ajuste de um modelo matemático aos valores calculados de $\hat{\gamma}(h)$ são definidos os coeficientes do modelo teórico para o semivariograma (o efeito pepita, C_0 ; variância estrutural, C_1 ; patamar, $C_0 + C_1$; e o alcance, a). O efeito pepita é o valor da semivariância para distância zero e representa o componente da variação ao acaso; o patamar é o valor da semivariância em que a curva estabiliza sobre um valor constante; o alcance é a distância da origem até onde o patamar atinge valores estáveis,

expressando a distância além da qual as amostras não são correlacionadas (VIEIRA *et al.*, 1983).

Na determinação da existência ou não da dependência espacial, utilizou-se o exame de semivariogramas, por meio do programa GS+ (ROBERTSON, 1998). Em caso de dúvida entre mais de um modelo para o mesmo variograma, considerou-se o melhor R^2 (coeficiente de determinação). Na elaboração dos mapas de distribuição espacial das variáveis foi utilizado o programa Surfer (GOLDEN SOFTWARE INC., 1999).

Resultados e discussão

A análise descritiva da resistência do solo à penetração (RSP) e teor de umidade do solo é apresentada na Tabela 1. Os valores da média e da mediana para os atributos RSP e teor umidade no solo nas profundidades 0,0-0,15, 0,15-0,30 e 0,30-0,45 m estão próximos, indicando que estes dados seguem uma distribuição simétrica. (Tabela 1). Valores similares foram encontrados por Souza *et al.* (2006), estudando a variabilidade espacial da RSP e teor de umidade do solo sob cultivo de cana-de-açúcar.

Observou-se que a área apresenta crescente aumento da RSP da profundidade de 0,00-0,15 m para 0,30-0,45 m, passando de 1,74 para 6,18 MPa (Tabela 1). Isso faz com que o solo se torne bem adensado e proporcione maior capacidade de carga, não sendo alterado com o tráfego de trator conforme o observado por Bergamin *et al.* (2010) em Latossolo Vermelho distroférrico muito argiloso sob

Tabela 1 - Estatística descritiva para os atributos resistência do solo à penetração (MPa) e teor de umidade do solo (kg kg⁻¹) nas profundidades de 0,00-0,15, 0,15-0,30 e 0,30-0,45 m em área cultivada com mandioca na região de Humaitá, AM

Estatística	Resistência do solo à penetração			Umidade do solo		
	Profundidade (m)					
	0,00-0,15	0,15-0,30	0,30-0,45	0,00-0,15	0,15-0,30	0,30-0,45
Média	1,74	5,77	6,18	14,39	14,58	15,33
Mediana	1,42	5,72	6,05	14,22	14,42	15,11
Mínimo	0,90	2,80	3,70	11,10	13,03	12,09
Máximo	4,15	10,01	9,11	19,24	18,00	20,52
Assimetria	1,06	0,57	0,33	0,61	1,09	0,76
Curtose	0,25	1,51	-0,23	0,35	1,32	0,63
DP	0,83	1,24	1,16	1,71	1,10	1,60
Variância	0,69	1,54	1,35	2,91	1,21	2,56
CV (%)	47,60	21,47	18,82	11,86	7,53	10,44
d ¹	0,22*	0,07*	0,10*	0,90*	0,13*	0,13*

d¹ = *significativo a 5% de probabilidade pelo teste Kolmogorov-Smirnov.

plântio direto na camada de 0,10-0,20 m. Borges *et al.* (2004), relata que esse aumento mais acentuado da RSP nas camadas mais profundas é devido, entre outros fatores, à pressão das camadas superficiais sobre as subjacentes e à própria pressão exercida pelas máquinas utilizadas nas operações de preparo do solo, que se transmite em profundidade.

Convém destacar que, Tormena e Roloff (1996) afirmam que valores de resistência do solo à penetração iguais ou superiores que 2 MPa são restritivos ao crescimento das raízes e que o valor de 1 MPa é crítico, mas não impedem o crescimento.

Os coeficientes de assimetria e curtose estão próximos de zero (Tabela 1), para todas as variáveis caracterizando distribuição simétrica, justificados pelos valores de média e mediana, concordando com os valores encontrados por Bottega *et al.*, (2011) que avaliaram a variabilidade espacial da resistência do solo à penetração em um Latossolo Vermelho distroférrico. Os resultados referentes ao teste Kolmogorov-Smirnov indicou normalidade para todas as variáveis estudadas. Apesar da normalidade dos dados não ser uma exigência da geoestatística, é importante que a distribuição não apresente caudas muito alongadas, o que poderia comprometer as estimativas da krigagem, as quais são baseadas nos valores médios (ISAACS; SRIVASTAVA, 1989).

Seguindo a classificação do coeficiente de variação (CV), proposta por Warrick e Nielsen (1980), os valores de CV para a classificação de variáveis do solo ($CV < 12\%$), ($12\% < CV < 60\%$) e ($CV > 60\%$), indicam variabilidade baixa, moderada e alta, respectivamente, e sendo assim, o teor de umidade do solo apresentaram valores baixos de coeficiente de variação (CV) nas profundidades, indicando baixa variabilidade dos dados (Tabela 1), corroborando com os resultados encontrados

por Grego e Vieira (2005), que avaliaram a variabilidade espacial de propriedades físicas do solo em uma parcela Experimental. A RSP apresentou CV moderado para as três camadas concordando com os valores obtidos por Souza *et al.*, (2001) e Souza *et al.*, (2006).

Os valores das análises geoestatísticas da RSP e teor de umidade se encontram na Tabela 2 e representados na Figura 1. Nota-se que os valores mostraram que todos os atributos estudados apresentaram dependência espacial a qual é expressa por meio dos ajustes aos modelos de semivariogramas.

Os valores de RSP se ajustaram ao modelo esférico para todas as profundidades e também para o teor de umidade do solo nas profundidades de 0,0 – 0,15 e 0,15 – 0,30 e o modelo exponencial melhor se ajustou ao teor de umidade na profundidade de 0,30 – 0,45 m (Tabela 2 e Figura 1). Os modelos esférico e exponencial que se ajustaram aos dados desse estudo concordam com os resultados de pesquisas que indicam esses modelos como os de maior ocorrência para atributos do solo (SOUZA *et al.*, 2004).

O efeito pepita (C_0) representa a variabilidade não explicada, considerando a distância de amostragem utilizada (VIEIRA, 2000). Para a RSP na profundidade 0,30 – 0,45 m, verificou-se a existência do efeito pepita puro (Tabela 2 e Figura 1), Mcbratney e Webster (1986), afirmam que este é um parâmetro importante do semivariograma e indica uma variabilidade não explicada considerando a distância de amostragem utilizada.

Na análise do grau de dependência espacial 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 $[(C_0/(C_0+C_1))]$

Tabela 2 - Modelos e parâmetros estimados dos semivariogramas experimentais dos atributos RSP (MPa) e teor de umidade do solo (kg kg^{-1}) nas profundidades de 0,00-0,15, 0,15-0,30 e 0,30-0,45 m em área cultivada com mandioca na região de Humaitá, AM

Estatística	Resistência do solo à penetração			Umidade do solo		
	Profundidade (m)					
	0,00-0,15	0,15-0,30	0,30-0,45	0,00-0,15	0,15-0,30	0,30-0,45
Modelo	Esf.	Esf.	Esf.	Esf.	Esf.	Exp..
Efeito pepita (C_0)	0,04	0,36	EPP	0,16	0,18	0,75
Patamar (C_0+C_1)	0,40	1,12	-	2,20	0,71	1,89
Alcance (a)	15,10	29,36	-	15,62	15,16	67,76
$^1[C_0/(C_0+C_1)] \times 100$	91,00	67,00	-	95,00	74,00	60,00
$^2R^2$	0,75	0,84	-	0,81	0,72	0,85

$^1[C_0/(C_0+C_1)] \times 100$ = grau de dependência espacial; $^2R^2$ = coeficiente de determinação; Esf. = esférico; Exp. = Exponencial.

maiores que 75% dependência espacial fraca. A análise da relação $[(C_0/(C_0+C_1))]$ mostrou que as variáveis em estudo na sua maioria apresentaram moderada dependência espacial para RSP na camada de 0,15 – 0,30 m e teor de umidade do solo nas camadas 0,15 – 0,30 m e 0,30 – 0,45 m (Tabela 2 e Figura 1), assemelhando-se aos dados encontrados por Souza *et al.* (2006) em um Latossolo Vermelho distrófico argiloso sob cultivo de cana-de-açúcar a mais de 40 anos. Para RSP na camada 0,0 – 0,15 m e teor de umidade do solo na camada 0,0 – 0,15 m, apresentaram fraca dependência espacial, sendo que o ideal para estas variáveis seria o adensamento da malha de amostragem.

A maior parte das variáveis analisadas apresentaram coeficiente de determinação (R^2) acima de 0,80 (Tabelas 2 e Figura 1), ou seja, no mínimo 80% da variabilidade existente nos valores da semivariância estimada são explicadas pelos modelos ajustados (CAMPOS *et al.*, 2007).

O alcance (a) indica a distância (m) limite entre pontos correlacionados entre si. Pontos coletados com distâncias maiores que o alcance é independente e, para sua análise, pode-se utilizar a estatística clássica (VIEIRA, 2000). Os atributos em estudo apresentaram alcances crescentes com a profundidade partindo de 15,10

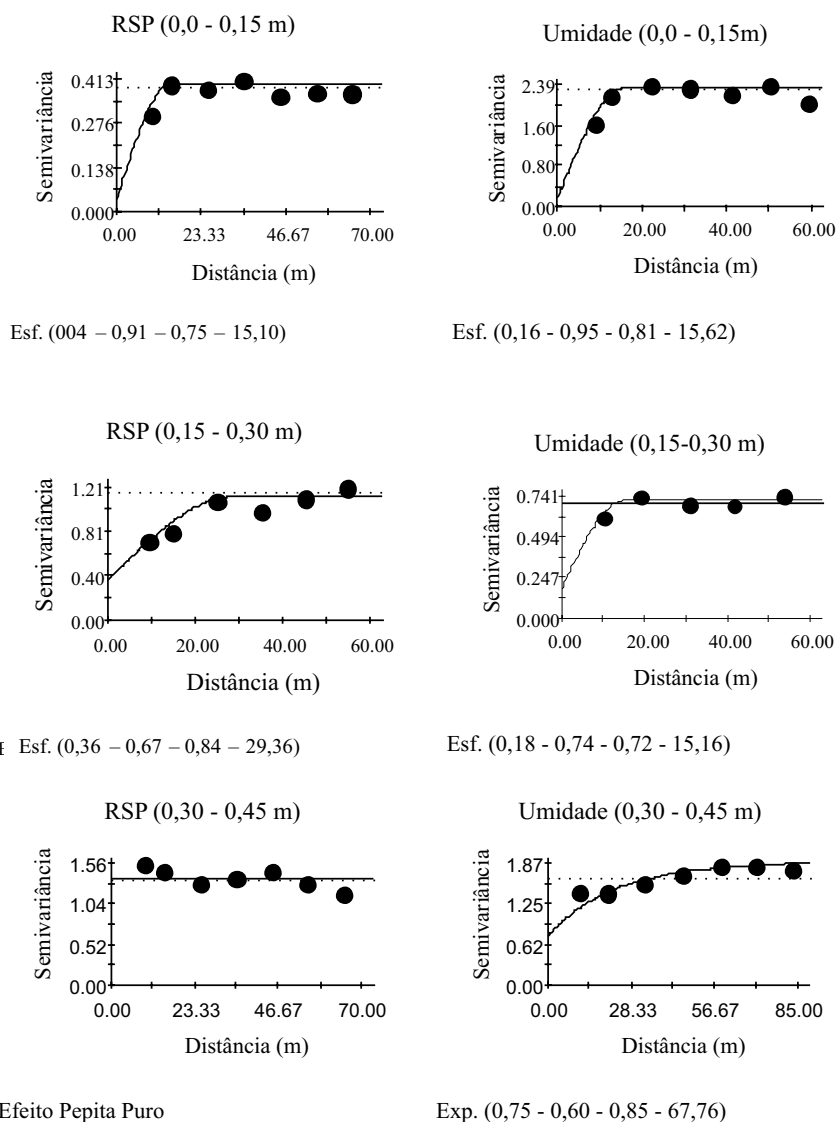


Figura 1 - Semivariogramas da resistência do solo à penetração (RSP) e teor de umidade do solo nas profundidades de 0,00-0,15, 0,15-0,30, 0,30-0,45 m em área sob cultivo de mandioca na região de Humaitá, AM. Esf.; Exp. (C_0 ; $C_0/(C_0+C_1)$); R^2 ; a). Esf = Modelo Esférico; Exp = Modelo Exponencial; C_0 = efeito pepita; $C_0/(C_0+C_1)$ = dependência espacial; R^2 = coeficiente de determinação; a = alcance. EPP = efeito pepita puro.

para 29,36 m para a RSP nas profundidades de 0,00-0,15 e 0,15-0,30 m, respectivamente (Tabela 2 e Figura 1), esses valores são comparados aos encontrados por Marasca *et al.* (2011) em um Latossolo Vermelho distrófico argiloso cultivado com soja no sistema plantio direto que encontraram valores em torno de 20 m para a RSP.

Comparando o teor de umidade no solo com a RSP verificou-se valores de alcances com menores magnitudes variando de 15,10 m a 29,36 m nas profundidades de 0,00-0,15 a 0,15-0,30 m, respectivamente (Tabela 2 e Figura 1), indicando mesma tendência da RSP, concordando com os resultados encontrados por Dalchiavon *et al.* (2011) em um Latossolo Vermelho distroférico muito argiloso cultivado no sistema de plantio direto no Cerrado Brasileiro.

Os mapas de krigagem dos atributos RSP e umidade do solo são representados na Figura 2. Comparando as

informações entre os valores de RSP e umidade do solo, observa-se que houve correlação entre os valores, quando comparados entre si, os maiores valores de RSP são observados onde ocorrem os menores valores do teor de umidade do solo nas profundidades estudadas, este mesmo comportamento foi observado por Roque *et al.* (2008), onde as áreas que apresentaram as menores produtividades também mostraram menores teores de água no solo e altos valores de resistência do solo a penetração.

Houve também relação dos atributos estudados com o relevo da área, onde os maiores valores para os atributos do solo foram observados em geral onde o relevo apresenta altitudes menores, sendo assim, indica a dependência espacial dos atributos físicos do solo aos elementos do relevo (pedofoma), o que reforça a importância da pedofoma para transferência de informações espaciais (SOUZA *et al.*, 2006).

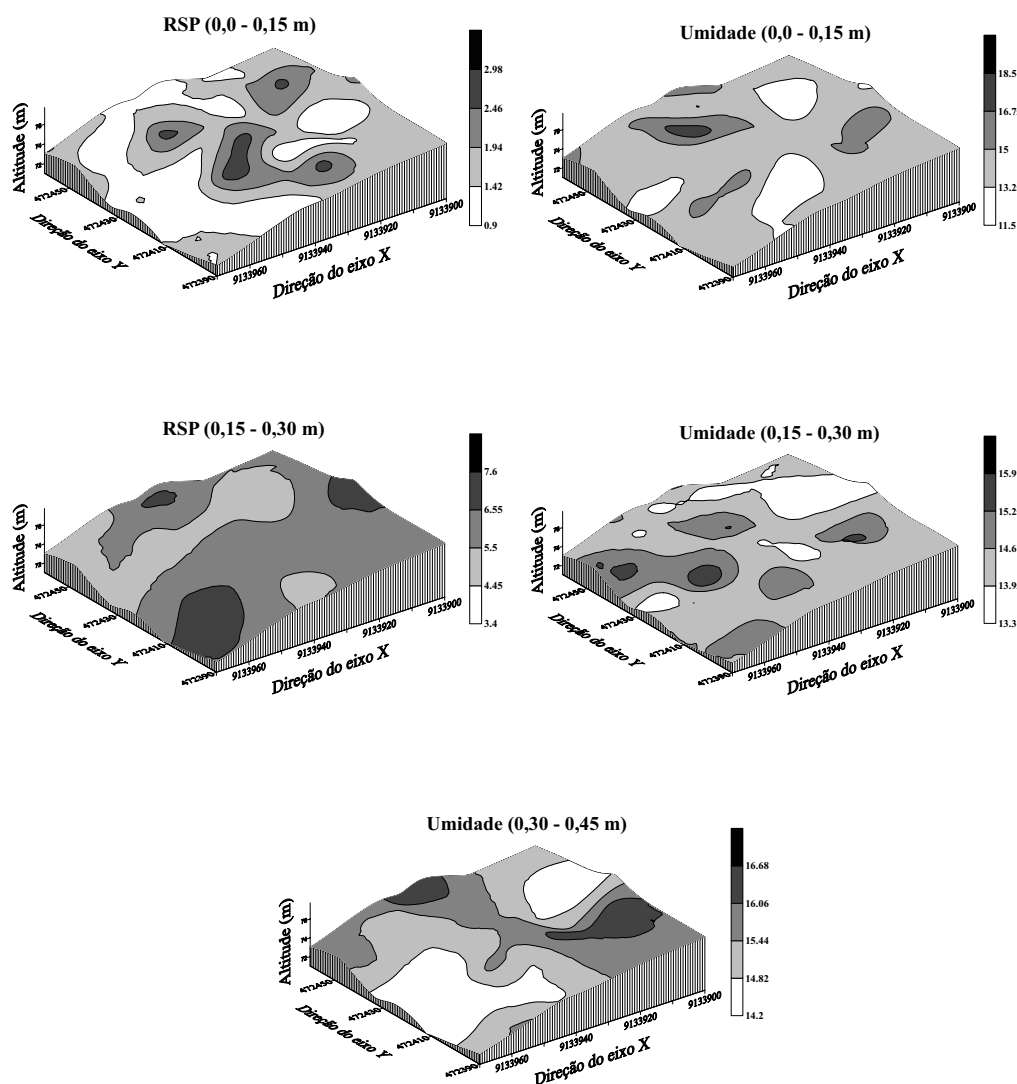


Figura 2 - Mapas de Krigagem da resistência do solo à penetração (RSP) e umidade do solo nas profundidades de 0,00-0,15, 0,15-0,30, 0,30-0,45 m em área sob cultivo de mandioca na região de Humaitá, AM.

Conclusões

A resistência do solo a penetração (RSP) e o teor de umidade apresentaram dependência espacial em todas as profundidades estudadas, exceto na profundidade de 0,30-0,45 m para a RSP que apresentou efeito pepita puro.

O teor de umidade no solo e a RSP apresentaram valores de alcances maiores que o espaçamento da malha, variando entre 15,10 a 67,76 m.

Agradecimento

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

Literatura científica citada

BERGAMIN, A. C.; VITORINO, A. C. T.; FRANCHINI, J. C.; SOUZA, C. M. A.; SOUZA, F. R.; Compactação em um Latossolo Vermelho Distroférico e suas relações com o crescimento Radicular do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 681-691, 2010.

BORGES, J. R.; PAULETTO, E. A.; SOUSA, R. O.; PINTO, L.F.S.; LEITZKE, V. W. Resistência à penetração de um gleissolo submetido a sistemas de cultivo e culturas. **Revista Brasileira de Agrociência**, v. 10, n. 1, p. 83-86, 2004.

BOTTEGA, E. L.; BOTTEGA, S. P.; SILVA, S. A.; QUEIRO, D. M.; SOUZA, C. M. A.; RAFULL, L. Z. L.; Variabilidade espacial da resistência do solo à penetração em um Latossolo Vermelho distroférico. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.6, n.2, p. 331-336, 2011.

BRAUN, E.H.G.; RAMOS, J.R.A. Estudo agroecológico dos campos Puciari-Humaitá (Estado do Amazonas e Território Federal de Rondônia). **Revista Brasileira de Geografia**. v. 21, p. 443-497, 1959.

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**, v. 58, n. 5, p. 1501-1511, 1994.

CAMPOS, M. C. C.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T.; MONTANARI, R.; SIQUEIRA, D. S.; Variabilidade espacial da textura de solos de diferentes materiais de origem em Pereira Barreto, SP. **Revista Ciência Agronômica**, v. 38, n. 2, p. 149-157, 2007.

CAMPOS, M. C. C.; **Pedogeomorfologia aplicada a ambientes Amazônicos do Médio Rio Madeira**. 2009. 260f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal Rural de Pernambuco. Recife.

CAVALCANTE, E. G. S.; ALVES, M. C.; PEREIRA, G. T.; SOUZA, Z. M.; Variabilidade espacial de MO, P, K e CTC do solo sob diferentes usos e manejos. **Revista Ciência Rural**, Santa Maria, v. 37, n. 2, p. 394 – 400. 2007

COLET, M. J. SVERZUT, C. B.; WEIRICH NETO, P. H.; SOUZA, Z. M. Alterações em atributos físicos de um solo sob pastagem após escarificação. **Ciência Agrotecnológica**, v. 33, n. 2, p. 361-368, 2009.

DALCHIAVON, F.C.; CARVALHO, M.P.; NOGUEIRA, D.C.; ROMANO, D.; ABRANTES, F.L.; ASSIS, J.T.; OLIVEIRA, M.S.. Produtividade da soja e resistência mecânica à penetração do solo sob sistema plantio direto no cerrado brasileiro. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 41, p. 8-19. 2011.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro, 1997. 212p.

GABRIEL FILHO, A.; PESSOA, A.C.S.; STROHHAecker, L.; HELMICH, J.J. Preparo convencional e cultivo mínimo do solo na cultura da mandioca em condições de adubação verde com ervilhaca e aveia. **Ciência Rural**, v. 30, p. 953-957, 2000.

GOLDEN SOFTWARE INC. (Golden, Estados Unidos). **SURFER for Windows: relese 7.0: contouring and 3D surface mapping for scientist's engineers, user's guide**. New York, 1999. 619p.

GREGO, R. G.; VIEIRA, S. R. Variabilidade espacial de propriedades físicas do solo em uma parcela experimental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 169-177, 2005.

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

KAISER, D.R.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; COLLARES, G. L.; KUNZ, M. Intervalo hídrico ótimo no perfil explorado pelas raízes de feijoeiro em um Latossolo sob diferentes níveis de compactação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** v.33, p.845-855, 2009.

MARASCA, I.; OLIVEIRA, C. A. A.; GUIMARÃES, E. C.; CUNHA, J. P. A. R.; ASSIS, R. L.; PERIN, A.; MENEZES, L. A. S.; Variabilidade espacial da resistência do solo à penetração e teor de água em sistema de plantio direto, na cultura da soja. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 27, p. 239-246, 2011.

McBRATNEY, A. B.; WEBSTER, R. Choosing functions for semi-variograms of soil properties and fitting them to sampling estimates. **Journal of Soil Science**, Oxford, v. 37, p. 617-639, 1986.

ROBERTSON, G.P. **GS+ geostatistics for the environmental sciences: GS+ user's guide**. Plainwell: Gamma Design Software, 1998.152p.

ROQUE, M. W.; MATSURA, E. E.; SOUZA, Z. M.; BIZARI, D. R.; SOUZA, A. L. Correlação linear e espacial entre a resistência do solo ao penetômetro e a produtividade do feijoeiro irrigado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 1827-1835, 2008.

- SCHONS, A.; STRECK, N. A.; STORCK, L.; BURIOL, G. A.; ZANON, A. J.; PINHEIRO, D. G.; KRAULICH, B. Arranjos de plantas de mandioca e milho em cultivo solteiro e consorciado: Crescimento, desenvolvimento e produtividade. **Bragantia**, v. 68, p.155-167, 2009.
- SOUZA, Z. M., MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T.; BARBIERI, D. M.; Variabilidade espacial da textura de um Latossolo Vermelho Eutroférico sob cultivo de cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola**. v. 24, p. 309-319, 2004.
- SOUZA, Z. M.; CAMPOS, M. C. C.; CAVALCANTE, Í. H. L.; MARQUES JÚNIOR, J.; CESARIN, L. G.; DE SOUZA, S. R.; Dependência espacial da resistência do solo à penetração e teor de água do solo sob cultivo de cana-de-açúcar. **Ciência Rural**, v. 36, n. 1, p. 128-134, 2006.
- SOUZA, Z. M.; SILVA, M. L. S.; GUIMARÃES, G. L.; CAMPOS, D. T. S.; CARVALHO, M. P.; PEREIRA, G. T. Variabilidade espacial de atributos físicos em um Latossolo Vermelho Distrófico sob semeadura direta em Selvíria, MS. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, p. 699-707, 2001.
- STOLF, R. Teoria e teste experimental de fórmulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em resistência do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 15, p. 229-35, 1991.
- TARDIEU, F. Growth and functioning of roots and to root systems subjected to soil compaction: towards a system with multiple signaling. **Soil and Tillage Research**, v. 30, p. 217-243, 1994.
- TORMENA, C. A.; ROLOFF, G. Dinâmica da resistência à penetração de um solo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.20, p.333-339, 1996.
- VIEIRA, S. R. Geoestatística em estudo da variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R. F. de; ALVAREZ V., V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R. (Ed.) **Tópicos ciência do solo**. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.1. 2000. Cap. 1, p.1-54.
- VIEIRA, S. R.; HATFIELD, J.L.; NIELSEN, D.R. &BIGGAR, J.W. Geostatistical theory and application to variability of some agronomical properties. **Hilgardia**. Oakland, v. 51, p. 1-75, 1983.
- 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, 1980. p. 319-344.