



VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO EM VALE ALUVIAL NA REGIÃO DE PERNAMBUCO

Daniella Pereira dos Santos¹, Abelardo Antônio de Assunção Montenegro², Renato Augusto Soares Rodrigues³, Diego Cezar dos Santos Araújo¹, Célia Silva dos Santos¹, José Francisco da Cruz Neto¹

RESUMO

As propriedades físicas do solo são variáveis de suma importância para a compreensão de uma série de processos hidrológicos e climáticos em diferentes escalas espaciais e temporais. Para avaliar esses dados em diferentes escalas faz-se uso da geoestatística para realizar uma descrição quantitativa da variabilidade espacial, que pode contribuir para o planejamento e o manejo adequado da água e do solo. Assim, objetivou-se avaliar a dependência espacial da condutividade hidráulica e da textura do solo saturado de um lote agrícola irrigado na bacia experimental do rio Ipanema, localizada no município de Pesqueira-PE. O experimento foi conduzido em uma área de 0,6 ha, no qual se utilizou um grid de 5 x 10 para a avaliação da condutividade hidráulica e um grid de 56 x 40 para a avaliação da textura. Para ambos os atributos, utilizou-se o espaçamento de 8 x 8 m, totalizando 50 e 48 pontos amostrais, respectivamente. Para a análise da condutividade hidráulica utilizou-se a metodologia de Beerkan; e a textura foi analisada pelo método de Boyoucus. As variáveis foram submetidas à análise estatística clássica, seguida de análise geoestatística. Os dados coletados obedecem à distribuição normal de frequência, confirmado pelo teste de Kolmogorov-Smirnov. A variável condutividade hidráulica foi analisada em conjunto com a variável textura, a qual apresentou uma correlação positiva com areia (11%) e uma correlação negativa com o silte (12%), podendo esta variável ser utilizada como parâmetro para tomada de decisão quanto ao manejo de irrigação.

Palavras-chave: dependência espacial, geoestatística, manejo de água e solo

VARIABILITY OF PHYSICAL ATTRIBUTES OF SOIL IN ALUVIAL VALLEY IN PERNAMBUCO REGION

¹ Doutoranda (o) em Engenharia Agrícola, Departamento de Engenharia Agrícola, UFRPE, Recife-PE, Brasil; Rua Dom Manoel de Medeiros, s/n, Dois Irmãos, e-mails: daniellapsantos@hotmail.com; diego@agro.eng.br; celia@agro.eng.br;zenetto.agronomia@gmail.com

² Doutor em Recursos Hídricos, Departamento de Engenharia Agrícola, UFRPE, Recife-PE, Brasil; Rua Dom Manoel de Medeiros, s/n, Dois Irmãos, e-mail: abelardomontenegro666@gmail.com

³ Mestre em Engenharia Agrícola, Departamento de Engenharia Agrícola, UFRPE, Recife-PE, Brasil, Rua Dom Manoel de Medeiros, s/n, Dois Irmãos, e-mail: renato.augustor@hotmail.com

ABSTRACT

The physical properties of the soil are extremely important variables for the understanding of a series of hydrological and climatic processes at different spatial and temporal scales. To evaluate these data at different scales, geostatistics is used to perform a quantitative description of spatial variability, which can contribute to the planning and proper management of water and soil. The objective of this study was to evaluate the spatial dependence of hydraulic conductivity and saturated soil texture of an irrigated agricultural plot in the Ipanema river basin, located in the municipality of Pesqueira-PE. The experiment was conducted in an area of 0.6 ha, in which a grid of 5 x 10 was used to evaluate the hydraulic conductivity and a grid of 56 x 40 for the evaluation of the texture. For both attributes, the spacing of 8 x 8 m was used, totaling 50 and 48 sample points, respectively. For the analysis of the hydraulic conductivity was used the methodology of Beerkan; and the texture was analyzed by the Boyoucus method. The variables were submitted to classical statistical analysis, followed by geostatistical analysis. The data collected correspond to the normal frequency distribution, confirmed by the Kolmogorov-Smirnov test. The hydraulic conductivity variable was analyzed in conjunction with the texture variable, which presented a positive correlation with sand (11%) and a negative correlation with the silt (12%), and this variable can be used as a parameter for decision making. irrigation management.

Keywords: spatial dependence, geostatistics, water management and soil

INTRODUÇÃO

O manejo do solo e da água é primordial para o desenvolvimento agrícola, visto que ambos influenciam os processos de produção vegetal, afetando assim a economia local. Devido ao manejo inadequado da água e do solo na região semiárida, há grande risco de perdas de produção e desperdícios dos recursos naturais, comprometendo as propriedades físicas, químicas e biológicas do material de produção que é o solo.

A maioria dos estudos sobre as propriedades físicas do solo apresenta uma ampla variedade de resultados, devido aos diferentes locais de estudo, tipos de solo e sistemas de manejo (GREGO e VIEIRA, 2005). No entanto, segundo Campos et al. (2013), as propriedades físicas constituem bons indicadores da qualidade do solo, e, por meio delas, podem ser realizados monitoramentos e ser encontradas áreas que sofreram algum tipo de interferência.

Siqueira et al. (2010) afirmaram que o solo com estrutura física pobre apresenta dinâmica e estoque de água limitados, o que reduz a área explorada pelas raízes das plantas. As alterações na estrutura do solo incidem no

arranjo das partículas, conseqüentemente afetando a distribuição de poros, a resistência mecânica do solo à penetração e a densidade do solo (OLIVEIRA et al., 2010).

Há na literatura uma gama de metodologias para a avaliação das características físicas do solo; assim, dentre as metodologias empregadas para a obtenção das características hidrodinâmicas, está o método, semifísico conhecido como Beerkan (BRAUD et al., 2003). Esse método propõe a estimativa da curva de condutividade hidráulica (K_s), considerando a textura e a estrutura do solo. Atualmente, já são encontrados, na literatura, alguns trabalhos que utilizaram a metodologia Beerkan para estudar a variabilidade espacial dos parâmetros de umidade θ (h) e condutividade hidráulica K (θ) (FURTUNATO et al., 2013).

Em meio aos vários fatores que influenciam a condutividade hidráulica do solo não saturado, destaca-se o conteúdo de água no solo (LIBARDI e MELO FILHO, 2006). A relação entre a condutividade e o conteúdo de água no solo apresenta elevada sensibilidade, de tal modo que uma variação de 1 a 2% no conteúdo de água pode influenciar a condutividade em valores superiores a 170%

VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO EM VALE ALUVIAL NA REGIÃO DE PERNAMBUCO

(FALLEIROS et al., 1998). Vê-se, dessa forma, a necessidade de ampliação desses estudos, uma vez que há grande variabilidade no conteúdo de água nos solos da região semiárida.

A variabilidade em solos e plantas tem sido motivo de inúmeros estudos, considerando a dificuldade de sua caracterização e quantificação. A geoestatística, pela análise de semivariogramas, tem sido a técnica mais utilizada para a caracterização das variabilidades espacial e temporal. Santos e Silva (2012), utilizando a geoestatística, investigou a variabilidade espacial em atributos físicos do solo no vale aluvial do semiárido pernambucano, assim como Campos et al. (2013), também utilizaram essa técnica para análise em seus estudos.

O conhecimento de características hidrodinâmicas do solo, tais como da condutividade hidráulica saturada e a textura do solo, é indispensável para o gerenciamento dos recursos hídricos de bacias hidrográficas de manejo e conservação do solo para fins de irrigação e drenagem. Todavia, a complexidade, os custos elevados e o tempo de execução dessas técnicas são fatores limitantes da obtenção da caracterização hidrodinâmica do solo, principalmente em escala de bacias (SANTOS e SILVA, 2012).

Com base nesse enfoque, objetivou-se avaliar a dependência espacial da condutividade hidráulica saturada e da textura do solo de um lote agrícola irrigado na bacia experimental do rio Ipanema, localizada no município de Pesqueira-PE.

MATERIAL E MÉTODOS

Descrição da área experimental

A bacia representativa do Alto Ipanema é uma das bacias propostas para estudo pela Universidade Federal Rural de Pernambuco

(UFRPE) junto à Rede de Hidrologia do Semiárido (Rehisa). É uma sub-bacia do sistema do rio Ipanema, em sua porção ocidental mais a montante. Abrange parte dos municípios de Arcoverde e de Pesqueira, do Estado de Pernambuco, com área de 194,82 km² (Figura 1).

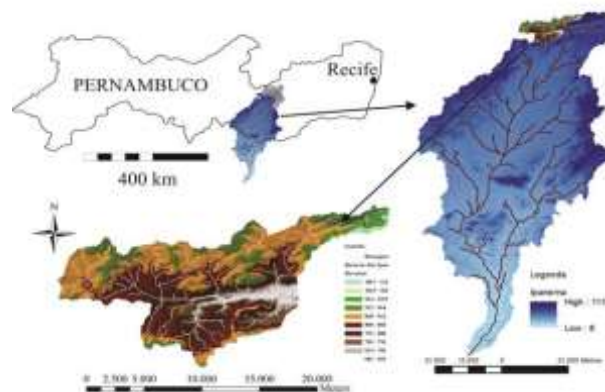


Figura 1. Localização da bacia do Alto Ipanema, no Estado de Pernambuco.

A investigação dos parâmetros hidráulicos e de textura do solo foi realizada em área na Fazenda Mimosa, localizada no Distrito do Mimoso, pertencente ao município de Pesqueira-PE, região do agreste de Pernambuco, com coordenadas de 08° 10' S e 35° 11' W e altitude de 650 m, distante 230 km da capital Recife-PE. A bacia representativa possui precipitação total anual média de 730 mm e evapotranspiração potencial anual média de 1683 mm; é caracterizada pela presença de Neossolo Litólico (HARGREAVES, 1974). De acordo com a classificação Köppen, o clima na região é do tipo BSsh (extremamente quente, semiárido).

O experimento foi conduzido em uma área com plantio de banana irrigada com sistema por aspersão, em malha regular, espaçada de 8 x 8 m, formando um grid 5 x 10, totalizando 50 pontos amostrais, esquematizado na Figura 2.

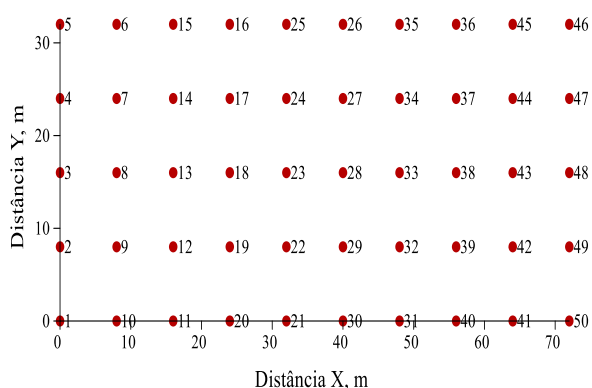


Figura 2. Esquematização dos pontos de amostragem para condutividade hidráulica na área experimental.

A metodologia conhecida como Beerkan é realizada através de ensaios simplificados de infiltração, utilizados para determinar os parâmetros hidrodinâmicos em escala local no campo. Esse método foi idealizado por Haverkamp et al. (1998) e apresenta uma grande vantagem em relação a outros métodos experimentais devido sua aplicação ser mais simples, rápida e requerer um número reduzido de pessoas e equipamentos, tornando-o mais econômico.

O método é utilizado para representar matematicamente o fenômeno da infiltração, ajustando as curvas de infiltração para determinar os parâmetros de condutividade hidráulica saturada do solo (K_{fs}), como visto na Equação (1).

$$K_{fs} = \frac{b1}{0,467 \left(\frac{2,92}{r\alpha} + 1 \right)} \quad (1)$$

$b1$ - é um parâmetro da equação linearizada da reta;

r - Raio do anel hidráulico (mm);

α - 0,012 mm foi considerado como sendo o valor de primeira aproximação para a maior parte dos solos de campo (REYNOLDS et al., 2000).

Para a determinação da textura do solo, as coletas foram realizadas em uma subárea da utilizada para a medição da condutividade hidráulica, sendo a malha regular espaçada de 8 x 8 m, formando um grid 56 x 40, totalizando 48 pontos amostrais.

As frações areia, argila e silte foram determinadas pelo método do densímetro de Boyoucos, utilizando uma solução de NaOH 0,1 mol L⁻¹ como dispersante químico e agitação mecânica em aparato de alta rotação, por 10 min, conforme metodologia proposta pela Embrapa (1997). A fração argila foi separada por sedimentação; a areia, determinada por peneiramento; e o silte, calculado por diferença das estimativas.

A estatística descritiva foi utilizada determinando-se a média, a mediana, o desvio padrão, os coeficientes de assimetria e curtose e o coeficiente de variação, para obterem-se informações sobre a dispersão e a distribuição das variáveis; a análise de normalidade dos dados foi provada pelo teste de Kolmogorov-Smirnov (K-S) ao nível de 5% de probabilidade. Foi realizada correção pelo método de Pearson entre as variáveis condutividade hidráulica e a textura do solo

A análise da dependência espacial foi feita por meio da geoestatística e do ajuste de semivariogramas. Com base na pressuposição de estacionariedade da hipótese intrínseca, a autocorrelação espacial entre locais vizinhos foi calculada através da semivariância $\gamma(h)$.

Para a construção e o ajuste dos semivariogramas, foram utilizados os programas Geoeas e o Microsoft Excel[®]. Após a obtenção dos semivariogramas experimentais por meio do Geoeas, foram testados os modelos gaussiano, esférico, exponencial e linear. Do ajuste de um modelo matemático aos valores calculados, foram estimados os coeficientes do modelo teórico para o semivariograma: o efeito pepita (C_0); o patamar (C_0+C_1); e o alcance (a).

Foi escolhido o modelo que apresentou um ajuste adequado aos valores experimentais e erros padronizados com média próxima a zero e desvio padrão próximo ao valor unitário segundo a técnica de validação cruzada de Jack-Knifing (VAUCLIN et al., 1983).

No que diz respeito à construção dos mapas de isolinhas, utilizando o algoritmo da interpolação da krigagem, foi adotado o programa computacional Surfer 9.0 (GOLDEN SOFTWARE, Inc., 2010).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1, podem-se observar as medidas de posição e dispersão para a variável condutividade hidráulica do solo. Como o grau de variabilidade é dependente da natureza das

propriedades que estão sendo examinadas, a condutividade hidráulica e a textura do solo foram agrupadas de acordo com critérios utilizados por Warrick e Nielsen (1998), ou seja, em função dos seus respectivos coeficientes de variação (CV).

Tabela 1. Estatística descritiva para condutividade hidráulica (Ks), areia, argila e silte.

Estatística Descritiva	Ks(mm ^s ⁻¹)	Areia	Argila	Silte
1º Quartil	0,069	63,44	25,76	21,7
Mediana	0,142	59,38	23,76	16,2
Média	0,183	58,63	24,17	17,2
3º Quartil	0,222	53,43	21,76	14,3
Coeficiente de Assimetria	1,808	-0,53	0,310	0,13
Coeficiente de Curtose	3,658	-0,37	-0,420	-0,54
Desvio Padrão	0,163	5,89	3,490	5,36
Variância	0,026	34,72	12,24	28,7
Coef. de Variação (%)	89,4	10	14,43	30,7
Nº de elementos da amostra	50	48	48	48
Parâmetros de Ajuste		Areia	Argila	Silte
Efeito pepita (C ₀)		0,29	0,65	5,17
Patamar (C ₀ + C ₁)		24,37	9,17	22,0
Alcance		5,2	4,81	6,17
Grau de Dependência [C ₀ / (C ₀ + C ₁)]x100		1,18	7,08	23,5
Modelo		Exp.	Exp.	Exp.
Parâmetros de Validação				
Média		-0.008	-0,017	0,02

Pode-se considerar, em função da observação da Tabela 1, que a condutividade hidráulica do solo para a área estudada apresentou alta variabilidade (89,4%). Scherpinski et al. (2010), trabalhando em uma área de 20 ha de soja, avaliaram a condutividade hidráulica com permeâmetro de Guelph em 116 pontos e encontraram CV% de 110,24%, evidenciando a alta heterogeneidade da condutividade hidráulica na área estudada. Jury et al. (1991) indicaram que o coeficiente de variação para a condutividade hidráulica em solo saturado pode variar de 48 a 320%.

Com base nos valores médios de volume de argila, silte e areia e baseado no modelo de identificação de classes texturais de amostras de solo (triângulo textural) apresentada pela Embrapa (2006), foi possível classificar o perfil do solo como textura franco argiloarenosa. As frações areia e argila

apresentaram baixa variabilidade enquanto o valor de CV para a variável silte apresentou média variabilidade na camada de solo estudada. Os valores de CV encontrados neste estudo corroboram os observados em Andrade et al. (2014), que observaram a variabilidade espacial das classes texturais no neossolo flúvico e obtiveram resultados análogos, ou seja, baixa variabilidade para as frações areia e argila, enquanto a fração silte apresenta média variabilidade, para a camada de maior mobilidade no solo de um vale aluvial de rio intermitente.

Com relação à normalidade dos dados, podem-se observar os valores calculados no teste de Kolmogorov-Smirnov; em que a condutividade hidráulica (Ks) foi maior que o erro máximo; logo, aceita-se a hipótese de normalidade, o que significa que os dados

coletados seguem distribuição normal a 5% de probabilidade.

Para os teores de areia, argila e silte, verifica-se assimetria para as três variáveis. Quanto aos valores de argila e silte, pode ser observada a ocorrência de uma dispersão maior nos dados para os valores acima do quartil inferior, ou seja, assimetria positiva. Para areia, observa-se o comportamento contrário, sendo a dispersão dos dados para os valores abaixo do quartil inferior, e os dados apresentam assimetria negativa. De acordo com Grego e Vieira (2006), a ocorrência da dependência espacial na camada superficial pode estar associada ao preparo do solo convencional, no qual os equipamentos de preparo do solo (arado e grade) movimentam demasiadamente a camada superior, afetando sua estrutura original e tornando pontos

próximos entre si mais semelhantes que os mais distantes.

No caso do vale aluvial em questão, tal dependência também está associada a processos geomorfológicos, já que ocorrem pela acumulação e distribuição desuniformes de sucessivos depósitos de materiais oriundos de outros lugares, proporcionados pela posição topográfica que ocupam, além do manejo a que são submetidos, entre outros fatores (MONTENEGRO e MONTENEGRO, 2006).

Após a realização da estatística descritiva dos dados, o semivariograma experimental foi construído, como também ajustados aos diferentes modelos. As variáveis, juntamente com o modelo ajustado e os parâmetros do modelo, são apresentadas para a variável condutividade hidráulica do solo na Tabela 2.

Tabela 2. Parâmetros do modelo de semivariograma e parâmetros obtidos pela validação para variável condutividade hidráulica do solo.

Parâmetros de Ajuste de Semivariograma			
Efeito Pepita	0,0029	0,0029	0,0027
Patamar	0,0298	0,0229	0,0228
Alcance	8,7500	5,4800	2,9200
GD(C0/C0+C1)*100	9,7300	12,670	11,800
Modelo	Esférico	Gaussiano	Exponencial
Validação Cruzada			
Média	- 0,024	-0,009	-0,009
Desvio Padrão	0,968	0,335	0,335

O resultado da análise geoestatística mostrou que os valores de condutividade hidráulica do solo apresentaram forte dependência espacial, conforme descrito por Cambardella et al. (1994), uma vez que a relação entre o efeito pepita e o patamar ($C0/C0 + C1 < 25\%$) apresentou valor de 9,73% (Tabela 2) menor que 25%. Para a condutividade hidráulica do solo, o modelo que melhor se ajustou foi do tipo esférico (Figura 3). Segundo Faraco et al. (2008), o melhor modelo ajustado será aquele que apresentar desvio padrão do erro reduzido mais próximo de 1 e a média mais próxima a 0.

Eguchi et al. (2003), utilizando o

software Variowin (PANATIER, 1996), afirmaram que o semivariograma experimental dos dados de condutividade hidráulica foi ajustado ao modelo esférico, corroborando este estudo. Montenegro e Montenegro (2006), utilizando o estimador robusto escalonado, investigando o parâmetro condutividade hidráulica na profundidade de 0,30 m, concluiu que o modelo de melhor ajuste à semivariância foi o gaussiano. Santos et al. (2012), trabalhando com este mesmo parâmetro, utilizando a técnica dos mínimos quadrados, ajustaram ao modelo gaussiano. Ambos os trabalhos citados foram realizados com espaçamento maior e em escala diferente deste estudo.

VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO EM VALE ALUVIAL NA REGIÃO DE PERNAMBUCO

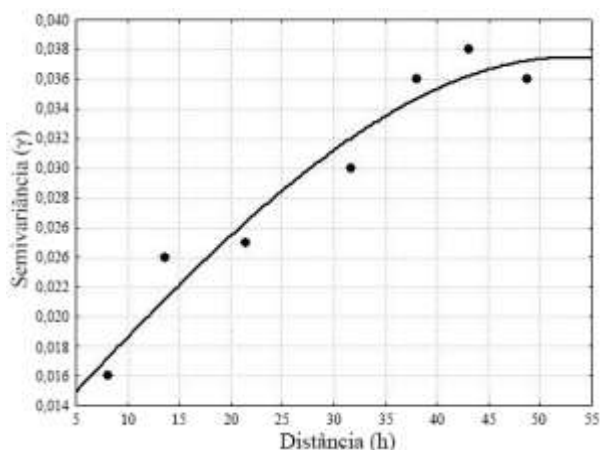


Figura 3. Semivariograma teórico ajustado para a variável condutividade hidráulica do solo, modelo esférico.

A maior correlação foi observada entre a variável condutividade hidráulica com a fração do solo Areia (Tabela 3), apresentando maior taxa de infiltração de água no solo. Quanto maior a fração de solo Silte menor a condutividade, sugerindo que o silte representa um indicador que possibilita inferir indiretamente sobre a condutividade hidráulica. A correlação entre condutividade hidráulica e a fração do solo Argila apresentou correlação negativa (0,06%), limitando a infiltração à medida que o solo vai saturando, destacando a grande influência da fração Argila sobre a condutividade hidráulica.

Tabela 3. Correlação linear pelo Método de Pearson entre as variáveis Condutividade hidráulica e textura do solo.

	Ks	Areia	Argila	Silte
Ks	1	0.1084771	- 0.006	-0.1167852
Areia		1	-0.46	-0.8003807
Argila			1	-0.1639811
Silte				1

Determinar um valor para a condutividade hidráulica saturada que caracterize certa área pode se tornar uma tarefa das mais complicadas, em virtude das variações e das correlações existentes com as demais variáveis, o que depende da interação entre estas e das condições apresentadas pelo solo. Estas interações devem ser mais discutidas e deve-se verificar o efeito destas na área considerada (MOURA et al., 1999; MESQUITA, 2001).

O modelo que melhor se ajustou aos dados granulométricos foi o exponencial (Figura 4), apresentando maior seguimento na distribuição das variáveis na camada mais superficial do lote analisado. Os alcances

encontrados neste trabalho foram de 5,2, 4,81 e 6,17 m para areia, argila e silte, respectivamente. O maior alcance foi observado para o silte (6,17 m), demonstrando que este atributo é o que apresenta menor variabilidade e maior continuidade espacial, permitindo melhor precisão nas estimativas em locais não amostrados.

Os alcances indicam a amplitude de correlação espacial entre as observações e representam a distância com que a utilização da técnica geoestatística conduz as estimativas com maior precisão. Uma das possíveis causas desta continuidade pode ser concernente ao material de origem do solo e à ação do processo de intemperismo

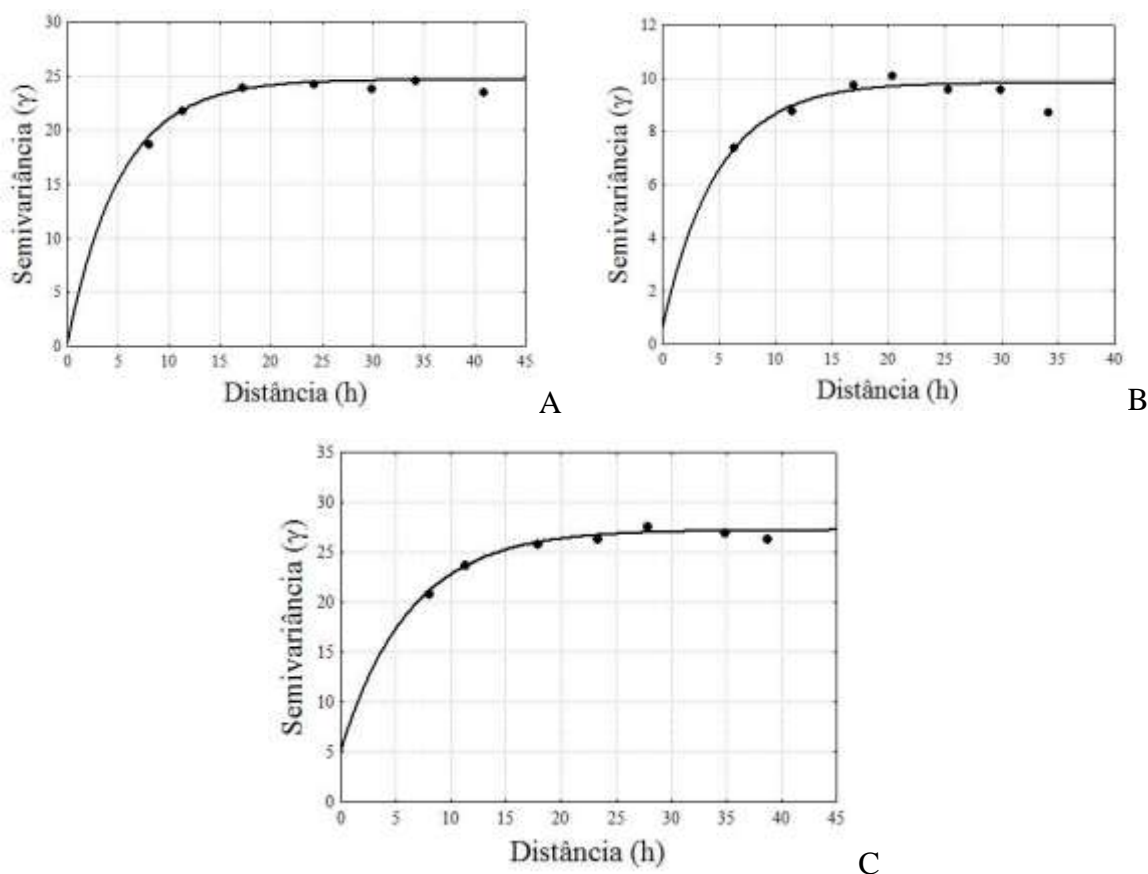


Figura 4. Semivariograma teórico ajustado para variável textura do solo para as frações granulométricas Areia (A), Argila (B) e Silte (C).

Souza et al. (2008), trabalhando com solos aluviais em um lote irrigado da Fazenda Nossa Senhora do Rosário cultivado com cenoura, obtiveram alcances de 56, 50 e 55 m para areia, argila e silte, respectivamente, e melhor ajuste ao modelo gaussiano, avaliando um transecto de 100 m com 51 pontos amostrais em solo aluvial. Já Eguchi et al. (2002) encontraram alcances de 15, 49,5 e 14,5 m para areia, argila e silte, respectivamente, e atribuíram os resultados principalmente às contribuições presentes na formação do solo.

De acordo com os critérios propostos por Cambardella et al. (1994), baixos valores de efeito pepita representam uma forte dependência espacial nas variáveis avaliadas, como observado nos resultados. Isso explica os elevados graus de dependência espacial para as

variáveis observadas neste estudo, exceto para a fração granulométrica silte, que apresentou moderada dependência espacial, devido ao seu elevado efeito pepita (5,17) e ao baixo valor de patamar (22,03).

De acordo com a análise de dados, os mapas não apresentaram tendência para condutividade hidráulica. Assim, realizou-se a krigagem ordinária da área de estudo, gerando o mapa de isolinhas (Figura 5) as áreas mais claras apresentam maiores valores da condutividade. Os mapas de isolinhas são de grande importância, pois, de posse dessa informação, pode-se examinar nas regiões sistematicamente com baixa condutividade hidráulica, a existência de uma possível “mancha de solo” presente.

VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO EM VALE ALUVIAL NA REGIÃO DE PERNAMBUCO

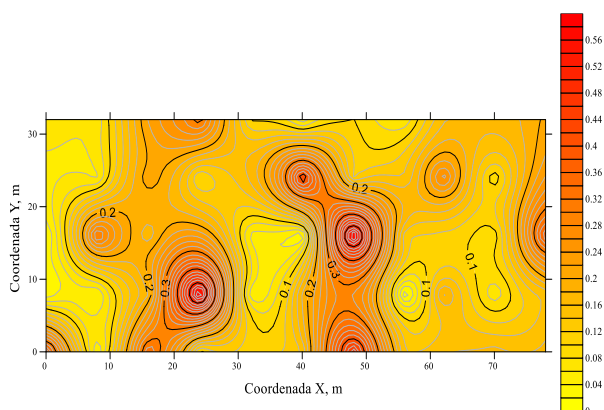


Figura 5. Mapa de isolinhas para condutividade hidráulica do solo (mm s^{-1}).

Do ponto de vista e análise de condutividade hidráulica, sua descrição e análise é de fundamental importância para o manejo da irrigação (LIBARDI, 2000), pois com ela é possível identificar o movimento de água no solo e sua importância num sistema de drenagem. Como observado no mapa, há pontos (vermelho) onde a água é absorvida mais rapidamente pelo solo, apresentando uma maior condutividade hidráulica; e, em outros locais (amarelo), observa-se menor movimento de água no solo. Informações como estas são importantes no manejo da

irrigação para a aplicação de maior ou menor lâmina e a decisão a respeito da maior ou menor intensidade de aplicação de água. Conforme classificação da condutividade hidráulica em meio saturado, sugerido por Ferreira (1999), pode-se constatar que a K_0 foi classificada entre rápida ($0,04 \text{ mms}^{-1}$) a muito rápida ($> 0,07 \text{ mms}^{-1}$). Essa informação é de suma importância para o manejo da irrigação da área, e para tomada de decisão do sistema de irrigação a ser utilizado na área.

A importância dessa variável pode ser justificada, assim, pela sua participação na determinação do fluxo de água nos solos e, do ponto de vista prático, para tomada de decisão sobre projetos de irrigação, drenagem, quantificação da erosão, lixiviação de substâncias químicas, com consequências na poluição e contaminação de camadas mais profundas do solo e até mesmo do lençol freático. Assim, a K_s tem influência marcante nestas e na maioria de outras práticas de manejo do solo (GHIBERTO et al., 2009).

Na sequência estão os mapas de isolinhas com a representação da condição da textura do solo com suas frações granulométricas (Figura 6).

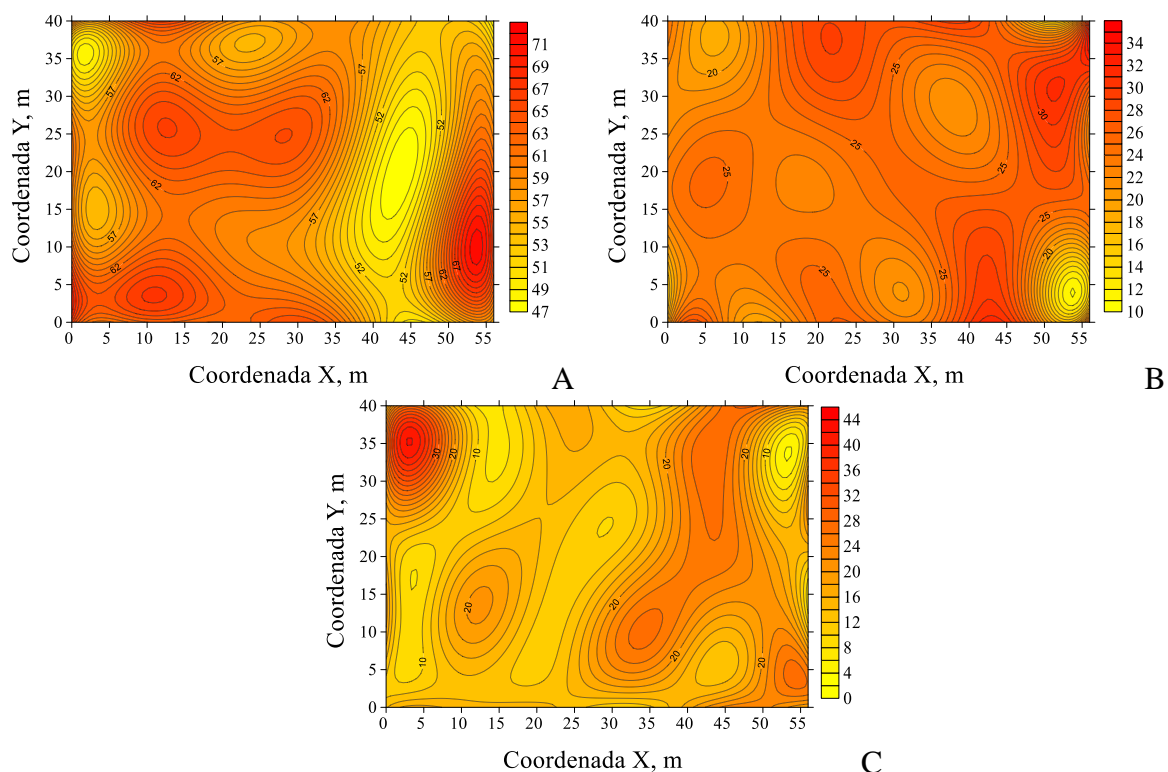


Figura 6. Mapa de Isolinhas para as variáveis de textura do solo na profundidade de 0-0,20m: teor de areia (g kg^{-1}) (A); teor de Argila (g kg^{-1}) (B) e teor de Silte (g.kg^{-1}) (C).

Verifica-se que a distribuição superficial da areia registra seus menores teores na posição inferior da imagem (Figura 6A), contrastando com a distribuição observada para os teores de argila e de silte, que se distribuem em maior quantidade nas áreas em que o teor de areia é menor. Há uma relação inversa entre a variável Ks e o teor de Silte (-11,0%), comprovada pela correlação de Pearson, observando na Figura 6 C, que onde ocorre os valores mais elevados de silte é correspondente aos menores valores de Ks (Figura 5).

CONCLUSÕES

A condutividade hidráulica do solo apresentou fraca dependência espacial, sendo o modelo esférico o semivariograma que apresentou melhor ajuste para a variável condutividade hidráulica. As frações granulométricas areia e argila apresentaram alta dependência espacial, enquanto a fração silte apresentou moderada dependência espacial.

A variável condutividade hidráulica foi analisada em conjunto com a variável textura, a qual apresentou uma correlação positiva com a areia (11%) e uma correlação negativa com o silte (12%), podendo esta variável ser utilizada como parâmetro para tomada de decisão quanto ao manejo de Irrigação na região do semiárido de Pernambuco.

AGRADECIMENTOS

À Fundação para o apoio à pesquisa do Estado de Pernambuco (FACEPE), pela concessão da bolsa de estudos. Ao programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola – UFRPE, juntamente com a Rede de Hidrologia do Semiárido (Rehisa) pelo apoio à pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, C. W. L.; SILVA, J. S.; MONTENEGRO, A. A. A.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; TAVARES, U. E. Variabilidade espacial da textura em solo aluvial sob o cultivo de cenoura (*Daucus carota L.*). **Revista Pernambucana de Tecnologia**, v. 2, p. 59-67, 2014.

BRAUD, I.; HAVERKAMP, R.; ARRÚES, J. L.; LOPÉZ, M. V. Spatial variability of soil surface properties and consequences for the annual and monthly water balance of a semiarid environment (EFEDA Experiment). **Journal of Hydrometeorology**, v.4, n. 1, p. 121-137, 2003.

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 Science Society of America Journal**, v.58, p.1501-1511, 1994.

CAMPOS, M. C. C.; SOARES, M. D. R.; SANTOS, L. A. C.; OLIVEIRA, I. A.; AQUINO, R. E.; BERGAMIN, A. C. Variabilidade espacial dos atributos físicos em um Argissolo vermelho sob floresta. **Comunicata Scientiae**. 168-178, 2013.

EGUCHI, E. S.; SILVA, E. L. da; OLIVEIRA, M. S. de. Variabilidade espacial da condutividade hidráulica do solo saturado e da taxa de infiltração básica determinadas "in situ". **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras. Edição Especial, p.1607-1613, dez., 2003.

EGUCHI, E. S.; SILVA, E. L. da; OLIVEIRA, M. S. de. Variabilidade espacial da textura e da densidade de partículas em um solo aluvial no Município de Lavras, MG. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.6, n.2, p.242-246, 2002.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de

VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO EM VALE ALUVIAL NA REGIÃO DE PERNAMBUCO

classificação de solos. 2. ed. Rio de Janeiro. 2006, 306 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Manual de métodos de análises de solo. 2. ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.

FALLEIROS, M.C.; PORTEZAN, O.; OLIVEIRA, J.C.M.; BACCHI, O.O.S. & REICHARDT, K. Spatial and temporal variability of soil hydraulic conductivity in relation to soil water redistribution, using an exponential model. **Soil and Tillage Research**, 45:279-285, 1998.

FERREIRA, P.A. Drenagem de terras agrícolas. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1999. 187p

FURTUNATO, O. M.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; ANTONINO, A. C. D.; OLIVEIRA, L. M. M.; SOUZA, E. S.; MOURA, A. E. S. S. Variabilidade espacial de atributos físico-hídricos de solos em uma bacia experimental no Estado de Pernambuco. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.18, p.135-147, 2013.

GHIRBERTO, P.J.; LIBARDI, P.L.; BRITO, A.S.; TRIVELIN, P.C.O. Leaching of nutrients from a sugar cane crop grow in gon an Ultisol in Brazil. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 96, p. 1443-1448, 2009.

GOLDEN SOFTWARE, INC. "Surfer version 9.9", Colorado, (2010). Disponível em: www.goldensoftware.com. Acesso em 25 de outubro de 2015.

GREGO, C. L. & VIEIRA, S.R. Variabilidade espacial de propriedades físicas do solo em uma parcela experimental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v.29, n.2, p.169-177, 2005.

HARGREAVES, G.H. Climatic zoning for agricultural production in northeast Brazil. Logan: **Utah State University**, 1974. 6p.

JURY, W. A.; GARDNER, W. R.; GARDNER, W. H. **Soil physics**. New York: John Wiley and Sons, 1991.

LEÃO, M. G. A.; MARQUES JÚNIOR, J.; SOUZA, Z. M.; PEREIRA, G. T. Variabilidade espacial da textura de um latossolo sob cultivo de citros. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 1, p. 121-131, jan. /fev., 2010.

LIBARDI, P. L. Dinâmica da Água no Solo. 2.ed. Piracicaba: ESALQ, 2000. 509 p
LIBARDI, P.L. & MELO FILHO, J.F. Análise exploratória e variabilidade dos parâmetros da equação da condutividade hidráulica, em um experimento de perfil instantâneo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 30:197-206, 2006

MESQUITA, M.G.B.F. Caracterização estatística da condutividade hidráulica saturada do solo. 2001. 110f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Curso de Pós-graduação em Solos e Nutrição de Plantas, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo.

MONTENEGRO, A. A. A.; MONTENEGRO, S. M. G. L. Variabilidade espacial de classes de textura, salinidade e condutividade hidráulica de solos em planície aluvial. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.10, p.30-37, 2006.

MOURA, M.V.T. de; LEOPOLDO, P.R.; MARQUES JÚNIOR, S. Uma alternativa para caracterizar o valor da condutividade hidráulica em solo saturado. **Irriga**, v.4, n.2, p.83-91, 1999.

OLIVEIRA, V. S.; ROLIM, M. M.; VASCONCELOS, R. F. B.; PEDROSA, E. M. R. Distribuição de agregados e carbono orgânico em um Argissolo amarelo distrocóeso em diferentes manejos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, p.907-913, 2010.

- REYNOLDS, W.D., BOWMAN, B. T., BRUNKE, R. R., DRURY, C. F. TAN, C. S. Comparasion of tension infiltrometer, pressure infiltrometer, and soil core estimates of saturated hydrau-lic conductivity. **Soil Science Society of America Journal**, v.64, p.478-484, 2000.
- SANTOS, C. A. G.; SILVA J. F. C. B. C. Caracterização hidrodinâmica dos solos da Bacia Experimental do Riacho Guaraíra utilizando o método Beerkan. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. Volume 17 n.4 - Out/Dez, 149-160. 2012.
- SANTOS, K. S.; MONTENEGRO, A. A. A.; ALMEIDA, B. G.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; ANDRADE, T. S. & FONTES JÚNIOR, R.V. P. Variabilidade espacial de atributos físicos em solos de vale aluvial no semiárido de Pernambuco. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n.8, p.828–835, 2012.
- SIQUEIRA, D. S.; MARQUES JÚNIOR, PEREIRA, G. T. The use of landforms to predict the variability of soil and orange attributes. **Global Journal of Soil Science**, v.155, p.55-66, 2010.
- SCHERPINSKI, C., URIBE-OPAZO, M. A., BOAS, M. A.V., SAMPAIO, S. C., JOHANN. J. A. Variabilidade espacial da condutividade hidráulica e da infiltração da água no solo. **Acta Scientiarum. Agronomy Maringá**, v. 32, n. 1, p. 7-13, 2010.
- SOUZA, E. R.; MONTENEGRO, A. A. A.; FREIRE, M. B. G. S. Evolução e variabilidade espacial da salinidade em neossolo flúvico cultivado com cenoura sob irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.12, n.6, p.584-592, 2008.
- VAUCLIN, M.; VIEIRA, S. R.; VACHAUD, G.; NIELSEN, D. R. The use of cokriging with limited field soil observations. **Soil Science Society of America Journal**. Madison, v. 47, n.1, p.175-184, 1983.
- WARRICK, A.W.; NIELSEN, D.R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D. **Environmental soil physics**. New York: Academic, p.655-675. 1998.