

## ANÁLISE DE DEPENDÊNCIA ESPACIAL DOS PARÂMETROS DA CURVA DE RETENÇÃO DE ÁGUA NO SOLO

J. C. Ribeiro Filho<sup>1</sup>, L. C. A. Lemos Filho<sup>2</sup>, L. H. Bassoi<sup>3</sup>

**RESUMO:** O conhecimento das curvas de retenção da água no solo é fundamental para um manejo preciso da irrigação. Este trabalho teve como objetivo analisar a variabilidade espacial dos parâmetros das curvas de retenção em duas profundidades do solo (0-0,2 e 0,2-0,4 m), descrita pelo modelo de van Genuchten (1980) e a umidade do solo na capacidade de campo e ponto de murcha. O trabalho foi realizado numa área com Neossolo Quartzarênico, cultivado com videira e irrigado por microaspersão, em Petrolina-PE. As curvas de retenção de água no solo foram determinadas para 168 pontos amostrados na área. As análises estatísticas e geoestatísticas foram realizadas pelos softwares Statistical Development Environment, GS+ e GeoR. Os mapas de variabilidade espacial foram produzidos utilizando-se a técnica de Krigagem Ordinária para a interpolação de dados, baseados no melhor modelo de semivariograma testado. Para as duas profundidades em estudo, o modelo exponencial foi o que apresentou melhor ajuste para a maioria dos parâmetros da curva de retenção de água no solo e, para todos eles ( $n$ ,  $\theta_R$ ,  $\theta_S$ ,  $\alpha$ ,  $m$ ,  $\theta_{CC}$  e  $\theta_{PMP}$ ), sendo detectado uma forte dependência. A variabilidade e a dependência espacial dos parâmetros da curva de retenção de água no solo, detectada por meio da geoestatística, mostram a importância desse tipo de estudo para subsidiar um manejo mais preciso da água no solo, contribuindo significativamente para o desenvolvimento de uma irrigação de precisão.

**PALAVRAS-CHAVES:** Geoestatística, Capacidade de Campo, Ponto de Murcha Permanente

## ANALYSIS OF THE SPACE DEPENDENCE OF WATER RETENTION CURVE PARAMETERS IN THE SOIL

**ABSTRACT:** The knowledge of the water retention curves in the soil is crucial for precise irrigation. This work was aimed at analyzing the spatial variability of the parameters of the retention curves in two depths of the soil (0-0.2 and 0.2-0.4 m), described by the model of Van

<sup>1</sup> Mestrando em Manejo de Solo e Água, UFRSA, Mossoró – Rio Grande do Norte. E-mail: jacquesfilho1@hotmail.com

<sup>2</sup> Doutor, Professor da UFRSA, Mossoró – RN. E-mail: lcalfilho@ufrsa.edu.br

<sup>3</sup> Doutor, Pesquisador da EMBRAPA INSTRUMENTAÇÃO, São Carlos - SP

Genuchten (1980) and the humidity of the soil in the field capacity and the withering point. The work was conducted in an area with Neossolo Quartzarênico, cultivated with vine and irrigated by Microsprinkler, in Petrolina-pe. The water retention curves in the soil were determined for 168 points sampled in the area. Statistical and geostatistics analyses were carried out by the Statistical development environment, GS + and Geor. Spatial variability maps were produced using the ordinary kriging technique for the interpolation of data, based on the best model of Semivariograma tested. For the two depths in study, the exponential model was the best fit for most parameters of the water retention curve in the soil and, for all of them ( $n$ ,  $\theta_R$ ,  $\theta_S$ ,  $\alpha$ ,  $m$ ,  $\theta_{CC}$  e  $\theta_{PMP}$ ), being detected a strong dependency. The variability and spatial dependence of the parameters of the water retention curve in the soil, detected through geostatistical, show the importance of this type of study to subsidize more precise water management in the soil, contributing significantly to the development of precision irrigation.

**KEYWORDS:** Geostatistics, Field Capacity, Permanent Wilt Point.

## INTRODUÇÃO

A região do Vale do São Francisco é conhecida pelo forte desenvolvimento de atividades agrícolas diversas, tendo como destaque a agricultura irrigada, com o cultivo de hortaliças, principalmente a cebola e frutas, como uva, banana e manga. (Salviano et al., 2016). O sistema de produção é caracterizado pelo uso da irrigação ao longo de todo o ciclo de produção, porém o manejo da água no solo tem sido feito, basicamente, em função de dados climáticos, não se levando em consideração o solo e sua variabilidade espaço-temporal (Basso et al., 2010).

O conhecimento das características de retenção de água no solo é uma das propriedades de maior importância para fins de manejo de irrigação, motivo pelo qual, sua variabilidade espacial contribui para a variação na eficiência de aplicação de água na irrigação (Guimarães et al., 2010). Tendo a análise da variabilidade do solo por meio de técnicas da geoestatísticas considerada um princípio básico para o manejo preciso das áreas agrícolas (Grego & Vieira, 2005). O mapeamento da variabilidade espacial dos atributos físico-hídricos do solo pode ser útil para a aplicação de água por zonas de manejo, de forma diferenciada, favorecendo a otimização da produtividade, aumentando a eficiência do insumo, maximizando os benefícios e reduzindo custos (Lemos Filho et al., 2016).

Diante disso, o presente trabalho tem por objetivo analisar a variabilidade espacial dos parâmetros das curvas de retenção em duas profundidades do solo (0-0,2 e 0,2-0,4 m), descrita

pelo modelo de van Genuchten (1980) e a umidade do solo na capacidade de campo e ponto de murcha em uma área de videira no vale do São Francisco.

## MATERIAL E METODOS

O experimento foi conduzido em uma área, sob as coordenadas geográficas 09°21'07'' de latitude Sul e 40°27'05'' de longitude Oeste e altitude média de 380 metros, cultivada com videira (*Vitis vinifera* L.) cv. Festival (apirência) sobre porta-enxerto SO4, no espaçamento 4 x 3.5 m e irrigada por microaspersão, em Petrolina, PE, região semiárida do Nordeste brasileiro. O solo da área experimental foi classificado como Neossolo Quartzarênico, conforme EMBRAPA (2006). As curvas de retenção de água no solo foram determinadas em duas profundidades do solo (0-0,2 e 0,2-0,4 m) para 168 pontos amostrados na área (Figura 1).

As determinações das curvas de retenção foram realizadas no laboratório de solos da Embrapa de Instrumentação Agropecuária, em São Carlos-SP. Com base nos dados de granulometria determinados com analisador granulométrico por raios gama e utilizando-se o software Qualiso, desenvolvido por Naime et al. (2004) foram estimados os valores dos conteúdos de água no solo correspondentes a várias tensões, inclusive a capacidade de campo (tensão de 10 Kpa) e ao ponto de murcha permanente (tensão de 1500 Kpa) sugeridos por Reichardt & Timm (2004) em cada amostra, pela metodologia de Arya & Paris (1981), os quais foram ajustados ao modelo de Van Genuchten.

Os teores de água residual ( $\theta_R$ ) e de saturação ( $\theta_S$ ) ( $m^3 m^{-3}$ ) e os parâmetros do modelo ( $n$ ,  $\alpha$ ,  $m$ ) e a umidade na capacidade de campo ( $\theta_{CC}$ ) e ponto de murcha permanente ( $\theta_{PMP}$ ) foram submetidos as análises estatísticas e geoestatísticas foram realizadas pelos softwares Statistica Development Environment, GS+ e GeoR. Os mapas de variabilidade espacial foram produzidos utilizando-se técnicas de krigagem ordinária para a interpolação de dados, baseados no melhor modelo de semivariograma testado entre modelagens exponencial, esférica e gaussiana. Para as duas profundidades.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na Tabela 1, encontra-se a estatística descritiva para as variáveis de  $\theta_R$ ,  $\theta_S$  ( $m^3 m^{-3}$ ) (água residual e de saturação, respectivamente),  $n$ ,  $\alpha$ ,  $m$  (parâmetros do modelo) e  $\theta_{CC}$  e  $\theta_{PMP}$  (Capacidade de campo e ponto de murcha permante, respectivamente), para os 168 pontos amostrais na área de estudo. Conforme a classificação proposta por Warrick & Nielsen (1980),

onde a variável é classificada como de baixa variação ( $CV < 12\%$ ), média ( $12 < CV < 60\%$ ), alta ( $CV > 60\%$ ), as variáveis  $\theta_R$ ,  $\alpha$  e  $\theta_{PMP}$  apresentaram média variação para as duas profundidades em estudo, enquanto para as mesmas camadas, as variáveis  $\theta_s$ ,  $n$ ,  $m$  e  $\theta_{CC}$  apresentaram baixo CV.

Embora a análise estatística descritiva dê uma ideia da normalidade, essa só poderá ser comprovada através dos testes de aderência a normalidade de Kolmogorov-Smirnov e Shapiro-Wilk. Na Tabela 2 observa-se que os resultados dos testes de aderência à normalidade, sendo o teste de Kolmogorov-Smirnov o mais recomendado para esse estudo, pois a amostragem possui mais de 50 observações (Maroco, 2007).

Os resultados referentes ao teste Kolmogorov-Smirnov e Shapiro-Wilk indicaram que as variáveis  $n$ ,  $\alpha$ ,  $m$  e  $\theta_{CC}$  não apresentam normalidade para a profundidade de 0 a 0,2 m. Já para a profundidade de 0,2 a 0,4 m, as variáveis  $\theta_R$ ,  $n$ ,  $\alpha$ ,  $m$  e  $\theta_{PMP}$ , não apresentaram normalidade. A normalidade dos dados não é exigência da geoestatística. Mais importante que a normalidade dos dados é a ocorrência ou não do chamado efeito proporcional, em que a média e a variabilidade dos dados são constantes na área de estudo, tendo em vista que os semivariogramas apresentam patamares bem definidos (Cavalcante *et al.*, 2007).

Na Tabela 3, notou-se os valores do efeito pepita ( $C_0$ ), patamar ( $C_0 + C$ ), alcance ( $A$ ), coeficiente de determinação  $r^2$  e grau de dependência espacial (GD) para os modelos testados (exponencial, esférico e gaussiano) pela máxima verossimilhança, onde é possível observar, os resultados das análises geoestatísticas as variáveis em estudo. Empregando-se a escala de dependência espacial determinada por Cambardella et al. (1994), verificou-se que, para todos os semivariogramas obtidos, apresentaram forte dependência espacial, visto que, seus valores de efeito pepita ( $C_0$ ) foram inferiores a 25 % do valor do patamar ( $GD < 25\%$ ). Entre os modelos matemáticos testados, para a grande maioria das variáveis estudadas, o modelo Exponencial foi o que melhor representou o semivariograma.

Analisando os mapas de variabilidade espacial da Capacidade de Campo ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ) na profundidade de 0,0 a 0,2 m (Figura 2a), e de 0,2 a 0,4 m (Figura 2b) e Ponto de Murcha Permanente ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ) na profundidade de 0,0 a 0,2 m (Figura 2c) e de 0,2 a 0,4 m (Figura 2d), nota-se que a primeira camada em análise, apresentou maior variabilidade tanto na  $\theta_{CC}$  quanto para a  $\theta_{PMP}$ . Lemos Filho et al., (2016) evidenciaram em seus estudos que a capacidade de armazenamento de água na camada mais superficial do solo torna-se mais susceptível a evaporação da água no solo além de ser a camada na qual a água estará facilmente disponível para as culturas.

Para a profundidade de 0,2 a 0,4 m, nota-se que a  $\theta_{cc}$ , apresentou maior variabilidade, uma vez que o sistema radicular ainda está retirando água do solo. O que não acontece quando o solo está em condição de ponto de murcha (Salviano et al., 2016).

## CONCLUSÕES

Os parâmetros da curva de retenção de água no solo, capacidade de campo e ponto de murcha permanente, por meio da técnica de geoestatísticas, apresentaram forte grau de dependência espacial para as profundidades de 0 a 0,2 e 0,2 a 0,4 m, facilitando a realização do manejo diferenciado da área.

## REFERENCIAS

ARYA, L. M.; PARIS, J. F. A physicoempirical model to predict soil moisture characteristics from particle-size distribution and bulk density data. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.45, p.1023-1030, 1981.

BASSOI, L. H.; BRAGA, M. B.; CALGARO, M.; SIMÕES, W. L.; PINTO, J. M. Irrigação e Fertirrigação. In: **Cultivo da Videira**. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2010. (Embrapa Semiárido. Sistema de Produção, 1 - 2ª edição) Disponível em: [https://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Uva/CultivodaVideira\\_2ed/irrigacao.html](https://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Uva/CultivodaVideira_2ed/irrigacao.html). Acesso em 30 junho 2016.

CAMBARDELLA, C. A.; MOORMAN, T. B.; PARKIN, T. B.; KARLEN, D. L.; NOVAK, J. M.; TURCO, R.F.; KONOPKA, A.E. Field scale variability of soil properties in Central Iowa soils. **Soil Science Society of America Journal**, 58:1501-1511, 1994.

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

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 2ª ed. 306p.

GUIMARÃES, R. M. L.; GONÇALVES, A. C. A.; TORMENA, C. A.; FOLEGATTI, M. V.; BLAINSKI, E. Variabilidade espacial de propriedades físico-hídricas de um Nitossolo sob a cultura do feijoeiro irrigado. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.30, n.4, p.657-669, 2010.

GREGO, C. R.; 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.

LEMOS FILHO, L.C. A.; BASSOI, L. H.; FARIA, M. A.. Variabilidade espacial e estabilidade temporal do armazenamento de água em solo arenoso cultivado com videiras irrigadas. **Irriga**. V. 1, p. 319-340, 2016.

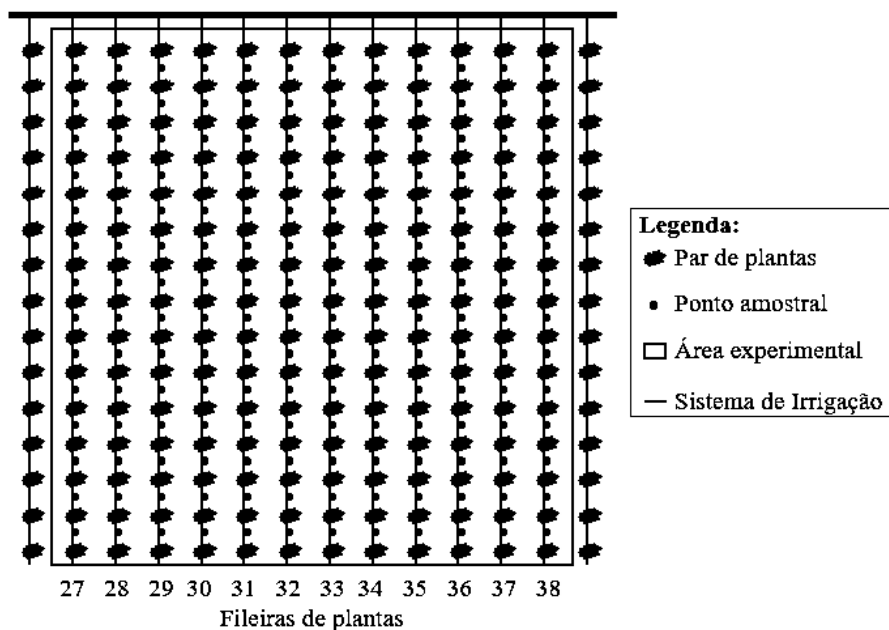
MAROCO, J. **Análise Estatística com utilização do SPSS**. 3.ed. Lisboa: Edições Silabo Ltda, 2007. 824p.

NAIME, J. M.; SHINYA, V. T.; VAZ, C. M. P. Programa para estimativa indireta da curva de retenção da água no solo. In: REUNIÃO DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 15., 2004, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: UFMS, 2004. 1 CD ROM.

REICHARDT, K.; TIMM, L. C. **Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações**. São Paulo: Manole, 2004. 478 p.

SALVIANO, A. M.; CUNHA, T. J. F.; OLSZEVSKI, N.; OLIVEIRA NETO, M. B.; GIONGO, V.; QUIROZ, A. F.; MENEZES, F. J. S.. Potencialidades e limitações para o uso agrícola de solos arenosos na região semiárida da Bahia. **Magistra**, V. 28, n. 2, p. 137-148, 2016.

WARRICK, A. W.; NIELSEN, D. R. Spatial variability of soil physical proprieties in the field. In: HILLEL, D. Applications of soil physics. New York: **Academis Press**, 1980. p.319-344.



**Figura 1** - Esquema da distribuição dos pontos amostrais na área estudada.

**Tabela 1.** Estatística descritiva para os parâmetros  $\theta_R$ ,  $\theta_S$ ,  $n$ ,  $\alpha$ ,  $m$ ,  $\theta_{CC}$  e  $\theta_{PMP}$  para as profundidades de 0-0,2 e 0,2-0,4 m.

Atributos	Prof. (m)	$\theta_R$	$\theta_S$	$n$	$\alpha$	$m$	$\theta_{CC}$	$\theta_{PMP}$
$\mu$	0,0 - 0,2	0,021	0,445	1,639	0,934	0,384	0,127	0,024
	0,2 - 0,4	0,022	0,448	1,639	0,930	0,389	0,127	0,028
$\eta$	0,0 - 0,2	0,213	0,445	1,660	0,850	0,398	0,128	0,243
	0,2 - 0,4	0,021	0,443	1,660	0,850	0,398	0,126	0,026
$\sigma$	0,0 - 0,2	0,009	0,038	0,078	0,208	0,030	0,010	0,008
	0,2 - 0,4	0,011	0,042	0,083	0,210	0,031	0,100	0,100
CV (%)	0,0 - 0,2	42,860	8,540	4,790	22,270	7,810	7,870	33,330
	0,2 - 0,4	50,000	9,380	5,060	22,580	7,970	7,870	35,710
Vmax	0,0 - 0,2	0,050	0,570	1,800	1,250	0,440	0,150	0,050
	0,2 - 0,4	0,080	0,550	1,810	1,250	0,450	0,160	0,080
Vmin	0,0 - 0,2	0,000	0,360	1,500	0,600	0,330	0,100	0,000
	0,2 - 0,4	0,000	0,360	1,480	0,650	0,320	0,100	0,010
Ass	0,0 - 0,2	0,240	0,270	-0,310	0,290	-0,370	-0,420	0,100
	0,2 - 0,4	1,520	-0,220	0,410	0,320	-0,380	0,120	1,710
Cur	0,0 - 0,2	0,360	0,440	-1,250	-1,560	-1,250	-0,110	0,260
	0,2 - 0,4	1,520	0,410	-0,220	0,320	-0,380	0,120	1,710

$\mu$  - média,  $\eta$  - mediana,  $\sigma$  - desvio padrão, CV - coeficientes de variação, Vmax e Vmin - valor máximo e mínimo, Ass - assimetria e Cur - curtose.

**Tabela 2.** Testes de normalidade, Kolmogorov-Smirnov e Shapiro-Wilk para  $\theta_R$ ,  $\theta_s$ ,  $n$ ,  $\alpha$ ,  $m$ ,  $\theta_{CC}$  e  $\theta_{PMP}$  nas profundidades de 0-0,2 e 0,2-0,4 m.

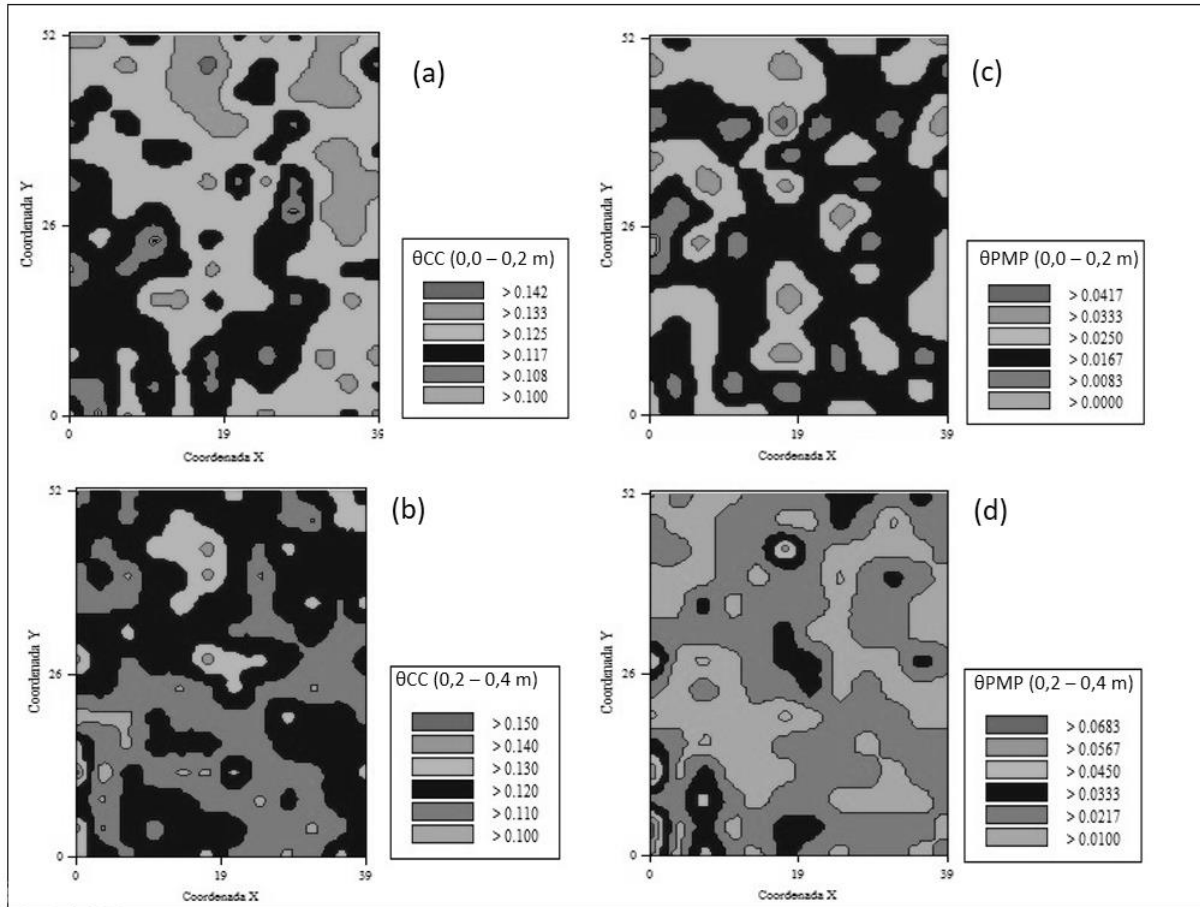
Atributos	Prof. (m)	-----Kolmogorv – Smirnov-----			-----Shapiro Wilk-----	
		p-value	p-lilliefors	K-S	p-value	W
$\theta_R$	0,0 - 0,2	0,069	0,067	0,037*	0,483	0,992*
	0,2 - 0,4	0,069	0,068	0,125 <sup>ns</sup>	0,000	0,868 <sup>ns</sup>
$\theta_s$	0,0 - 0,2	0,069	0,068	0,044*	0,326	0,991*
	0,2 - 0,4	0,069	0,068	0,056*	0,023	0,981*
$n$	0,0 - 0,2	0,069	0,068	0,189 <sup>ns</sup>	0,000	0,895 <sup>ns</sup>
	0,2 - 0,4	0,069	0,068	0,177 <sup>ns</sup>	0,000	0,925 <sup>ns</sup>
$\alpha$	0,0 - 0,2	0,069	0,068	0,211 <sup>ns</sup>	0,000	0,855 <sup>ns</sup>
	0,2 - 0,4	0,069	0,068	0,185 <sup>ns</sup>	0,000	0,868 <sup>ns</sup>
$m$	0,0 - 0,2	0,069	0,068	0,204 <sup>ns</sup>	0,000	0,886 <sup>ns</sup>
	0,2 - 0,4	0,069	0,068	0,197 <sup>ns</sup>	0,000	0,914 <sup>ns</sup>
$\theta_{CC}$	0,0 - 0,2	0,069	0,068	0,076 <sup>ns</sup>	0,003	0,974 <sup>ns</sup>
	0,2 - 0,4	0,049	0,049	0,069*	0,081	0,986*
	0,0 - 0,2	0,069	0,068	0,051*	0,265	0,990*
$\theta_{PMP}$	0,2 - 0,4	0,069	0,068	0,146 <sup>ns</sup>	0,000	0,852 <sup>ns</sup>

\*estatisticamente significativo a 5%; <sup>ns</sup> não significativo estatisticamente**Tabela 3.** Semivariogramas testados (exponencial, esférico e gaussiano) para  $\theta_R$ ,  $\theta_s$ ,  $n$ ,  $\alpha$ ,  $m$ ,  $\theta_{CC}$  e  $\theta_{PMP}$  nas profundidades de 0-0,2 e 0,2-0,4 m.

Atributos	Prof. (m)	Modelo	$C_0$	$C_0+C$	A (m)	$r^2$	GD (%)
$\theta_R$	0,0 - 0,2	Gaussiano	0,0000	0,0001	10,1100	0,4910	11,6279
	0,2 - 0,4	Exponencial	0,0000	0,0001	30,1500	0,9110	0,0000
$\theta_s$	0,0 - 0,2	Esférico	0,0000	0,0015	4,0000	0,1010	1,7591
	0,2 - 0,4	Exponencial	0,0000	0,0017	17,4700	0,9720	2,7469
$n$	0,0 - 0,2	Exponencial	0,0004	0,0061	18,1800	0,9960	5,9724
	0,2 - 0,4	Exponencial	0,0006	0,0068	30,6000	0,9990	8,2100
$\alpha$	0,0 - 0,2	Exponencial	0,0026	0,0425	15,1200	0,8250	5,7650
	0,2 - 0,4	Exponencial	0,0042	0,0454	20,4300	0,9010	8,4677
$m$	0,0 - 0,2	Exponencial	0,0001	0,0009	17,5200	0,6740	6,5831
	0,2 - 0,4	Exponencial	0,0000	0,0010	24,6600	0,8690	2,0937
$\theta_{CC}$	0,0 - 0,2	Exponencial	0,0000	0,0001	27,0900	0,8240	2,0833
	0,2 - 0,4	Exponencial	0,0000	0,0001	17,2800	0,9340	0,0000
$\theta_{PMP}$	0,0 - 0,2	Gaussiano	0,0000	0,0007	9,6000	0,9420	1,2158
	0,2 - 0,4	Esférico	0,0000	0,0001	4,6800	0,9960	1,1236

 $C_0$  – efeito pepita,  $C_0 + C$  – Patamar, A – alcance,  $r^2$  - coeficiente de determinação, GD – grau de dependencia espacial





**Figura 2.** Mapas de variabilidade espacial da Capacidade de Campo ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ) na profundidade de 0,0 a 0,2 m (a), e de 0,2 a 0,4 m (b) e Ponto de Murcha Permanente ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ) na profundidade de 0,0 a 0,2 m (c) e de 0,2 a 0,4 m (d).