

## Estudo comparativo da função capacidade de água, obtida por diferentes modelos analíticos de ajustes da curva de retenção.

OLIVEIRA, J. A. T.<sup>(1)</sup> & CÁSSARO, F. A. M.<sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup>Mestrando em Física, Programa de Pós-Graduação em Ciências (Área de Concentração: Física), FASCA/UEPG. Bolsista CAPES. E-mail: jossajato@gmail.com; <sup>(2)</sup>Professor Associado, Departamento de Física (DEFIS), Universidade Estadual de Ponta Grossa – UEPG.

**Resumo:** A curva de retenção de água (CRA) ou curva característica relaciona-se as propriedades de retenção de água de um solo. Muitas vezes, ela é utilizada como um indicativo da qualidade do solo e também em pesquisas que estudam as modificações que os diferentes manejos produzem na sua estrutura. O uso da CRA permite a determinação da Função Capacidade de Água (FCA), que muitas vezes serve como estimativa da distribuição dos poros de um de um solo investigado. A FCA consiste na representação gráfica da primeira derivada da CR em função do potencial mátrico, ou em função de um raio característico associado a esse potencial. Em geral, a CRA é interpolada pelo modelo de van Genuchten (1980). No entanto, existem outros modelos analíticos que possibilitam também o encontro da FCA (LEIJ, Feike J. et al., 1996). O objetivo do trabalho é de calcular as FCAs utilizando os modelos de van Genuchten, van Genuchten na aproximação de Mualen, Brooks & Corey e de Kosugi (log-normal) para interpolação das CRAs. Os resultados obtidos foram comparados com os que são obtidos utilizando-se um modelo simplificado de acomodação de esferas maciças, as quais simulam as partículas dos solos investigados. Verificou-se que, de forma geral, o modelo que produz resultados mais próximos ao gerado pelo modelo simplificado, é o de van Genuchten (sem a aproximação de Mualen) e o de Brooks & Corey (1964).

**Termos de indexação:** Curva de Distribuição de Poros, Curva de Retenção, Modelos de Interpolação.

### INTRODUÇÃO

A curva de retenção de água no solo (CRA) caracteriza a relação entre o “potencial matricial” (comumente denominado potencial capilar, tensão da água no solo, sucção ou pressão negativa) e o volume de água presente no solo (representado, geralmente pela umidade à base de volume) (COILE, 1953; DANE et al., 1992; JALBERT & DANE, 2001).

Essa curva é geralmente obtida por meio de experimentos envolvendo a secagem de uma

amostra de solo. O levantamento da CRA permite uma estimativa da distribuição de tamanho de poros do solo. Isso é feito por meio da primeira derivada da CRA em relação ao potencial, o que produz a denominada FCA (Função Capacidade de Água) (Jury et al., 1991; Pagliai et al., 1998; Libardi, 2000).

Como se sabe, a CRA é ajustada mediante o uso de alguns modelos analíticos de interpolação propostos na literatura. Dentre eles o mais conhecido, difundido e utilizado é o de van Genuchten (1980).

No entanto, há como, por exemplos, o de Brooks & Corey (1964) e o apresentado por Kosugi (1994, 1996), também conhecido como modelo log-normal.

Neste trabalho apresentar-se-á a comparação entre ajustes utilizando os diferentes modelos e as FCAs deles advindas. Posteriormente, os resultados obtidos são comparados aos que resultam de um modelo simples para a reconstrução de um meio poroso usando esferas que não se interpenetram.

### MATERIAL E METÓDOS

Para este trabalho, foram utilizadas três amostras deformadas de solo cujas composições são apresentadas a seguir: (areia 1) constituída de areia, cujo diâmetro médio dos grãos é de 0,212 mm; (areia 2) uma mistura de grãos de areia com diâmetros médios entre 0,5-1 mm; e (solo) constituída de agregados de um latossolo, peneirados a 2 mm.

O volume investigado das amostras foi de, aproximadamente, 140 cm<sup>3</sup> e as respectivas densidades para cada amostra estão apresentadas na **Tabela 1**.

**Tabela 1:** Valores médios de densidade das amostras investigadas de areia e solo.

Amostras	Densidade - $\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )
Areia 1	1,63
Areia 2	1,68
Solo	0,97

Inicialmente, as amostras foram saturadas em porta amostra que compõe um

aparelho comercial para o levantamento de CRAs denominado de HYPROP. Esse equipamento usa minitensiômetros para determinações da tensão da água no solo e a umidade da amostra é obtida seguindo-se a variação de sua massa quando seca ao ar livre.

Os pontos das CRAs assim obtidos foram interpolados utilizando-se quatro modelos de interpolação, cujas expressões são apresentadas a seguir:

$$\theta = \theta_r + \frac{(\theta_s - \theta_r)}{[1 + (\alpha \cdot h)^n]^m} \quad \text{van Genuchten (são ajustados } \theta_r, \theta_s, \alpha, n \text{ e } m);$$

$$\theta = \theta_r + \frac{(\theta_s - \theta_r)}{[1 + (\alpha \cdot h)^n]^{1-\frac{1}{n}}} \quad \text{van Genuchten-Mualem (são ajustados } \theta_r, \theta_s, \alpha, n \text{ e } m=1-1/n);$$

$$\theta = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{(\alpha \cdot h)^\lambda} \quad (3) \quad \text{Brooks and Corey (são ajustados } \theta_r, \theta_s, \alpha, \text{ e } \lambda);$$

$$\theta = A \int_{r_{\min}}^{r_{\max}} \frac{A}{r} \exp \left\{ - \left[ \frac{\ln r - \ln \tilde{r}}{\sqrt{2\pi}\sigma} \right]^2 \right\} dr \quad (4) \quad \text{Kosugi}$$

$$\text{(log-normal) } A = \frac{\theta_s - \theta_r}{\sqrt{2\pi}\sigma} \quad (\text{são ajustados } \theta_r, \theta_s, \sigma \text{ e } \tilde{r}).$$

Os parâmetros das expressões foram ajustados pelo método dos mínimos quadrados com o auxílio do solver do Excel ou usando-se do programa RETC do Salinity Lab, USDA (Riverside, California, Estados Unidos).

As FCAs são representadas pela primeira derivada (dθ/dh) de cada expressão apresentada anteriormente em função do raio característico do poro.

Esse raio característico foi obtido usando-se a equação da capilaridade:

$$r_{\mu m} = \frac{1490}{h_{cmH_2O}}$$

na qual, r é o raio de poro em micrômetros; h é o potencial em centímetros de água.

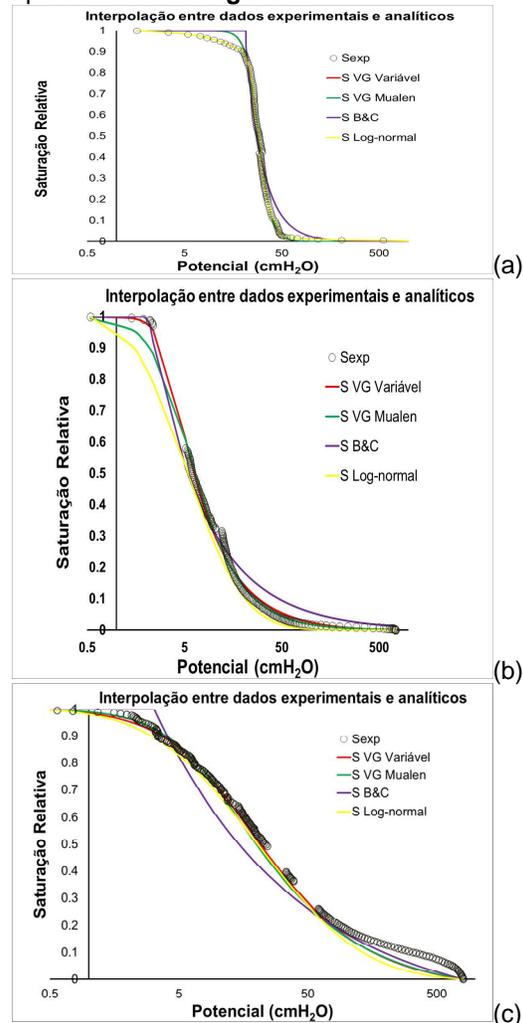
As CRs levantadas para este trabalho foram representadas em termos da saturação relativa, expressa pela seguinte relação:

$$S_e = \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r}$$

na qual  $\theta$  é a umidade ( $\text{cm}^3/\text{cm}^3$ ) presente na amostra para um determinado valor de h ( $\text{cmH}_2\text{O}$ );  $\theta_r$  é a umidade residual ( $\text{cm}^3/\text{cm}^3$ ); e  $\theta_s$  é a umidade de saturação ( $\text{cm}^3/\text{cm}^3$ ).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

As curvas de retenção de água no solo para as três amostras investigadas são apresentadas na **Figura 1**.



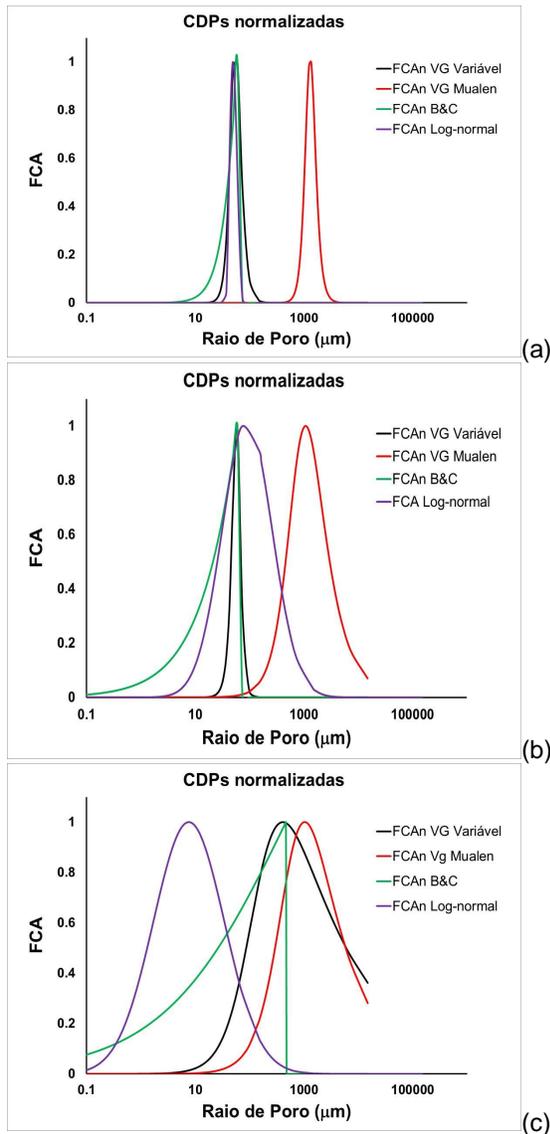
**Figura 1:** Curvas de Retenção de Água do Solo: (a) areia 1; (b) areia 2; (c) solo.

Ao se analisar as FCAs obtidas (**Figura 2**), percebe-se que as relativas à areia 1, a de granulometria mais fina, foram as que tiveram a posição do pico da FCA mais deslocado para valores de raios característicos menores. Um resultado esperado, uma vez que se trata da amostra com poros de menores calibres quando comparados aos outros solos.

Percebe-se, no entanto, que o modelo de van Genuchten na aproximação de Mualem, o

modelo mais utilizado nesse tipo de interpolação, foi pouco sensível à mudança da estrutura dos poros do solo, uma vez que o pico da FCA associado a esse modelo deslocou-se muito pouco, ficando para todas as amostras em torno de 1000µm.

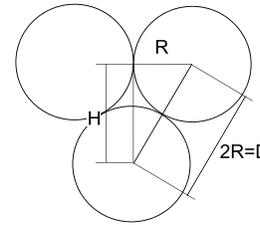
A largura dos picos, maior para as amostras de solo e de areia com maior granulometria (areia 2), é reflexo da maior gama de poros que podem ser formados nestas amostras quando comparadas à areia de granulometria mais fina (areia 1).



**Figura 2:** Curvas de Distribuição de Poros: (a) Areia 1; (b) Areia 2; (c) Solo.

SANTOS (2005) propõe uma aproximação para o valor médio do diâmetro “d=2r” dos poros de um solo formado por

partículas de diâmetro médio “D=2R”, conforme **Figura 3**.



**Figura 3:** Modelo apresentado em Santos, 2005.

Nesse modelo, admite-se que  $d \approx H/3$ , o que leva à seguinte aproximação para d:

$$d \approx \frac{H}{3} = D \frac{\sqrt{3}}{6} \text{ ou } r = R \frac{\sqrt{3}}{6}$$

Levando-se essa expressão em consideração, os valores calculados para os raios dos poros que compõem as amostras de solo seriam de: aproximadamente 30 µm para a areia 1 ( $D \approx 212 \mu\text{m}$ ), 200 µm para a areia 2 ( $D \approx 750 \mu\text{m}$ ) e 600 µm para o solo ( $D \approx 2000 \mu\text{m}$ ).

Nesse sentido, e de forma geral, observa-se que a curva de van Genuchten (sem a aproximação de Mualen) foi a que produziu as FCAs mais próximas a esses valores previstos pelo modelo, seguida pelo modelo de Brooks & Corey, o qual foi adequado para a areia mais fina e para o solo. O modelo log-normal foi adequado apenas para a areia de textura mais fina, cujos poros, em princípio, exibiriam menor heterogeneidade.

## CONCLUSÕES

Os modelos analíticos utilizados se ajustaram de maneira satisfatória às curva de retenções de água no solo.

As funções de capacidade de água produzidas pelos diferentes modelos de ajustes de interpolação se comportam de maneira bastante distinta quanto comparadas entre si. Isto é observado tanto pelo deslocamento da posição dos picos das curvas como de suas larguras.

De maneira geral, a equação de van Genuchten, sem a aproximação de Mualen, foi a que produziu resultados mais próximos ao que resultam do modelo simplificado apresentado em SANTOS (2005).

No entanto, modelos mais complexos para a aproximação do tamanho médio dos poros presentes em uma amostra de solo podem ser desenvolvidos e testados para este tipo de análise.



### AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciências – Física (UEPG) e à CAPES por concessão de bolsa de estudo.

### REFERÊNCIAS

BROOKS, R. H.; COREY, A. T. Hydraulic properties of porous media. Fort Collins, Colorado State University, 1964. (Hydrology Paper, 3).

COILE, T. S. Moisture Content of small stone in soil. *Soil Science*, 75: 203-207, 1953.

DANE, J. H; OOSTROM, M. & MISSILDINE, B. C. An improved method for the determination of capillary pressure saturation curve involving TCE, water and air. *Journal of Contaminant Hydrology*, 11: 69-81, 1992.

JALBERT, M & DANE, JH. Correcting laboratory retention curves for hydrostatic fluid distributions. *Soil Science Society of America Journal*, 65: 648-654, 2001.

JURY, A. W.; GARDNER, W.R. & GARDNER, W.H. *Soil physics*. New York, John Wiley & Sons, 1991. 328p.

LEIJ, F. J., RUSSEL, W. B., & LESCH, S .M. Closed-form expressions for water retention and conductivity data. *Ground Water*, v. 35, n. 5, p. 848-858, 1997.

KOSUGI, K. Three-parameter lognormal distribution model for soil water retention. *Water Resources Research*. v. 30, p. 891-901, 1994.

KOSUGI, K. Lognormal distribution model for unsaturated soil hydraulic properties. *Water Resources Research*. v. 32, p. 2697-2703, 1996.

LIBARDI, P. L. *Dinâmica da água no solo*. Piracicaba, Edição do Autor, 2000. 509p.

PAGLIAI, M.; ROUSSEVA, S.; VIGNOZZI, N. et al. Tillage impact on soil quality. I. Soil porosity and related physical properties. *Italian Journal Agronomy*, v. 2, p.11-20, 1998.

van GENUCHTEN, M.Th. A Closed – Form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 44: 892-898, 1980.

van GENUCHTEN, M.Th.; LEIJ, F. J. & YATES, S. R. The RETC code for quantifying the hydraulic functions of unsaturated soils. Riverside, U. S. Salinity Laboratory, 1991. 85p.

SANTOS, R. A. *Propriedades de Retenção de Água por Espaços não Homogêneos: Experimentos de Laboratório e Simulação Computacional*. 2005. (Tese de Dissertação).